



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN



Instituto de Investigación  
e Ingeniería Ambiental

# Proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de Tandil

**Proyecto Final Integrador**

**Alumno: Francisco Calise**

**Legajo: CYT-4343**

**Tutores: Federico Bailat; Ruth Rodríguez**

## **Proyecto Final Integrador (PFI) de la carrera de Ingeniería Ambiental**

### **Cátedra de PFI**

**Ing. Ruth Rodriguez**

**Ing. Federico Bailat**

### **Dirección de carrera**

**Dra. Ing. Susana Larrondo**

### **Coordinación de carrera**

**Mg. Ing. Diana Mielnicki**

### **Agradecimientos**

**A Dios**

**A mis padres**

**A mis hermanos Matu y Mon**

**A mi novia Mechi**

**A mis abuelos**

**A todos mis primos y tíos**

**A mis amigos**

**A mis compañeros**

**A todos los profesores que tuve durante la carrera**

**A las autoridades de la Universidad**

**A la gente de Tandil que me ayudó con este proyecto**

## Índice

Índice .....	3
<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>6</b>
1. Introducción .....	7
2. Diagnóstico.....	13
<b>2.1 Residuos sólidos domiciliarios .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Relleno sanitario .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Puntos limpios .....</b>	<b>21</b>
1. Plástico.....	23
2. Papel y cartón.....	24
3. Latas.....	24
4. Pilas .....	24
5. Aceite Vegetal Usado (AVU) .....	24
6. Vidrio .....	25
7. RAEEs .....	25
8. Stretch de embalaje .....	26
9. Hierro y aluminio .....	26
10. Tetra Brik.....	26
11. Telgopor de embalaje.....	26
12. Residuos voluminosos .....	26
3. Conclusiones parciales.....	27
4. Marco Legal .....	29
4.1 Normativa Nacional.....	29
4.2 Normativa Provincial .....	31
4.3 Normativa Municipal.....	33
5. Diseño del Sistema de Gestión Integral de Residuos .....	34
5.1 Generación .....	37
5.2 Separación en origen .....	39
5.3 Disposición inicial.....	42
5.4 Recolección.....	43
5.4.1 Recolección de Reciclables .....	47
5.4.2 Recolección de Compostables y Basura.....	60
5.5 Diseño de Plantas de clasificación de Reciclables en los Puntos Limpios .....	71
5.5.1 Planta de clasificación del Punto Limpio Centro .....	74

5.5.2 Planta de clasificación de Puntos Limpios Norte, Sur y Oeste.....	77
5.5.3 Reciclaje, comercialización y logística post-tratamiento .....	79
5.6 Gestión de restos de poda .....	81
5.6.1 Restos de poda públicos.....	81
5.6.2 Restos de poda privados .....	82
5.7 Compostaje.....	84
5.7.1 Introducción .....	84
5.7.2 Análisis de alternativas .....	86
5.7.3 Etapas del proceso de compostaje.....	91
5.7.4 Parámetros de control para el proceso de compostaje .....	92
5.7.5 Diseño de planta de compostaje.....	94
5.7.5.1 Reactor de descomposición .....	96
5.7.5.2 Pilas de Maduración .....	98
5.7.5.3 Afino del compost .....	102
5.7.5.4 Esquema de distribución de la planta.....	104
5.8 Disposición Final.....	106
5.8.1 Introducción .....	106
5.8.2 Ubicación del Relleno Sanitario .....	108
5.8.3 Diseño del Relleno Sanitario.....	110
6. Estudio de Impacto Ambiental .....	119
6.1 Introducción.....	119
6.2 Metodología .....	119
6.3 Descripción del proyecto .....	120
6.4 Área de influencia .....	120
6.5 Línea de base .....	121
6.5.1 Clima y meteorología .....	121
6.5.2 Geología y geomorfología .....	123
6.5.3 Edafología .....	125
6.5.4 Hidrología e hidrogeología .....	126
6.5.5 Flora.....	127
6.5.6 Fauna .....	130
6.5.7 Caracterización poblacional.....	130
6.5.8 Actividad económica.....	131
6.6 Identificación de acciones con potenciales impactos ambientales.....	133
6.7 Matriz de Impactos Ambientales.....	135
6.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA).....	137



6.8.1 Plan de prevención y mitigación .....	137
6.8.2 Plan de contingencias .....	139
6.9 Conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental.....	141
7. Presupuesto y análisis económico .....	142
7.1 Inversión inicial .....	142
7.2 Costos de funcionamiento e ingresos por ventas de productos .....	146
7.3 Viabilidad y financiamiento .....	149
8. Memoria de cálculo.....	151
8.1 Cálculo de proyección poblacional (Método: Tasa decreciente) .....	151
8.2 Rutas de Recolección.....	152
8.3 Diseño de reactor de descomposición de compost .....	155
8.4 Diseño del Relleno Sanitario .....	157
8.4.1 Dimensionamiento del Relleno Sanitario .....	157
8.4.2 Generación de lixiviados .....	166
8.4.3 Sistema de drenaje de gases.....	169
9. Conclusiones técnicas finales .....	172
10. Conclusiones personales.....	173
11. Referencias y bibliografía .....	174
12. Anexo .....	177
12.1 Requisitos de un compost (Según Res 1/19) .....	177
12.2 Metodología de valoración de Impactos Ambientales.....	182
12.3 Planos .....	184

## Resumen Ejecutivo

El partido de Tandil se encuentra en la región sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Se trata de un municipio de 4.935km<sup>2</sup>, con una gran urbe homónima como ciudad de cabecera. El despegue industrial de la ciudad de Tandil, proceso acentuado especialmente en los últimos 30 años, y la expansión de servicios demandantes de mano de obra en la ciudad de Tandil, crearon las condiciones para alimentar un movimiento migratorio rural-urbano, en busca de oportunidades laborales y mejores condiciones de vida, individuales y familiares. El crecimiento demográfico acelerado de la ciudad, demanda un ajuste necesario en los servicios y en la infraestructura.

En particular, el aumento en la generación de Residuos Sólidos Urbanos fundado en el crecimiento demográfico tanto como en el aumento global del consumo, deja en evidencia el ajuste necesario mencionado. Actualmente, el municipio ofrece una gestión de residuos deficiente, que se reduce a una recolección y una disposición final, con un agregado de Puntos Limpios (instalaciones donde voluntariamente los vecinos pueden acercar determinados residuos reciclables).

En este contexto, se realizó el presente trabajo, con el fin de diseñar un sistema de gestión de residuos sólidos urbanos más eficiente, donde exista una separación y tratamiento para lograr una valorización de los mismos, en un marco de economía circular.

Durante la elaboración de este trabajo se realizó un diagnóstico in situ de la gestión actual, entrevistando y dialogando con actores clave, involucrados de diversas maneras en la temática. Luego se procedió a diseñar un sistema de gestión moderno, que incluya etapas de separación en origen, recolección diferenciada, tratamiento de residuos reciclables y compostables, y una disposición final ampliada y optimizada con respecto a la actual.

Es preciso subrayar que la gran mayoría de los actores visitados mostraron interés por la mejora de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Con la implementación de este proyecto se busca no solo optimizar la gestión integral de los RSU, sino también minimizar los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida los ciudadanos de Tandil, mientras puede destacarse como un efecto indirecto el incremento del turismo generado por una ciudad más limpia.

## 1. Introducción

El partido de Tandil, se localiza en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, y ocupa una superficie de 493.500ha. Limita con los partidos de Azul, Rauch, Ayacucho, Balcarce, Lobería, Necochea y Benito Juárez. Se encuentra emplazado en la pampa húmeda, y más precisamente en el sistema serrano de Tandilia, el cual lo franquea en sentido NO-SE.

En la Figura 1.1 se indica la ubicación del Partido de Tandil y pueden observarse los partidos lindantes.



*Figura 1.1: Ubicación geográfica del Partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires. Fuente: Google Maps.*

La ciudad de Tandil posee un clima templado, con temperaturas medias de 13.4°C y cuenta con un núcleo urbano actual dividido en 33 barrios.

Según el último censo de población realizado en 2010, el partido contaba en ese año con una población de 123.343 habitantes, lo cual indica un crecimiento relativo del 14,1% respecto de 2001 (en el que se censaron 108.109 habitantes). La proyección realizada por el INDEC para el año 2017 fue de 135.101 habitantes, lo que significa una densidad demográfica de 27,9 hab/km<sup>2</sup>. La mayor parte de la población, habita en la ciudad de Tandil, cabecera del Partido, la cual dista a 350 km de la ciudad de Buenos Aires y se vincula con el resto de la provincia a través de la Ruta Nacional 226 y las provinciales 30 y 74.

La estructura económica de Tandil tiene como base a la industria agropecuaria. Debido a la zona de la pampa húmeda donde se encuentra ubicada, la agricultura intensiva toma un rol preponderante dentro de esta industria, y sus principales cultivos son la soja, el maíz, el trigo y el girasol, y en menor medida, el lino y la avena. La ganadería también compone una gran

porción de la agroindustria en Tandil, destacándose la industria lechera con cerca de 170 tambos de ordeño en el partido, aunque también se destaca la ganadería de cría. La industria quesera es una de las más importantes del país, estimulada por un Cluster Quesero (una organización compuesta por productores, pymes, instituciones y organismos de asistencia vinculados a la producción de quesos), que trabaja con planes estratégicos para el desarrollo de la industria.



*Figura 1.2: Campo de girasoles en Tandil. Fuente: Producción propia.*

En concordancia con la avanzada industria agropecuaria, también se desarrolló vastamente a lo largo de la historia de Tandil la industria metalmecánica, que abastece de maquinaria al sector agropecuario con producción local.

Otras industrias importantes para la ciudad de Tandil son la industria de la construcción, la industria alimenticia, la industria química y el turismo.

En cuanto a materia ambiental, Tandil tiene avances importantes con respecto a algunos de los municipios vecinos, aunque esto no indique que aún podría haber una gran mejora, pero el desarrollo de esta área se dio y se da de forma muy poco articulada, lo que dificulta una gestión integrada de todos los aspectos ambientales. Particularmente, en lo que respecta a los Residuos Sólidos Urbanos, tema central del presente trabajo, la gestión se traduce en una recolección y transporte hasta la disposición final en un relleno sanitario, y en una marcada menor proporción,



un tratamiento de determinados residuos en ciertos puntos de la ciudad denominados Puntos Limpios (PL).



Figura 1.3: Primer Punto Limpio de Tandil sobre calle Maipú. Fuente: Producción propia.

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son una problemática que tiene un gran impacto tanto en Tandil como a nivel mundial, y en donde debe ponerse un especial foco por sus graves consecuencias ambientales y sociales. A medida que el mundo se precipita hacia su futuro urbano, la cantidad de residuos sólidos urbanos, que es uno de los subproductos más importantes de un estilo de vida urbano, está creciendo incluso más rápido que la tasa de urbanización. Hace diez años, 2,9 mil millones de residentes urbanos a nivel mundial generaban aproximadamente 0,64 kg de RSU por persona por día (680 millones de toneladas por año). El informe “What a waste” del Banco Mundial, estima que hoy en día estas cantidades se han incrementado a aproximadamente 3 mil millones de residentes que generan 1,2 kg por persona por día (1,3 mil millones de toneladas por año). Para el 2025, esto probablemente aumentará a 4,3 mil millones de residentes urbanos que generan aproximadamente 1.42 kg / cápita / día de sólidos municipales Residuos (2,2 mil millones de toneladas por año), (*What a Waste*, The World Bank, 2012).

Observando estas cifras publicadas por el Banco Mundial, se reafirma la necesidad impostergable de enfocar políticas y programas destinados al tratamiento y la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.

Una inapropiada gestión de los residuos trae aparejado la reproducción descontrolada de vectores de enfermedades, generación de olores y gases tóxicos, y la contaminación de la atmósfera, aguas (subterráneas y superficiales) y suelos; existen estudios que relacionan, al menos, 22 enfermedades humanas con la gestión inadecuada de los residuos (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1982).

Si bien la problemática de los residuos es de larga data, se puede afirmar que la misma se agudizó a partir de la década de 1960 con la instauración de la sociedad de consumo, la proliferación de envases descartables y el packaging y la introducción de materiales complejos no conocidos por la naturaleza, muchos de ellos de riesgo para la salud de la población y el ambiente, que resultaron en el incremento exponencial de la generación de residuos y su complejidad. El abordaje de este tema implica la consideración de todas y cada una de las etapas que involucran a los Residuos Sólidos Urbanos de una jurisdicción determinada; desde su Generación, orientado a la reducción en origen, la Recolección y Transporte desde el sitio de generación, hasta el de Post Tratamiento y Disposición Final.

La gestión integral de residuos sólidos debe considerarse en armonía con la estrategia económica, con la higiene y salud pública, la ingeniería e infraestructura y con las correspondientes consideraciones ambientales, para responder adecuadamente a las expectativas de la sociedad (Ministerio del Interior y Transporte, 2015). Es decir, el tema debe ser abordado desde un enfoque holístico para lograr soluciones idóneas a la problemática.

El Partido de Tandil mostró un crecimiento demográfico acelerado con respecto a otras ciudades bonaerenses. Este crecimiento trajo aparejado un impacto ambiental significativo, que ha sido analizado por la investigadora Elsa Marcela Guerrero, docente de la Universidad Nacional del Centro de Tandil. Dentro de la publicación sobre la investigación realizada, se expuso una matriz de Leopold con el objetivo de ponderar los impactos que trajo este crecimiento poblacional (en la misma se analiza desde el año 1966 hasta el año 2012). Las matrices de Leopold, son herramientas que permiten justamente ponderar en forma cualitativa el signo del impacto, su magnitud y gravedad en un rango de 1 a 10. La valoración es principalmente cualitativa, basada en criterios de expertos y en investigaciones previas sobre el tema. En la siguiente tabla (Figura 1.4) se presentan los factores físicos-naturales y socioeconómicos (en las columnas) que se ven afectados por el proceso de urbanización (en las filas aparecen los riesgos asociados a ese

proceso). En cada celda coloca el signo del impacto, el primer número se corresponde con la magnitud y el segundo valor con la intensidad del impacto. Una vez ponderados los impactos presentes, se suman en forma horizontal y en forma vertical para determinar el peso de cada impacto y los factores más afectados por el proceso de urbanización. (Guerrero, 2013).

RIESGOS/ Magnitud/ Gravedad	Suelo urbano disponible	Perfil del suelo	Drenaje	Agua subterránea	Agua superficial	Calidad aire	Hábitat	Ruido	Flora nativa	Calidad de vida	Total
Contaminación atmosférica						-5/3	-5/2		-5/4	-5/5	-20/14
Pérdida de espacios verdes	-7/7		-5/5	-7/5		-7/7	-7/4	-3/3	-3/3	-7/7	-46/41
Afectación del paisaje	-8/6	-8/8	-9/8	-9/9			-9/9		-9/9	-10/8	-62/57
Contaminación aguas superficiales				-5/5	-9/9		-6/6			-8/8	-28/28
Contaminación aguas subterráneas				-10/10	-5/5		-6/6			-8/8	-29/29
Basurales espontáneos	-8/6	-8/5	-9/9	-9/9	-9/9	-6/6	-7/7		-5/5	-9/9	-70/65
Consumo de agua			-9/9	-10/10	-5/5		-3/3			-5/5	-32/32
Erosión de suelos	-9/9	-6/7	-9/9	-5/5	-8/8		-5/5				-42/43
Impermeabilización suelos	-8/8		-10/10	-9/9	-6/7		-5/5		-7/7	-5/5	-50/51
Incompatibilidad de usos suelo						-5/5		-7/7		-9/9	-21/21
Densificación urbana	-8/8		-5/5	-8/7	-5/5	-5/5	-6/8	-8/8		-9/9	-54/55
Déficit infraestructura de servicios				-9/7	-6/7		-5/5		-3/3	-9/9	-32/31
Aumento tiempos de viaje						-6/6	-4/4	-7/7		-8/8	-25/25
Aumento tránsito								-9/9		-9/9	-18/18
<b>Total</b>	<b>-48/44</b>	<b>-22/20</b>	<b>-56/55</b>	<b>-81/76</b>	<b>-53/55</b>	<b>-34/32</b>	<b>-68/74</b>	<b>-34/34</b>	<b>-32/31</b>	<b>-101/99</b>	

Figura 1.4: Matriz de Leopold. Cuantifica los impactos causados por la urbanización en función de los factores físicos-naturales y socioeconómicos. Fuente: Guerrero, 2013.

Observando la matriz, puede distinguirse como el factor de mayor importancia a nivel general es la generación de “Basurales espontáneos”. Además, también se valora como el riesgo de mayor magnitud entre todos los riesgos contemplados en la investigación. Esto indica que el significativo crecimiento demográfico que ha sufrido el Municipio de Tandil en las últimas 5 décadas, no fue acompañado de una gestión de residuos acorde al mismo. Esta es la razón principal que motivó al presente proyecto. Si bien el problema de los basurales espontáneos no es un tema central en este trabajo debido a que Tandil ha incorporado a su gestión de residuos un relleno sanitario, esto es una demostración de la problemática de los residuos en la zona.

El objetivo general planteado para este proyecto es fundar lineamientos para el diseño de un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Tandil, con el fin de reducir el impacto ambiental y la contaminación, generados por la deficitaria gestión de residuos en la disposición actual, y adecuar el tratamiento y la gestión de los RSU al aumento en la generación de los mismos que está ocurriendo en el municipio.

Los objetivos específicos del mismo son:

1. Realizar un diagnóstico del sistema de recolección y disposición actual, evaluando costos y recursos.
2. Diseñar un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos:
  - Programas de regulación de generación, reducción y reutilización;
  - Sistemas de disposición inicial;
  - Sistemas de recolección diferenciada;
  - Planta de separación de residuos;
  - Sistemas de re inserción de materiales al circuito industrial;
  - Optimización y ampliación del sistema actual de disposición final (relleno sanitario).



## 2. Diagnóstico

Se realizó una visita a la ciudad de Tandil desde el día 12/04/2019 hasta el día 19/04/2019, en la que se visitaron puntos clave de la gestión de residuos como el relleno sanitario, dos de los cuatro Puntos Limpios del Municipio, barrios de la zona sudeste y centro de la ciudad y el predio municipal del área de servicios, donde se tomaron fotografías y se recolectaron datos importantes sobre la temática en cuestión. Además, se realizaron entrevistas con los siguientes actores involucrados en la gestión de residuos del municipio: Héctor Creparula, director de medio ambiente de la municipalidad de Tandil; María Carolina Miranda del Fresno, Licenciada en Gestión Ambiental y analista de Medio Ambiente en el Municipio; María José Abasolo, directora de Punto Verde (una cooperativa que se encarga de separar, reacondicionar y reinsertar Telgopor y vidrio en el circuito comercial); Luciano Villalba, docente e investigador de la Universidad Nacional del Centro, quien ha realizado gran cantidad de estudios de caracterización de residuos de la ciudad; Gerardo Merello, vecino y periodista social de la ciudad; Víctor Ferretjans, Ingeniero Civil a cargo de la administración técnica del relleno sanitario de la ciudad y Claudio Fuentes, director del área de Servicios de la Municipalidad.

El Director de Medio Ambiente de la Municipalidad de Tandil, Héctor Creparula, junto a otro miembro de la Dirección, María Carolina Miranda del Fresno, fueron entrevistados en su oficina en el edificio de la Municipalidad de Tandil. Demostraron desde el área un gran interés por mejorar la gestión actual y un gran interés por el presente proyecto.

María José Abasolo, la directora de la Asociación Punto Verde, fue entrevistada en el Punto Limpio de la calle Maipú, mientras trabajaba en la separación del Telgopor útil para el reciclado. Se recorrieron las instalaciones del lugar y se describieron las tareas realizadas por la organización y dónde se situaban como organización en el proceso de la actual gestión.

La reunión con el docente e investigador Luciano Villalba se realizó en un café, donde él explicó el funcionamiento, los puntos fuertes y los puntos débiles de la actual gestión de residuos de la ciudad, además de compartir sus trabajos realizados sobre la temática.

A Gerardo Merello se lo entrevistó en su casa, como vecino de la ciudad y periodista social, quien demostró inquietud por la mejora e interés sobre el proyecto.

En la visita al relleno sanitario se entrevistó al ingeniero a cargo de la administración técnica, Víctor Ferretjans, y al supervisor de la operación del relleno. Allí se describieron los detalles técnicos del funcionamiento del relleno mientras se recorría el predio en una camioneta institucional.

Por último, el director del área de Servicios del Municipio Claudio Fuentes, fue entrevistado en su oficina. En esta reunión se expuso la forma de trabajo, los recorridos de recolección y los problemas actuales por los que transita el área.

La información recolectada se compiló para realizar un diagnóstico de la situación actual de la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Tandil, que se describe a continuación.

Actualmente se generan aproximadamente 1,1kg/día.persona teniendo en cuenta todo el partido de Tandil. La disposición inicial se realiza en cestos de basura domiciliarios, solamente si la vivienda o comercio cuenta con uno ya que no hay normativa que exija que cada domicilio debe hacerlo; y en caso de no poseer uno, las bolsas de residuos se depositan en la vereda donde son recolectadas por los camiones recolectores. Estos camiones son compactadores con equipos de compactación Econovo 317, modernos y en buen estado, como se observa en la Figura 2.1.



*Figura 2.1: Camiones compactadores. Fuente: Municipalidad de Tandil.*

Los camiones transportan los residuos recolectados directamente al relleno sanitario, donde se pesan en una báscula camionera del mismo relleno (gestionado por la empresa USICOM) y se realiza la disposición final.

Además de este circuito de recolección-relleno sanitario, existen desde el año 2015 los denominados Puntos Limpios. Se trata de instalaciones cerradas y vigiladas donde se efectúa la

recepción voluntaria, transitoria y clasificada de distintos tipos de RSU de origen doméstico (Dirección de Medio Ambiente, 2017).



*Figura 2.2: Fotografía del primer Punto Limpio sobre la calle Maipú. Fuente: ABC hoy.*

En los PL actualmente se reciben 12 categorías de materiales: plástico de botellas, papel y cartón, latas, pilas, aceite vegetal usado (AVU), vidrio, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), chatarra y hierro, stretch de embalaje, tetrabrik, telgopor de embalaje y residuos voluminosos (heladeras, cocinas, etc.). Por sus características específicas, cada material es acopiado y transportado de diferentes maneras hasta las organizaciones/instituciones destinatarias (Dirección de Medio Ambiente, 2019). Estas instituciones, dependiendo del residuo, lo reciclan o acondicionan para luego reinsertarlo en el circuito industrial o comercial.

Los Puntos Limpios reciben en total alrededor de 3t/día de materiales recuperables que se desechan en Tandil. El Municipio de Tandil informó que los cuatro Puntos Limpios reciben dos toneladas diarias de residuos, pero a la cantidad oficial hay que agregar lo que llega a la Cooperativa de Recicladores (una cooperativa fundada en 2004 en la que se integraron los recuperadores urbanos informales) y lo que se junta en diferentes barrios que utilizan un Punto Limpio Itinerante (los vecinos se reúnen en plazas una vez al mes y gestionan los residuos de la misma forma que los Puntos Limpios, y luego se transportan hacia allí): la estimación oficial es que juntan otra tonelada diaria de los residuos mencionados.

Los tres mil kilos diarios que reciben los diferentes Puntos Limpios son el 10% de las 30 toneladas por día de residuos recuperables que se generan en Tandil (“Residuos: cuánto genera un tandilense”. 2018. *El Diario de Tandil*).

Analizando en profundidad esta información, y estudiando en detalle la gestión que se lleva actualmente en el Municipio de Tandil sobre los principales tipos de residuos, puede describirse de la siguiente manera:

### 2.1 Residuos sólidos domiciliarios

La recolección es gestionada por el municipio, y es del tipo puerta a puerta, sin contenerización. La disposición inicial se realiza en canastos o cestos propios de cada frentista, y dado que muchas viviendas no poseen, disponen sus residuos en la vereda. Nada de lo recolectado por los domicilios posee separación en origen y no es recolectado diferenciadamente, ya que el circuito de gestión diferenciada se da en los Puntos Limpios, donde cada vecino debe acercar sus residuos separados.

Los camiones recolectores son compactadores y transportan lo recolectado al relleno sanitario directamente. En la zona céntrica el camión pasa dos veces al día, en los barrios de alrededores una vez por día y en los barrios más alejados la recolección es una vez cada dos días. Esta diferenciación de zonas no se conoció en detalle en este trabajo dado que no fue posible obtener abundante información del área de Servicios de la Municipalidad.

En el relleno sanitario los camiones son pesados en una báscula camionera y luego se dirigen a la zona de descarga donde depositan los residuos recolectados.



## 2.2 Relleno sanitario



*Figura 2.3: Ubicación geográfica del relleno sanitario de Tandil, determinado catastralmente como Circ. X -Secc. C-- Chacra 4-Parcela 6- (1090 r). Fuente: Google Earth.*

El relleno sanitario se encuentra emplazado en la zona Noroeste del Partido de Tandil, a 15 km de la ciudad, cuyas vías principales son la Ruta Nacional 226 y la Ruta Provincial 30. Es operado por la empresa USICOM desde el año 2015. Desde el año 1998 hasta el 2014 fue operado por la empresa CLEAR. Este relleno ocupa una superficie total de 22ha que han sido acondicionadas para la disposición de residuos sólidos urbanos. 11ha ya han sido utilizadas y los módulos clausurados, 2 de ellas son destinadas a infraestructura de la administración, control de entrada y salida de vehículos y cortinas forestales, y las otras 9 que forman el último módulo (adquiridas más tarde que las 13 iniciales), están utilizadas en apenas más de la mitad, operándose actualmente el tercer módulo, de un total de 4.

En el relleno sanitario se reciben aproximadamente 156t/día promedio, de las cuales aproximadamente un 90% son recolectadas por los camiones municipales y el 10% restante son de origen difuso (aunque controlados para cumplir las características admisibles por la normativa), generados y transportados hasta allí por particulares. Los residuos sólidos urbanos tratados en el relleno sanitario, son en su mayoría residuos de origen domiciliario, aunque también se admiten residuos de jardín de podas de espacios públicos, residuos de demolición

(emisores privados) y otros tipos de residuos que no estén contemplados como residuos patológicos, peligrosos y/o especiales en la legislación vigente (Ley 24.051 Nación Argentina y Ley 11.720 prov. Bs. As) de origen industrial y hospitalarios. El relleno tiene una vida útil estimada de dos años más (hasta 2021).

El sistema de venteo de gases consiste en tubos de PVC clase 10 de 110mm de diámetro dispuestos uno por cada celda de disposición, sobresaliendo en superficie a una cota no mayor de 1,2m y con venteo hacia los cuatro vientos. Los caños de PVC penetran en la celda hasta una profundidad de 4,50m, es decir, desde la superficie de la celda hasta casi el límite inferior de la misma. Las perforaciones en los tubos de profundidad poseen un diámetro de 10mm en sus primeros 2,5m, con una equidistancia vertical de 10cm y horizontal de 8,5cm, encontrándose el fondo del tubo sellado.

Todos los módulos cuentan con el sistema de recolección de lixiviados que, por medio de bombeo, transportan los líquidos hacia la planta de tratamiento de los mismos.

El sistema colector de los lixiviados consiste en caños de PVC de un diámetro de 10 pulgadas ubicados longitudinalmente a través de los módulos en las bermas correspondientes. Estos caños están ranurados en toda su extensión, y recubiertos de una capa de grava y arena de granulometría variable que posibilita el filtrado del líquido y/o la no obstrucción del sistema.

Los líquidos son bombeados por medio de una bomba hidráulica hacia una cámara de hormigón de 1m por 1m, con una profundidad de 1,5m, y esta bomba es accionada por medio de un flotante. El objetivo de la cámara es coleccionar los lixiviados y almacenarlos para su posterior tratamiento.

La pileta equalizadora de oxidación consiste en una fosa de 1m aproximado de profundidad por 6m de ancho y 15m de largo, impermeabilizada con membrana de polietileno de 800 micrones. El tanque de degradación biológica (método de lodos activados) posee un diámetro de 1,80m por 2,5m de alto ubicado sobre la superficie del terreno y accionado mediante bombas aireadoras e hidráulicas.

Esta planta también posee una pileta de percolación de lixiviados de 2m de ancho por 4m de largo y una profundidad de 0,6m, con un espesor de 0,2m de grava de granulometría homogénea.



*Figura 2.4: Planta de tratamiento de los líquidos lixiviados. Fuente: Producción propia.*

El equipo que trabaja en el relleno consta de 9 personas, entre ellos maquinistas, operarios, un ingeniero civil, un supervisor del servicio y otros cargos funcionales a la actividad.

En la visita realizada se logró recorrer el relleno con el ingeniero a cargo de la operación y el supervisor, en una camioneta de la empresa USICOM.



*Figura 2.5: Camioneta de la empresa USICOM en la que se recorrió el predio del relleno sanitario. Fuente: Producción propia.*



Las actividades que se realizan dentro del relleno se describen a continuación:

El relleno sanitario, como se ha mencionado, posee una báscula camionera al ingresar al mismo. Todos los camiones municipales y autos/camionetas particulares se detienen sobre la báscula y esperan la señal del operador que registra el peso de ingreso, para avanzar. Allí se realiza un control de camiones municipales en donde se los identifica a través de un código, utilizando un software que registra el horario de ingreso y egreso, los datos de la unidad, el conductor y el pesaje por la diferencia de tara. Además, se realiza control de los particulares, ya que todo particular que ingrese a disponer sus residuos en el relleno debe estar registrado con sus datos personales y los datos del vehículo. El software utilizado posee una base de datos donde se vuelcan los correspondientes balances de masa de cada camión municipal, para luego realizar la facturación correspondiente, y para el caso de los particulares la facturación se realiza inmediatamente después del pesaje de egreso, la cual es entregada al usuario. De todas formas, hasta 400kg/día, los particulares no deben abonar por la disposición; ese monto se le factura a la municipalidad junto con las descargas de los camiones municipales.

Luego del control y el pesaje, los vehículos se dirigen a la zona de descargas. Existe una zona de descarga para particulares y otra para los camiones de recolección municipales.



Figura 2.6: Zona de descarga para transportistas particulares. Fuente: Producción propia.



La zona de descarga para particulares se encuentra a 150 metros de la entrada al relleno y a aproximadamente 300 metros de la celda que está operándose actualmente. Este lugar está habilitado desde las 11hs hasta las 19hs para el ingreso de recolectores informales, que ingresan y seleccionan materiales reciclables. Esta fue una solución de compromiso que decidió el ejecutivo provincial, junto con USICOM en el año 2018 debido a que hay familias que viven del cirujeo en el relleno. Luego de las 19hs, un operario del relleno utilizando la pala mecánica cargadora transporta los residuos desde la zona de descarga de particulares hasta la celda en operación.

La zona de descarga de los camiones de recolección municipal tiene dimensiones variables, ya que depende del estado en el que se encuentra la operación de la celda. Una vez volcados los residuos en la zona de descarga, un tractor oruga comienza con los trabajos de diseminación y compactación de los residuos. Los estándares de compactación de residuos logrados en el relleno sanitario se estiman en  $510 \text{ kg/m}^3$  de densidad entre un rango potencial de  $550 \text{ kg/m}^3$  y  $650 \text{ kg/m}^3$ .

En cuanto al cierre de las celdas y clausura de los módulos, se recubren los residuos con una capa de suelo apto de espesor 0,6m, la cual es compactada por la maquinaria al alcanzar la cota máxima. Esta capa de cobertura de cierre se realiza en dos etapas, una antes de concluir con la operación de la celda (aproximadamente 10 días antes) con un espesor de 0,4m y la segunda al finalizar la operación de la celda, con un espesor de 0,2m. En los cierres de celdas y en la clausura del módulo se busca mantener pendientes entre el 1% y el 3% para que la operación con la maquinaria no resulte dificultosa, y se busca una buena compactación del suelo con el fin de lograr un buen drenaje superficial, minimizar el escape de olores y potenciar la actividad anaeróbica de microorganismos dentro del relleno. Luego del sellado de las celdas se realiza una siembra del terreno con diferentes especies de gramíneas.

### 2.3 Puntos limpios

Los Puntos Limpios, como se ha mencionado previamente, son instalaciones cerradas, gestionadas por la Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Tandil, en las que se reciben residuos clasificados que voluntariamente separan los vecinos en origen y transportan hacia las mismas. Actualmente, se cuenta con 3 predios activos en la Ciudad de Tandil y uno en María Ignacia - Vela (pueblo perteneciente al municipio), en los que se reciben los residuos especificados por el programa. El Programa Puntos Limpios fue lanzado en el año 2015 con los siguientes objetivos:

1. Disminuir el volumen de residuos sólidos urbanos domiciliarios que tiene como destino el relleno sanitario para aumentar su vida útil.
2. Aprovechar los materiales contenidos en los residuos que son susceptibles de un reciclaje directo, consiguiendo con ello, un ahorro energético y de materias primas, y reduciendo el volumen de residuos a eliminar.
3. Promover responsabilidad en la comunidad en el consumo y en la generación de residuos para generar un compromiso en la gestión desde el origen.
4. Fortalecer vínculos institucionales con organizaciones sociales que buscan aprovechar clases de residuos para mejorar la calidad de vida comunitaria.

Este programa es una estrategia complementaria a la gestión de RSU, que trabaja por fuera del circuito de recolección-relleno sanitario. Completando las descripciones realizadas anteriormente, la recolección es ejecutada por el área de Servicios de la Municipalidad, la disposición final y la gestión del relleno sanitario es llevada a cabo por la empresa USICOM, fiscalizada por el área de Servicios, y este programa de Puntos Limpios es regentado y desarrollado por la dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad.

El Programa Punto Limpio ofrece a los vecinos de forma gratuita la recepción 12 tipos de Residuos Sólidos Urbanos que ya sea por su potencial de valorización o que por sus características no son recolectados por el sistema de recolección municipal, para que sean reciclados o reutilizados por medio de instituciones encargadas cada una de determinado tipo de residuos. Los materiales recibidos son:

1. Plástico (PET y PEAD)
2. Papel y cartón
3. Latas
4. Pilas
5. AVU (Aceite Vegetal Usado)
6. Vidrio
7. RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos)
8. Stretch de embalaje
9. Hierro y Aluminio
10. Tetrabrik
11. Telgopor
12. Residuos voluminosos

Luego de un estudio de caracterización realizado en el año 2018 por la Dirección de Medio Ambiente, se estimaron las cantidades y proporciones de los materiales recibidos, expuestos en el siguiente esquema (Figura 2.7):

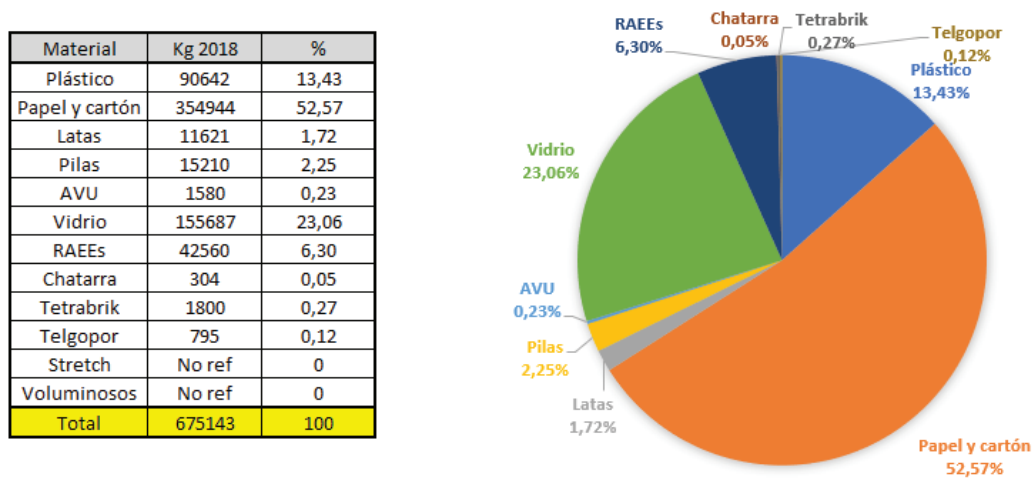


Figura 2.7: Masa y proporción de los materiales recibidos en los Puntos Limpios en el año 2018. Fuente: Poster Jornadas Puntos Limpios, 2018.

A continuación se detalla el tratamiento y las instituciones involucradas en el mismo, de cada uno de los 12 tipos de materiales que se reciben en los Puntos Limpios:

### 1. Plástico

El plástico recibido se trata principalmente de PET, ya que se solicita que sean botellas y estén limpias. Este residuo en los PL de la ciudad se lo coloca en bolsones big bag, y luego son trasladados en camiones (a razón de 350kg de plástico por viaje) hasta un predio de la Asociación Civil Taller Protegido ubicado en Villa Aguirre. Esta institución nacida en 1983 trabaja en la integración de personas mayores de 18 años con discapacidad, al mercado laboral. Cuentan con operaciones de reciclado, producción de velas y otros productos, dos kioscos y otros emprendimientos en los cuales estas personas son empleadas y donde reciben el apoyo necesario para adaptarse al mercado.

En el predio de Villa Aguirre de reciclado, trabajan con una compactadora de plásticos donde se arman fardos de 20kg. Luego, éstos se trasladan al ferrocarril, dado que Ferrosur S.A. dona un vagón completo para el traslado del plástico hasta Capital Federal a la empresa Reciclar S.A. que compra plástico para reciclar.

## 2. Papel y cartón

Estos materiales se reciben en los Puntos Limpios y también se colocan en bolsones big bag para su transporte y acopio. Los camiones del Municipio cargan alrededor de 800kg del papel y cartón recibidos, y los trasladan hacia el depósito del ferrocarril. Allí, una asociación de padres de chicos con discapacidad llamada CIANE, se encarga de clasificarlos y comercializarlos en Buenos Aires. La empresa Ferrosur también realiza el traslado a Buenos Aires gratis de estos residuos triturados.

## 3. Latas

Las latas recibidas en los Puntos Limpios son gestionadas y comercializadas por la Cooperativa de Recuperadores Urbanos.

## 4. Pilas

Las pilas se reciben tanto en los Puntos Limpios como en otros 30 puestos de recepción de la ciudad ubicados en distintos comercios a través del programa del Municipio denominado "Apila pilas". Al alcanzarse las 6 toneladas estas son transportadas en un transporte de residuos especiales a una planta de tratamiento donde luego se realiza la disposición final en un relleno de seguridad habilitado por las Secretarías de Medio Ambiente de Provincia y de Nación.



Figura 2.8: Comunicación sobre el programa de recolección de pilas "Apila Pilas"

## 5. Aceite Vegetal Usado (AVU)

El Municipio junto con el Taller Protegido trabajan en conjunto en el marco del Plan Bio (plan de la OPDS) en el que el aceite vegetal usado se transforma en combustible ecológico o biodiesel. El Taller Protegido recibe un beneficio económico por cada litro de aceite recolectado. Los particulares pueden llevar su AVU a los Puntos Limpios, donde se recibe este residuo y además, los comercios gastronómicos pueden solicitar la recolección del mismo, la cual es realizada por la empresa RCB Ambiental, encargada del transporte y la producción de biodiesel a partir del aceite recibido y recolectado.

## **6. Vidrio**

En los PL se recibe el vidrio en dos de sus formas: botellas y frascos. Ambos son gestionados por la Organización Punto Verde, una Asociación Civil surgida en el año 2013 constituida con el objetivo de mejorar el cuidado del medio ambiente. Las botellas y los frascos que tienen potencial para su reutilización, se comercializan a fábricas locales y a todo el país por medio de internet. Cuando estos no pueden reutilizarse se envían a una empresa llamada Rigolleau ubicada en Berazategui, que es el único reciclador del país. Para que el transporte sea eficiente, los envases vidrios deben romperse y así minimizar el volumen de aire transportado.

## **7. RAEEs**

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos se reciben en los Puntos Limpios en el “Centro de pre tratamiento y recuperación de aparatos eléctricos y electrónicos (CEPRAEE)” para luego darles distintos tipos de tratamientos y destinos a través de diversidad organizaciones.

En lo que respecta a residuos de computadoras, se trabaja en conjunto con la Secretaría de Desarrollo Social en un programa denominado SECYC, en el que se realizan talleres para mujeres en vulnerabilidad y el colectivo trans. Aquí se reparan las mismas y sus accesorios y se reinsertan en instituciones alargándose su vida útil.

También se trabaja con la Fundación Equidad, que también reacondiciona las computadoras para luego donarlas a escuelas públicas.

Para otros tipos de RAEEs como lo son ventiladores, microondas, TVs, DVDs y otros, la Dirección de Medio Ambiente trabaja en conjunto con becarios de la facultad de ciencias exactas de la Universidad Nacional del Centro en el programa REHTO (Reutilización Eficiente de Hardware Tecnológicamente Obsoleto), impulsado por la Secretaría de Extensión, en el que se fabrican elementos de utilidad como cestos de residuos en base a estos residuos.

Por último, la Fundación Pachacamac utiliza el plástico de RAEEs recibidos en el CEPRAEE para fabricar bloques utilizados para construcción.

### **8. Stretch de embalaje**

Este residuo también se recibe desde el año 2017 en los PL y es procesado y comercializado por el Taller Protegido, misma organización que se ocupa del plástico y del Aceite Vegetal Usado.

### **9. Hierro y aluminio**

Estos residuos en conjunto con otros residuos metálicos también son clasificados y reintroducidos en el mercado por la Cooperativa de Recuperadores Urbanos.

### **10. Tetra Brik**

En el año 2016 los Puntos Limpios comenzaron a recibir este tipo de residuos. Con un proyecto impulsado por la Dirección de Medio Ambiente en conjunto con la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN y otras organizaciones llamado "Creando Valor Compartido", estos residuos se reciben limpios y aplastados para minimizar su volumen y luego se envían a una papelería en la ciudad de Quequén, donde son reciclados y comercializados.

### **11. Telgopor de embalaje**

En los Puntos Limpios se recibe poliestireno expandido (Telgopor) de embalaje, y no de envases, ya que poseen propiedades diferentes. La Asociación Civil Punto Verde cuenta con máquinas trituradoras fabricadas por ellos mismos, que reducen el Telgopor a bolitas del mismo. Éstas tienen propiedades particulares como la baja densidad, que le confieren la capacidad de buen aislante térmico. Para eso, Punto Verde las comercializa en el sector de la construcción, en el que se fabrican mezclas cementicias que pueden utilizarse para ladrillos y/o contrapisos.

Además, esta asociación civil se encarga de fabricar almohadones y pufs con estas bolitas de Telgopor como relleno y comercializarlas a un precio competitivo por su bajo costo de fabricación.

### **12. Residuos voluminosos**

En el caso de los objetos voluminosos, al estar compuestos de distintos materiales y debido a que la frecuencia con la que se repite la recepción de un mismo residuo no es alta, en cada caso específico se busca un destino apropiado en el que pueda reutilizarse o reciclarse el objeto.

### 3. Conclusiones parciales

En primer lugar, es importante mencionar un punto destacado por el director de Medio Ambiente del Municipio durante la reunión, y es que la gestión de los RSU del Municipio de Tandil resulta dificultosa dado que no están integrados los organismos o instituciones que se encargan de la misma. Además, como se ha mencionado, hay vecinos que se juntan en plazas de determinados barrios una vez al mes a separar los residuos domiciliarios del barrio y luego estos son recolectados por los camiones de los Puntos Limpios, a donde son trasladados e incorporados en la gestión. A pesar de la marcada consciencia demostrada por este sector de la población, esta forma de gestión dificulta la eficiencia, dado que cada ente encargado de las diferentes partes del proceso posee intereses, presupuestos y formas de trabajo diferentes, lo que entorpece la integración en la gestión de residuos, la eficiencia y trazabilidad del proceso.

La forma voluntaria de separación en origen para el traslado de los residuos a los Puntos Limpios parece ser una buena medida para la incorporación de una política de concientización en toda la ciudad, pero según los datos recolectados, de las 30 toneladas diarias de residuos recuperables que genera el municipio, en los PL sólo se recibe el 10% de esto (alrededor de 3t/día). Esto indica que todavía falta un 90% de material por recuperar, idealmente. Además, a los ciudadanos que no cuentan con un automóvil para su movilidad y no se encuentran cerca de las instalaciones de los PL se les dificulta el traslado de sus residuos, por lo que todo indica que el futuro de esta medida debiera ser una separación en origen para luego una recolección diferenciada por los camiones recolectores del municipio.

En las afueras de la ciudad la recolección es deficiente, con periódicas quejas de los vecinos por la falta acumulación en sus cestos particulares o en los contenedores que se disponen exclusivamente en estas zonas debido justamente a la baja frecuencia de recolección en determinados sectores.

La disposición inicial también es un tema a mejorar, dado que en determinadas zonas las viviendas poseen más cestos de residuos particulares por vivienda que en otras zonas, donde la disposición final se realiza en las veredas, y allí se generan problemas con los animales sueltos que rompen las bolsas en busca de restos de comida.

No se cuenta en todo el proceso de gestión de los residuos con una planta separadora, ni con algún tipo tratamiento para la porción orgánica de los mismos (que, según un muestreo realizado por el Ingeniero Luciano Villalba en el año 2017, rondaría alrededor de un 53% del total

de residuos generados por el municipio). Esto es muy importante teniendo en cuenta que al relleno sanitario le quedan menos de dos años de vida útil, y estas medidas ayudarían a reducir las cantidades de residuos dispuestas en el mismo.



## 4. Marco Legal

Se realizó una búsqueda detallada de la normativa aplicable, ya sea nacional, como provincial o municipal con el objetivo de realizar un diseño en base a esta normativa, aprovechando la estructura actual de la gestión de RSU de Tandil.

### 4.1 Normativa Nacional

#### - **Constitución Nacional - Artículo 41**

“Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.”

Este mismo Artículo 41 regula la responsabilidad civil por el daño ambiental, estableciendo la obligación de recomponerlo, en el sentido que no es admisible la indemnización económica de los daños ambientales, siendo obligación de las personas físicas o jurídicas que lo hayan causado, reponer el medio ambiente al estado que éste tenía antes del daño siempre y cuando sea posible. Solo si esa reparación "en especie" no fuera posible, la empresa o el particular deben pagar indemnización. Asimismo, se interpreta que la obligación civil de reparación del medio ambiente es "integral", es decir, que deben repararse todos los daños, mediatos o inmediatos.

Asimismo, los Artículos 121 y 124, disponen que las provincias son las titulares de dominio de los recursos naturales existentes en su territorio y, por lo tanto, les cabe el ejercicio de todos los derechos relacionados con esa titularidad, incluso los relativos a su uso. De esta manera, las provincias conservan todo el poder, no delegado por la Constitución Nacional al Gobierno Federal, y el que expresamente se hayan reservado (Artículo 121).

Conforme lo establecido en el Artículo 125, las provincias pueden celebrar tratados parciales para fines de administración de justicia, de intereses económicos y trabajos de utilidad común, con conocimiento del Congreso Federal; y promover su industria, la inmigración, la construcción de ferrocarriles y canales navegables, la colonización de tierras de propiedad provincial, la introducción y establecimiento de nuevas industrias, la importación de capitales extranjeros y la exploración de sus ríos, por leyes protectoras de estos fines, y con recursos propios. Este artículo abre las puertas para la regionalización en materia de RSU (Municipio de Tandil, 2011).

#### - **Ley Nacional Nº 25.675 - Ley General del Ambiente (LGA)**

Esta Ley establece un sistema federal de coordinación interjurisdiccional para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional (Artículo 1º, inc. j). Se establecen los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la

preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Enumera los siguientes principios de la política ambiental:

- Congruencia: entre la legislación nacional, provincial y municipal;
- Prevención: las causas y fuentes de problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos sobre el ambiente;
- Precautorio: cuando haya peligro de daño grave deberán implementarse medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente aún en ausencia de información o certeza científica;
- Equidad intergeneracional: los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras;
- Progresividad: los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, conforme a un cronograma temporal que permita la adecuación de las actividades relacionadas con esos objetivos;
- Responsabilidad: el generador de efectos degradantes sobre el ambiente, actuales o futuros, es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de otros sistemas de responsabilidad;
- Subsidiariedad: del Estado Nacional, a través de distintas instancias de la administración pública, colaborando para la preservación y protección ambiental y participando, de ser necesario, en forma complementaria al accionar de los particulares;
- Sustentabilidad: gestión apropiada del ambiente para que el desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras;
- Solidaridad: la Nación y Provincias son responsables de la prevención y mitigación de los efectos ambientales transfronterizos adversos derivados de su propio accionar, como así también de la minimización de los riesgos ambientales sobre los ecosistemas compartidos;
- Cooperación: los recursos naturales y los sistemas ecológicos compartidos serán utilizados en forma equitativa y racional.

Enumera también los instrumentos de la política ambiental. Define a los presupuestos mínimos y al daño ambiental. Establece la obligatoriedad de contratar seguros ambientales. El bien jurídico protegido por esta Ley es el ambiente. Establece, además, medidas precautorias para casos de urgencia y contiene un régimen de responsabilidad civil especial y ampliatorio del contenido en la Ley Nacional de Residuos Peligrosos.

- **Ley Nacional Nº 25.916 – Gestión de residuos domiciliarios**

Establece los “presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.” Define a los residuos domiciliarios como “aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados”.

Describe las etapas comprendidas en la gestión integral: generación, disposición inicial, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final.

Determina que las autoridades competentes serán los organismos que determinen cada una de las jurisdicciones locales, y que éstas “promoverán la valorización de residuos mediante la implementación de programas de cumplimiento e implementación gradual” y “podrán suscribir convenios bilaterales o multilaterales, que posibiliten la implementación de estrategias regionales para alguna o la totalidad de las etapas de la gestión integral de los residuos domiciliarios”.

- **Ley Nacional Nº 24.051 – Gestión de residuos peligrosos**

Establece la gestión de residuos peligrosos “cuando se tratare de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional o, aunque ubicados en territorio de una provincia estuvieren destinados al transporte fuera de ella, o cuando, a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieren afectar a las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado, o cuando las medidas higiénicas o de seguridad que a su respecto fuere conveniente disponer, tuvieren una repercusión económica sensible tal, que tornare aconsejable uniformarlas en todo el territorio de la Nación, a fin de garantizar la efectiva competencia de las empresas que debieran soportar la carga de dichas medidas.”

- **Ley Nacional Nº 25.612 – Gestión integral de residuos industriales**

Establece “los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional, y sean derivados de procesos industriales o de actividades de servicios”.

#### 4.2 Normativa Provincial

- **Ley Nº 11.723 de la Provincia de Buenos Aires – Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.**

Establece que “La gestión de todo residuo que no esté incluido en las categorías de residuo especial, patogénico y radioactivo, será de incumbencia y responsabilidad municipal. Respecto de los Municipios alcanzados por el Decreto Ley 9111/78, el Poder Ejecutivo provincial promoverá la paulatina implementación del principio establecido en este artículo”.

Además, el artículo 66 de esta ley instituye que “La gestión municipal, en el manejo de los residuos, implementará los mecanismos tendientes a: a) La minimización en su generación. b) La recuperación de materia y/o energía. c) La evaluación ambiental de la gestión sobre los mismos. d) La clasificación en la fuente. e) La evaluación de impacto ambiental, previa localización de sitios para disposición final.”

- **Ley Nº 13.592 de la Provincia de Buenos Aires – Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos**

Establece “los procedimientos de gestión de los residuos sólidos urbanos, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley Nacional Nº 25.916 de “presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios””.

Además, establece las competencias del Poder Ejecutivo Provincial y de los Municipios en la gestión.

- **Ley Nº 11.720 de la Provincia de Buenos Aires – Gestión de Residuos Especiales**

Establece los principios y medios para “reducir la cantidad de residuos especiales generados, minimizar los potenciales riesgos del tratamiento, transporte y disposición de los mismos y promover la utilización de las tecnologías más adecuados, desde el punto de vista ambiental.”

- **Ley Nº 11.347 de la Provincia de Buenos Aires – Gestión de Residuos Patogénicos.**

Reglamenta el “tratamiento, manipuleo, transporte y disposición final de residuos patogénicos”, y los define como “todos aquéllos desechos o elementos materiales en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que presentan características de toxicidad y/o actividad biológica que puedan afectar directa o indirectamente a los seres vivos, y causar contaminación del suelo, del agua o la atmósfera; que sean generados con motivo de la atención de pacientes (diagnóstico, tratamiento, inmunización o provisión de servicios a seres humanos o animales), así como también en la investigación y/o producción comercial de elementos biológicos.”

### 4.3 Normativa Municipal

- **Resolución Nº 2.979**

Declara de “Interés Educativo y Ambiental el curso de Formación Profesional en Gestión Integral de los residuos sólidos urbanos”.

- **Decreto Ordenanza Nº 2.800**

Autoriza el uso de contenedores para la disposición de residuos “provenientes de limpieza de edificios, fábricas, negocios o industrias, demoliciones, refacciones, modificaciones de edificios y toda otra materia factible de ser transportada por este medio con excepción de las que signifiquen riesgos para la seguridad, higiene y salubridad”

## 5. Diseño del Sistema de Gestión Integral de Residuos

En base a la recolección de información realizada, y la obtención de un diagnóstico de la situación actual de la gestión integral de residuos, se propone el diseño de un nuevo sistema en el que se busca mejorar la eficiencia de la gestión, apoyando el mismo sobre los conceptos principales de la economía circular, la cual intenta reproducir el ciclo biológico de los ecosistemas naturales en un “ciclo técnico o productivo” en el que los recursos se recuperan y restauran (Lehmann, 2019).

Es importante comprender que ningún subproceso de la gestión de residuos (generación, disposición inicial, recolección, transporte, tratamiento y disposición final) soluciona los problemas ambientales que estos generan, sino que todos contribuyen para minimizar el impacto negativo y por eso todos tienen una importancia fundamental dentro del proceso general. Además, favorece el aumento de la eficiencia en el sistema económico, ya que ciertos factores como el incremento poblacional a nivel global, la explotación indiscriminada de recursos naturales para sobrellevar los modelos económico y el aumento de los estándares de calidad de vida, entre otros, no son sustentables con el modelo económico lineal que existe hoy en día, dado que los recursos naturales de los que se valen, son finitos.

Para realizar una propuesta con potencial a largo plazo, se calcula la población del Partido de Tandil para el año 2039, por medio de la proyección demográfica por tasa decreciente utilizando los últimos tres censos realizados por el INDEC.

El cálculo puede verse en la sección “Memoria de cálculo”, y su resultado se plasma en la siguiente tabla (Tabla 5.1):

*Tabla 5.1: Proyección demográfica calculada por tasa decreciente tomando los tres últimos datos del INDEC y proyectando para dentro de 20 años*

Año	Población
1991	101.228
2001	108.109
2010	123.343
2019	135.715
2039	167.831
2041	171.434

En base a un estudio elaborado por el docente e investigador Luciano Villalba en conjunto con Roxana Banda Noriega y un equipo de la UNICEN, puede obtenerse una referencia de la caracterización de los residuos domiciliarios de Tandil. En este se realizaron tres campañas de

muestreo (dos en el año 2016 y una en el 2017) exclusivamente de los residuos generados por hogares de Tandil, estratificando los recorridos por zonas y el poder adquisitivo asociado a las mismas, y se recorrieron aproximadamente 90 hogares en cada campaña. El análisis se realizó en base a las bolsas de residuos generadas de forma domiciliaria, cuyo destino era la recolección formal y luego el relleno sanitario. Los resultados obtenidos fueron los demostrados en el siguiente esquema (Figura 5.1):

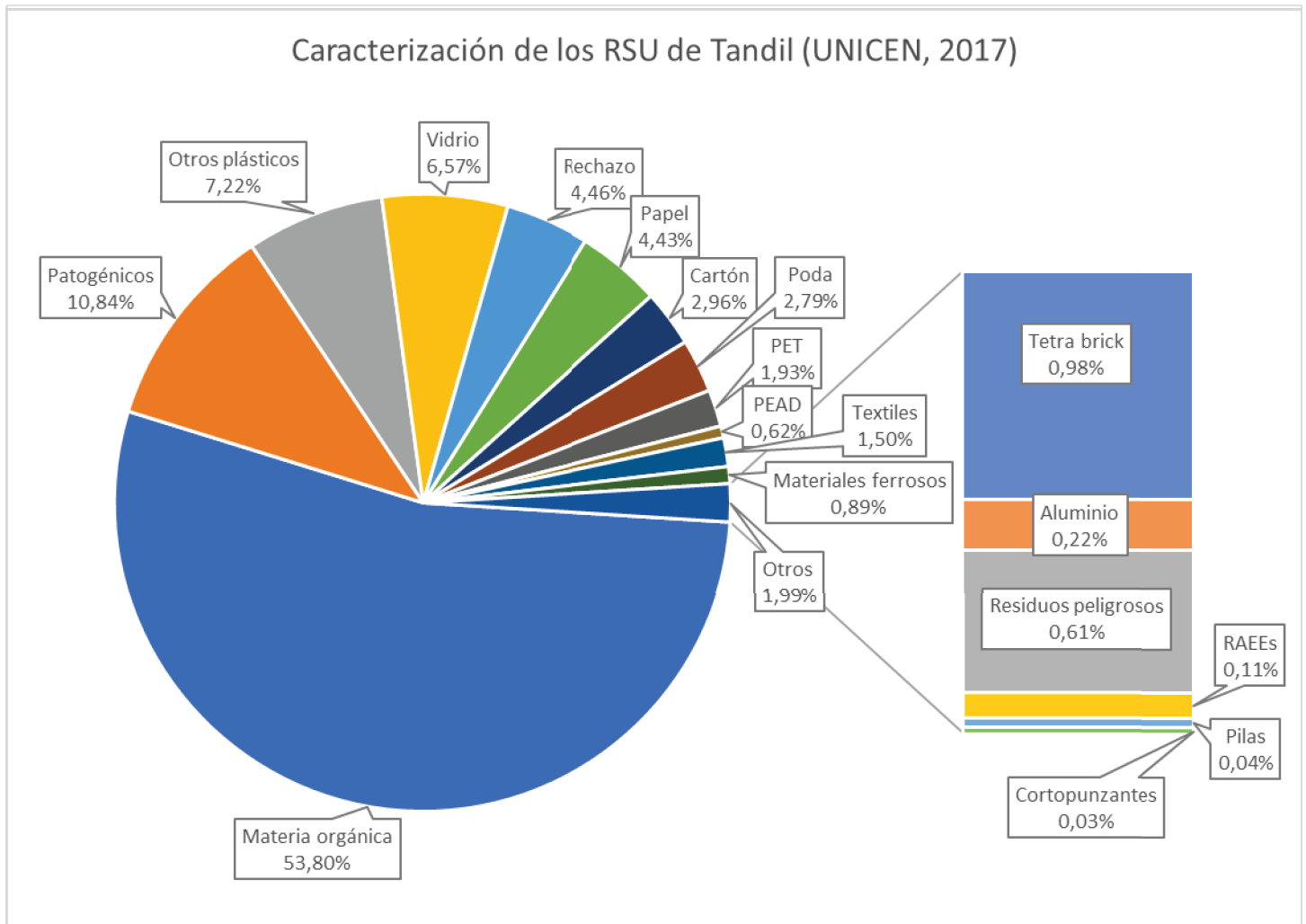


Figura 5.1: Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios de Tandil, realizada por un equipo de docentes y alumnos de la Universidad Nacional del Centro. Fuente: Banda Noriega, 2017.

El estudio se realizó analizando las bolsas de residuos de los hogares seleccionados de forma aleatoria dentro de una delimitación de zonas. Esto implica que la caracterización realizada incluye únicamente los Residuos Sólidos Domiciliarios, excluyendo los residuos generados por comercios, instituciones y espacios verdes. Además, este estudio afirma que la generación de RSD corresponde a un 50% de la generación total de RSU y esto sugiere que la generación real de RSD es aproximadamente 0,55kg/día.persona en el año corriente (2019), siendo la otra mitad (de un total de 1,1kg/día.persona) generada por comercios locales, oficinas y espacios verdes.

Debido a la falta de datos sobre la generación de Residuos Sólidos no Domiciliarios (RSnD), se asumirá a lo largo del presente proyecto que esta caracterización abarca los RSU totales, generados por domicilios tanto como por comercios, instituciones o espacios verdes.

En base a esta caracterización, y tomando en cuenta los datos recolectados para el diagnóstico de la situación actual, se procesó la información buscando la masa generada de cada tipo de residuos, los kg recibidos en el relleno sanitario desglosados y un porcentaje de recuperación de los residuos en los Puntos Limpios de la ciudad (con los datos del 2018), y así enfocar las estrategias en los residuos más críticos ya sea por la falta de tratamiento y recuperación de los mismos o por su peligrosidad sobre el entorno.

Además, los datos expuestos en esta tabla se utilizarán como base para los cálculos de generación de las corrientes de residuos que se describirán más adelante.

La Tabla 5.2 muestra los resultados obtenidos:

*Tabla 5.2: Desglose de kg de residuos en base a la caracterización y porcentaje de recupero en PL.*

Residuos	Kg recibidos en relleno/día	Kg recibidos en los PL/día	Kg generados	% de recupero en PL
Materia orgánica	83928	0	83928	0,00
Patogénicos	16910,4	0	16910	0,00
Otros plásticos	11263,2	3,0	11266	0,03
Vidrio	10249,2	589,7	10839	5,44
Rechazo	6957,6	0	6958	0,00
Papel	6910,8	1344,5	12873	10,44
Cartón	4617,6			
Poda	4352,4	0	4352	0,00
PET	3010,8	343,3	4321	7,95
PEAD	967,2			
Textiles	2340	0	2340	0,00
Materiales ferrosos	1388,4	1,2	1390	0,08
Tetra brik	1528,8	6,8	1536	0,44
Aluminio	343,2	44,0	387	11,37
Residuos peligrosos	951,6	0	952	0,00
RAEEs	171,6	161,2	333	48,44
Pilas	62,4	57,6	120	48,01
Cortopunzantes	46,8	0	47	0,00
<b>Total</b>	<b>156000</b>	<b>2551,4</b>	<b>158551</b>	<b>1,6</b>



Puede observarse que los RAEEs y las pilas tienen un alto porcentaje de recupero del total generado, algo que es de importancia primaria dado que son residuos sumamente riesgosos para el ambiente. Si bien este trabajo contempla la gestión de todas estas categorías de residuos, se centra con especial atención en los residuos que cuentan con un tratamiento deficiente (PET y PEAD, vidrio, etc.) o con un alto nivel de peligrosidad para el ambiente o la salud humana (pilas, RAEEs).

Llevar adelante una gestión integral de RSU demanda en una primera instancia de enormes esfuerzos de la gestión gubernamental, para diseñar el sistema y fortalecer las áreas a cargo, que luego deben ser acompañadas con la participación ciudadana, principalmente en la disposición inicial diferenciada, en las acciones para reducir la generación y mejorar hábitos relativos a la higiene urbana. Estos aspectos resultan claves para lograr con éxito las metas de reducción y principalmente para ser sostenibles en el tiempo (Agüero, 2014).

A continuación, se realiza una propuesta con estrategias y diseño de sistemas que logren una mejora en cada una de las etapas de la gestión de RSU, optimizando los resultados generales de la misma:

### 5.1 Generación

La generación de RSU en cantidad y composición depende de varios factores, entre los que pueden mencionarse: tamaño, ubicación geográfica y base económica del asentamiento involucrado, y los consiguientes hábitos de consumo de su población.

Es sabido que el problema creado por los RSU en las ciudades grandes, es actualmente mucho más grave que hace unas décadas. No solo debido a la mayor cantidad generada, sino también por su composición, que ha variado sustancialmente por el incremento de la presencia de residuos inorgánicos. Por ejemplo, es creciente la utilización de los envases descartables: metálicos, plásticos o combinaciones de los dos.

La minimización y separación de los residuos en la fuente, es el componente de mayor jerarquía en la administración de los RSU porque representa el medio más eficaz para reducir los costos económicos y los efectos ambientales asociados con el manejo de los residuos (Agüero, 2014).

Para reducir la tasa de generación de residuos se presentan las siguientes alternativas:

Sector domiciliario:

- Reutilización de todos los productos posibles como bolsas, cajas y papeles doble faz.

- Solicitar a los vendedores de todos los locales la minimización del uso de envoltorios.
- Minimizar el uso de productos descartables. Buscar comprar productos como bebidas en envases retornables.
- Evitar el consumo de bandejas de poliestireno expandido (Telgopor)
- Pedir los productos evitando el consumo de envoltorios innecesarios.
- En los domicilios donde sea factible, implementar composteras para los residuos de origen orgánico vegetal.
- Separar todos los residuos recibidos en los Puntos Limpios y trasladarlos hasta allí, o hasta los contenedores (ver Apartado 5.3 "Disposición Inicial").
- Utilizar pilas y/o baterías recargables.

Sector comercial:

- Vender productos en contenedores reutilizables.
- Sustituir las bolsas del sector de verdulería por envoltorios naturales (ej. Hojas de plátano).
- Evitar el uso innecesario de bolsas plásticas, papel y cartón.
- Impresoras y fotocopiadoras realizar por default las copias doble faz.
- Evitar el uso de papeles que dificultan o imposibilitan el reciclaje (plastificados, encerados, de fax, etc.) a menos que sea imprescindible.

Además, desde el Municipio debe fomentarse la reducción de la generación desde la fabricación de los productos locales, es decir, en el sector industrial. Para esto se sugiere:

- Generar beneficios impositivos e incentivos económicos a aquellas industrias locales que, dentro de su diseño y producción de sus productos, implementen estrategias de reducción de residuos.
- Generar beneficios a aquellas industrias que incorporen logística inversa (gestión de la cadena de suministro en circuito cerrado) para cerrar el ciclo y optimizar los flujos de materiales, productos y residuos en las funciones de obtención, distribución y reciclado.
- Establecer la obligatoriedad de una "Evaluación de ciclo de vida". Para obtener el impacto real generado por un producto se requiere una medición de impactos durante todo el ciclo de vida del mismo desde la producción hasta la finalización de su uso.

## 5.2 Separación en origen

Se plantea un sistema con separación en origen, es decir, que los ciudadanos en los domicilios, oficinas, comercios y espacios verdes, separen los diferentes residuos de la forma que se indicará a continuación. Este punto es fundamental en un sistema de gestión de residuos debido a que:

- Hay entre un 25% y un 30% de residuos que, al mezclarse con otros en las bolsas sin separación, se contaminan, impidiendo su potencial reutilización y reciclaje. Estos deben disponerse en el relleno sanitario y de esta forma se desechan todas las materias primas y recursos naturales con los que se fabricó (esto incluye agua, madera, energía, etc.)
- Reduce el costo económico de la gestión de forma significativa, ya que el trabajo en lugar de ser realizado completamente en una planta de tratamiento, cuyo costo operativo es muy alto, ese trabajo de separación lo hace cada domicilio y realizando cada ciudadano un trabajo que demanda poco tiempo, esfuerzo y operación.
- Se revaloriza no solo los materiales recuperados, sino todos los insumos utilizados en su producción.
- Aumenta la concientización y el compromiso de los ciudadanos sobre la problemática de la gestión de residuos y los costos ambientales y económicos que trae aparejado.

Para la separación en origen se propone el aprovechamiento del sistema actual de Puntos Limpios. Los residuos mencionados en el Apartado 2.3 (los tratados en los Puntos Limpios) se tomarán como la base de los residuos a reciclar ya que la gestión actual, una vez que estos llegan a los PL, es provechosa. Sin embargo, esta corriente de residuos se ampliará, incluyendo otros

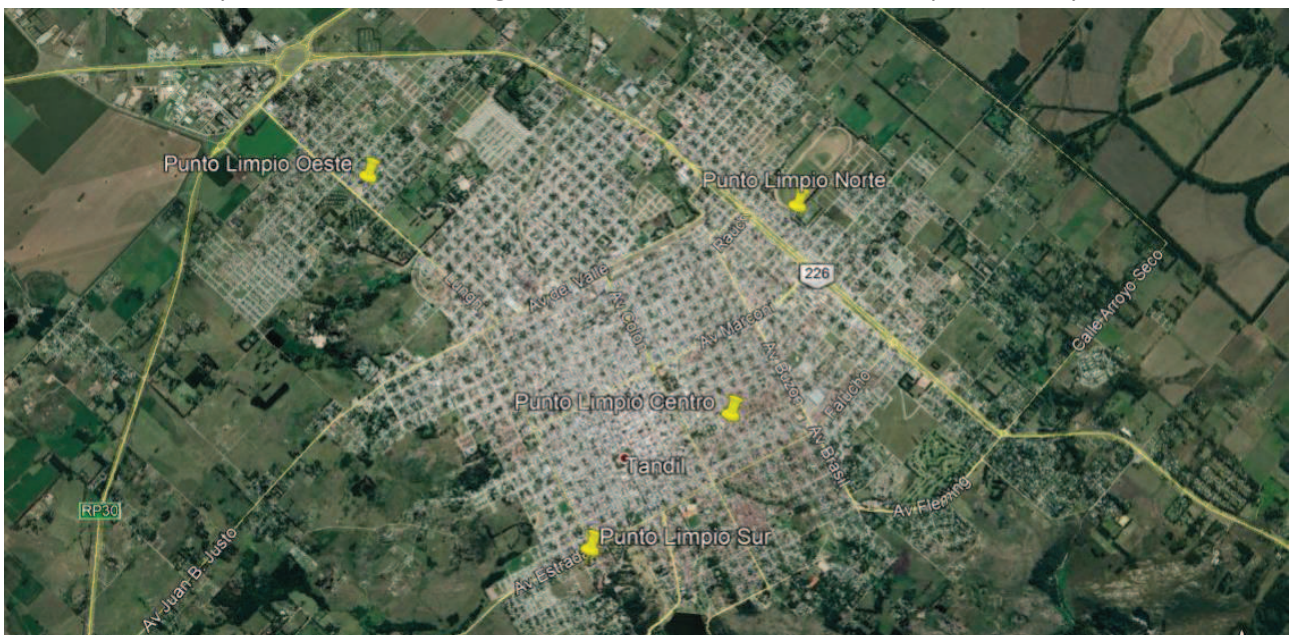


Figura 5.2: Mapa de Tandil donde se observan los Puntos Limpios de la ciudad. El PL faltante se encuentra en el poblado de María Ignacia - Vela. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

materiales reciclables o reutilizables que también se tratarán en los PL. También se agregará un Punto Limpio en la Zona Sur (Punto Limpio Sur) de la ciudad (como lo muestra la Figura 5.2), con el fin de aumentar la capacidad de procesamiento de los materiales, y disminuir la distancia desde los puntos de recolección. Además, se agregarán las corrientes de Compostables y de Basura.

A continuación, se listan y ejemplifican los residuos de cada corriente y se describe el estado necesario para su tratamiento en origen:

- ❖ **Reciclables:** Son aquellos residuos que tienen potencial para reutilizarse ya sea mediante el acondicionamiento del material o mediante un proceso en el que funcionan como materias primas. Deben separarse limpios y secos.

**Residuos que serán tratados bajo la gestión de “Reciclables”:**

- Plásticos: Botellas de bebidas (PET), envases de elementos de limpieza (PP, PET, PEAD y otros plásticos), stretch de embalaje, Telgopor, potes de queso crema y dulce de leche, bolsas rotas.
- Papel: Todo tipo de papel limpio y seco (puede estar escrito con tinta).
- Cartón: Cajas, recortes, bandejas.
- Vidrio: Todo tipo de vidrio limpio y seco.
- Metales: Latas de bebidas y conservas, recortes de chapa, tapas metálicas de yogurt, queso cremoso o dulce de leche.
- RAEEs: Todos los Residuos de Aparatos Eléctricos o Electrónicos serán aceptados, pero estos deberán llevarse hasta los Puntos Limpios en lugar de colocarlos en los contenedores, ya que pueden dañarse.
- Pilas o baterías: Todas las pilas y baterías, tanto recargables como descartables.
- AVUs: El aceite vegetal usado deberá ser llevado hasta los Puntos Limpios en botellas para de estar forma no mezclar este residuo con el resto de los reciclables en el contenedor.
- Tetra briks

- ❖ **Compostables:** Residuos que pueden descomponerse aeróbicamente y transformarse en abono orgánico.

**Residuos que serán tratados bajo la gestión de “Compostables”:**

- Restos de comida (vegetales, grasa animal, restos de carne)
- Restos de lácteos
- Cáscaras de frutas
- Tubérculos

- Residuos de jardín y pequeños de poda (hojas, ramas pequeñas)

❖ **Basura:** Son aquellos residuos que no pueden reutilizarse ni reciclarse, y generan dificultades en el proceso de descomposición biológica.

**Residuos que serán tratados bajo la gestión de “Basura”:**

- Envoltorios de golosinas, galletitas, chocolates, etc.
- Elementos de higiene personal (Papel higiénico, pañuelos, vendas, algodón, toallas femeninas, tampones)
- Jeringas
- Pañales
- Heces humanas y animales
- Colillas de cigarrillos
- Chiclos
- Cáscara de huevo
- Elementos cortopunzantes (deben acondicionarse previamente asegurando su seguridad para la manipulación)
- Medicamentos vencidos y sus envoltorios
- Recipientes con restos de pintura, aguarrás, solventes.
- Residuos que figuran como reciclables, pero no es posible limpiarlos

Los Reciclables deberán lavarse y secarse antes de ser dispuestos para su recolección. Se colocarán en bolsas o en cajas, preferiblemente compactándolos (principalmente botellas y latas), para disponerlos como se indicará en la sección “Disposición Inicial”.

Los Compostables se colocarán en bolsas blancas biodegradables de PLA (ácido poliláctico obtenido por fermentación bacteriana de desechos de almidón), de un gramaje de 30g/m<sup>2</sup>, que tardan aproximadamente 3 meses en biodegradarse y de esta forma resisten el tiempo de la disposición y la recolección.

La Basura se colocará en bolsas negras de residuos, contemplando la seguridad de los materiales cortopunzantes y/o peligrosos, es decir, estos deben colocarse en cartón rígido antes de colocarse en la bolsa.

Las áreas verdes y los comercios deberán contar con los cestos diferenciados y con claras indicaciones de uso.

El municipio proveerá las bolsas para los residuos compostables (bolsas biodegradables de PLA) y la basura (bolsas negras de residuos), basando las cantidades en la cantidad de personas que viven en cada domicilio, y estimando las cantidades para los comercios.

### 5.3 Disposición inicial

La estrategia planteada para la gestión tiene como idea fundamental el aprovechamiento del sistema de gestión actual. Para esto, se plantea como propuesta de disposición inicial una diferenciación entre las corrientes de residuos.

Dado que los Reciclables serán tratados en los PL, estos no se gestionarán de la misma forma que los Compostables y la Basura. En cambio, se plantea que los Reciclables se dispongan en campanas verdes, a cargo de la gestión de PL. Estas campanas se colocarán cada aproximadamente tres cuadras en zonas céntricas y en las zonas más alejadas la distancia dependerá de la densidad poblacional, contemplando los ingresos de automóviles y pedestres a los domicilios para no bloquearlos, de forma que cualquier vivienda tenga una campana cercana a su domicilio para disponer sus reciclables.



*Figura 5.3: Ejemplo de contenedor campana para Reciclables. Fuente: Google.*

Las otras dos corrientes (Compostables y Basura) se dispondrán en cestos domiciliarios. Se propone elaborar una ordenanza municipal que obligue a los frentistas a disponer de un cesto propio. En el caso de edificios o complejos de viviendas, éstos deberán contar con un contenedor interno en el que se juntarán las bolsas de ambas corrientes y se sacará a la calle previo al horario de recolección.



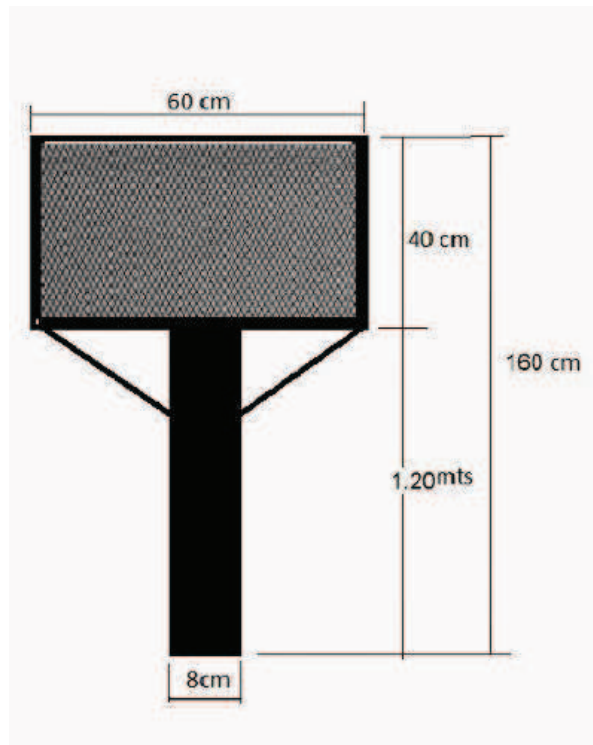


Figura 5.4: Ejemplo de cesto domiciliario de disposición inicial para Compostables y Basura. Fuente: Google.

Es importante que los residuos no permanezcan mucho tiempo a la intemperie por posibles lluvias (que generan la diseminación de los residuos), o por animales sueltos como perros o comadrejas (que en muchos casos rompen las bolsas en busca de comida). Para que los ciudadanos conozcan los horarios para disponer sus residuos, se hará una recolección diferenciada, explicada en la siguiente sección, y sólo podrán disponerse en estos cestos domiciliarios las corrientes de Compostables y de Basura en los días de recolección de cada uno. Este sistema se comunicará claramente para toda la ciudad mediante volantes, y se cargarán los horarios de recolección de cada corriente en la página WEB del Municipio.

#### 5.4 Recolección

Para la recolección se evaluaron alternativas en función del aprovechamiento de las instalaciones y los bienes con los que cuenta la gestión actual de RSU. Una de las alternativas era centralizar el tratamiento de los residuos en una planta localizada dentro del predio del relleno sanitario, mientras la otra era trabajar con estaciones de transferencia (los actuales Puntos Limpios), donde alguno de estos sería el destino de los camiones recolectores luego de la recolección.

Evaluando principalmente factores como distancia, costos de combustible (sabiendo que normalmente supera el 30% de los costos operativos), aprovechamiento de las instalaciones y

equipos de trabajo actuales, la correcta actual gestión de los reciclables y la concientización de la población, finalmente se optó por un punto medio: utilizar los Puntos Limpios como estaciones de transferencia para la corriente de Reciclables, y gestionar la corriente de Compostables en una planta de Compost dentro del predio del relleno sanitario, mientras que la de Basura será destinada directamente al relleno. Esto se traduciría principalmente en menor costo operativo, entre otros beneficios, en comparación con operar una planta única para las tres corrientes dentro del predio del relleno sanitario. Es decir, si llegaran las tres corrientes a una única planta ubicada en el relleno sanitario, operativamente sería menos eficiente por la ubicación del mismo. En contraste, los PL están ubicados dentro de la ciudad, en localizaciones estratégicas, con lo cual el costo logístico será menor ante un escenario de recolección diferenciada. En la Figura 5.5 puede observarse el esquema general de la propuesta presentada en este proyecto para la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.

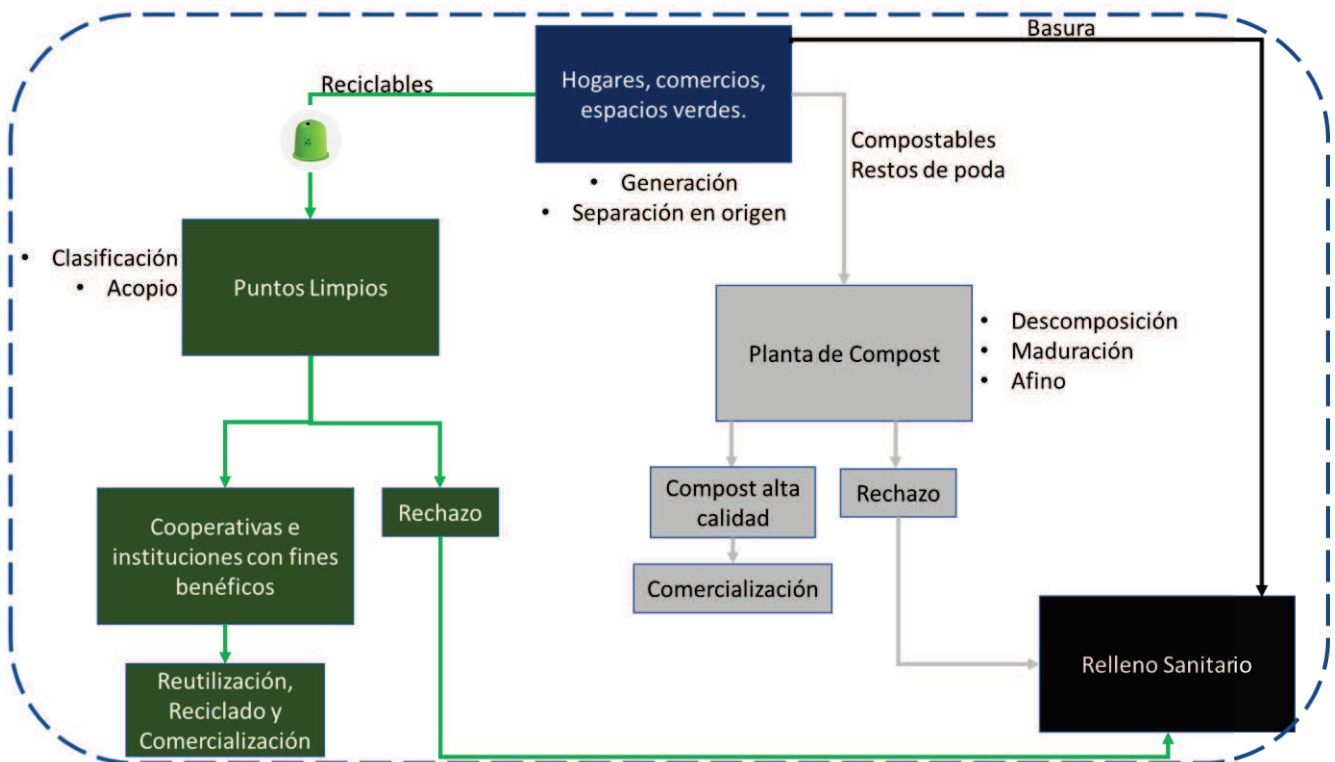


Figura 5.5: Esquema general de la gestión de RSU presentado en el actual proyecto. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma la recolección será diferenciada y los Reciclables, que serán dispuestos por los vecinos en los contenedores campana, serán recolectados por camiones exclusivos de los Puntos Limpios y transportados hacia el más cercano al barrio en el que se esté recolectando. Así es que se diseñarán las rutas de recolección de los Reciclables, desde el comienzo hasta la finalización de su recorrido.



Por su parte, las corrientes de Compostables y Basura, serán recolectadas puerta a puerta, por los cestos domiciliarios de cada frentista y transportadas hacia la planta de separación del relleno sanitario. Se mantendrán las rutas actuales de recolección, ya que la propuesta no incluye cambios en las mismas. Sin embargo, se realizará un cálculo estimado de los km recorridos en la recolección de Compostables y Basura, con el fin de obtener estimaciones aproximadas para calcular el costo operativo del proyecto.

Lo primero que se realizó para diseñar la recolección, fue una sectorización de la ciudad en función de la densidad poblacional.

Los datos para la densidad poblacional se extrajeron de la Dirección de Estadística Local, del Municipio de Tandil, la cual expone en su web un plano de la ciudad con las diferentes cantidades de habitantes distribuidas por zonas, como puede verse en la Figura 5.6:

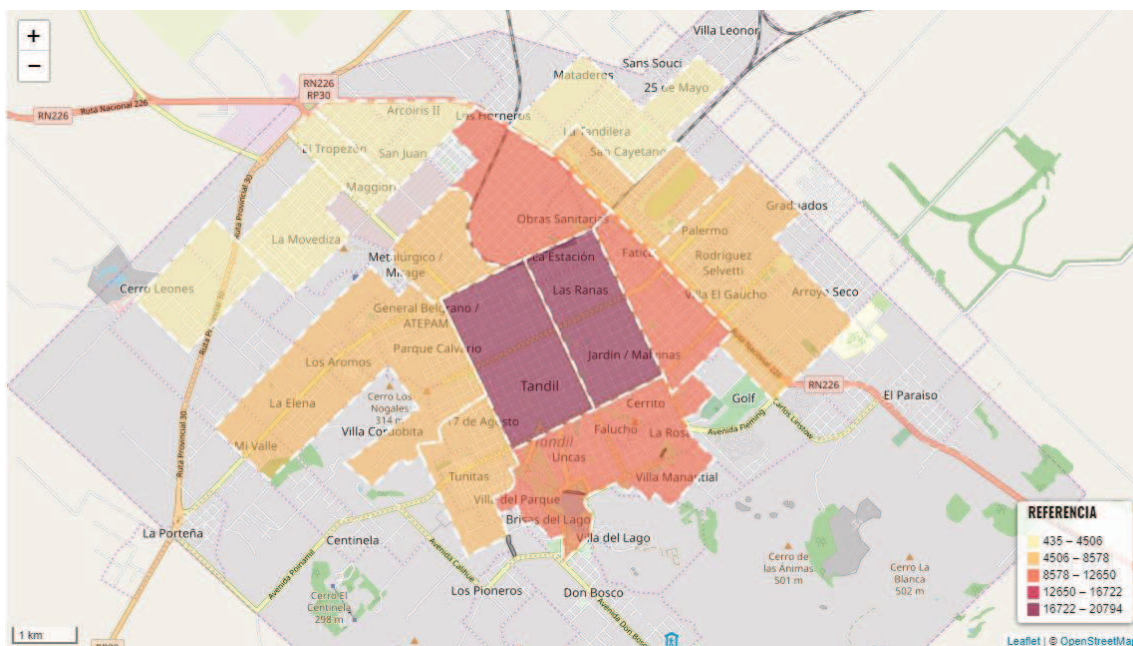


Figura 5.6: Población de Tandil por zona. Fuente: Dirección de Estadística, Municipio de Tandil.

Este mapa se extrajo de la web del Municipio de Tandil, se superpuso en el mapa de la herramienta Google Earth y se enumeraron las zonas para una simplificación en la identificación de cada una (Ver Figura 5.7). De esta forma, se midió la superficie de las áreas delimitadas, y con el dato de cantidad de habitantes, se calculó la densidad poblacional (hab/ha), expuesta en la Tabla 5.3. Además, con esta información y sabiendo que la generación es de 1,1kg/día.persona,

se calculó la generación por zona, de manera de contar con este dato para el diseño de las rutas de recolección.

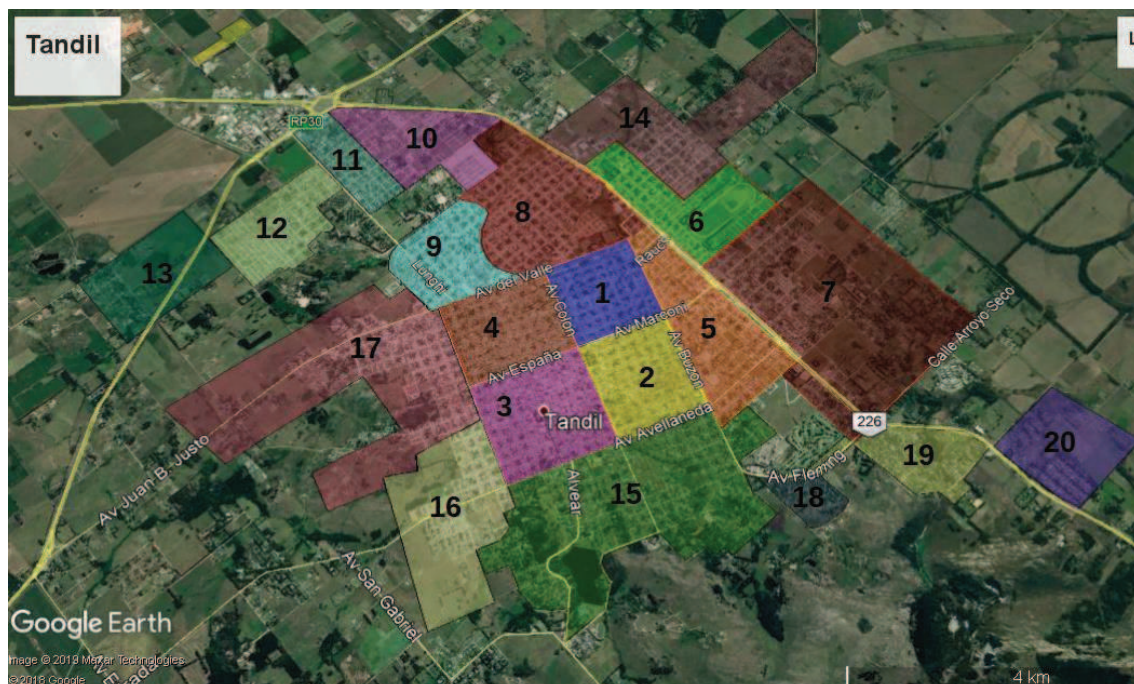


Figura 5.7: Zonas de Tandil delimitadas y enumeradas. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

Tabla 5.3: Densidad poblacional y generación por zona

Número de Identificación	Zona	Superficie (ha)	Población (hab)	Densidad poblacional (hab/ha)	Generación por zona (t/día)
1	Zona Centro	130			
2	Zona Centro	149	16932	60,7	18,6
3	Zona Centro	180			
4	Zona Centro	157	20794	61,7	22,9
5	Radio Urbano Norte	211	9234	43,8	10,2
6	Zona Norte	194	3796	19,6	4,2
7	Palermo-Selvetti	650	5043	7,8	5,5
8	Villa Italia	321	10927	34,0	12,0
9	Metalúrgico-L. de la Torre	146	5589	38,3	6,1
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	196	2765	14,1	3,0
11	Maggiori	98	1697	17,3	1,9
12	La Movediza	156	3130	20,1	3,4
13	Cerro Leones	177	435	2,5	0,5
14	San Cayetano-V. Leonor	369	3862	10,5	4,2
15	Ma. Auxiliadora	455	9521	20,9	10,5
16	Tunitas	218	5186	23,8	5,7
17	Gral Belgrano	495	8039	16,2	8,8
18	Country Sierras de Tandil	36	812	22,6	0,9

19	Golf	100	887	8,9	1,0
20	El Paraíso	135	1001	7,4	1,1

El área total a servir es de 4573ha, tomando exclusivamente las áreas urbanas y periurbanas de Tandil.

Como se mencionó anteriormente, la generación de residuos por persona (GPP) en Tandil es de 1,1kg/día.persona, sin una diferenciación de residuos. A partir de la caracterización realizada por la UNICEN descripta anteriormente, se procesaron los datos de forma de desglosar este número en las distintas corrientes propuestas en este proyecto. Los resultados fueron los siguientes (Tabla 5.4):

*Tabla 5.4: Generación por persona de las corrientes de recolección*

GPP de Reciclables	0.29 kg/día.persona
GPP de Compostables	0.61 kg/día.persona
GPP de Basura	0.20 kg/día.persona

Estos datos fueron recolectados y calculados para el diseño de las rutas de las corrientes, descripto a continuación.

En lo que respecta a la recolección, se utilizaron los valores de generación del año 2018 (el dato obtenido más actualizado), dado que el crecimiento demográfico y en qué zonas se instalarán nuevas viviendas, y la eficiencia del sistema planteado serán factores determinantes para ir modificándolo evaluando año a año las mejores alternativas. Sin embargo, las plantas de tratamiento que se diseñarán, tendrán el dimensionamiento para la proyección a 20 años planteada.

#### 5.4.1 Recolección de Reciclables

Como ya se ha mencionado, la recolección de Reciclables estará a cargo de la Dirección de Medio Ambiente y los Puntos Limpios serán los centros de transferencia y tratamiento. De acuerdo a la sectorización y a la cantidad de residuos generada por zona, se asignaron zonas a los Puntos Limpios, de manera que cada Punto Limpio trate cantidades equitativas y acordes a la posibilidad de los mismos. Los Puntos Limpios contarán con camiones propios, y estos recorrerán las zonas asignadas recolectando los residuos Reciclables, dispuestos por los vecinos en los contenedores Campana.

Para agrupar estas zonas y asignárselas a cada Punto Limpio, se utilizó el dato de GPP de Reciclables de la Tabla 5.4, y de esta forma se calculó la generación de Reciclables por zona (Tabla 5.5):

Tabla 5.5: Generación de Reciclables por zona

Número de Identificación	Zona	Generación de Reciclables por zona (t/día)
1	Zona Centro	4,9
2	Zona Centro	
3	Zona Centro	
4	Zona Centro	
5	Radio Urbano Norte	2,7
6	Zona Norte	1,1
7	Palermo-Selvetti	1,5
8	Villa Italia	3,2
9	Metalúrgico-L. de la Torre	1,6
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	0,8
11	Maggiori	0,5
12	La Movediza	0,9
13	Cerro Leones	0,1
14	San Cayetano-V. Leonor	1,1
15	Ma. Auxiliadora	2,8
16	Tunitas	1,5
17	Gral Belgrano	2,3
18	Country Sierras de Tandil	0,2
19	Golf	0,3
20	El Paraíso	0,3

Con esta información, se determinó las zonas a agrupar para cada Punto Limpio:

Al Punto Limpio Centro se le asignaron las cuatro subdivisiones de la Zona Centro (1, 2, 3 y 4), las cuales generan un total de 10,9t/día de reciclables, como lo indica la Figura 5.8:



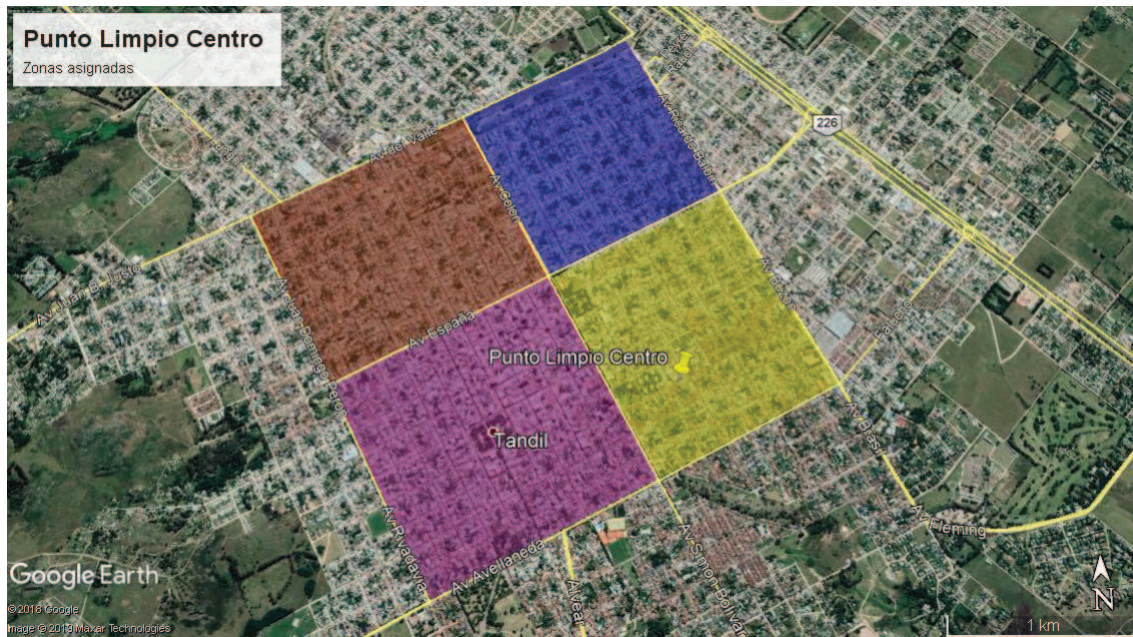


Figura 5.8: Zonas asignadas al Punto Limpio Centro. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

Al Punto Limpio Norte, se le asignaron las siguientes zonas (Figura 5.9), tal que la generación total sea de 7,1t/día:

- 5: Radio Urbano Norte
- 6: Zona Norte
- 7: Palermo-Selvetti
- 14: San Cayetano-V. Leonor
- 18: Country Sierras de Tandil
- 19: Golf
- 20: El Paraíso

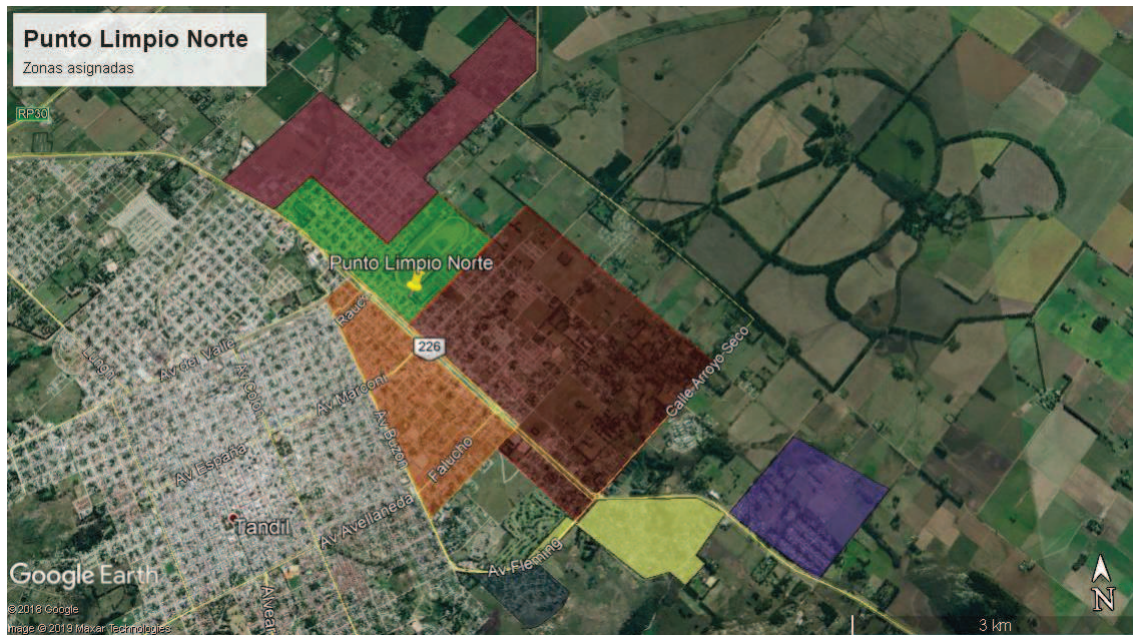


Figura 5.9: Zonas asignadas al Punto Limpio Norte. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

Al Punto Limpio Oeste se le asignaron las siguientes zonas (Figura 5.10), tal que la generación total en las mismas suma 7,1t/día:

- 8: Villa Italia
- 9: Metalúrgico-Lisandro de la Torre
- 10: Arcoiris-San Juan-Procrear
- 11: Maggiori
- 12: La Movediza
- 13: Cerro Leones



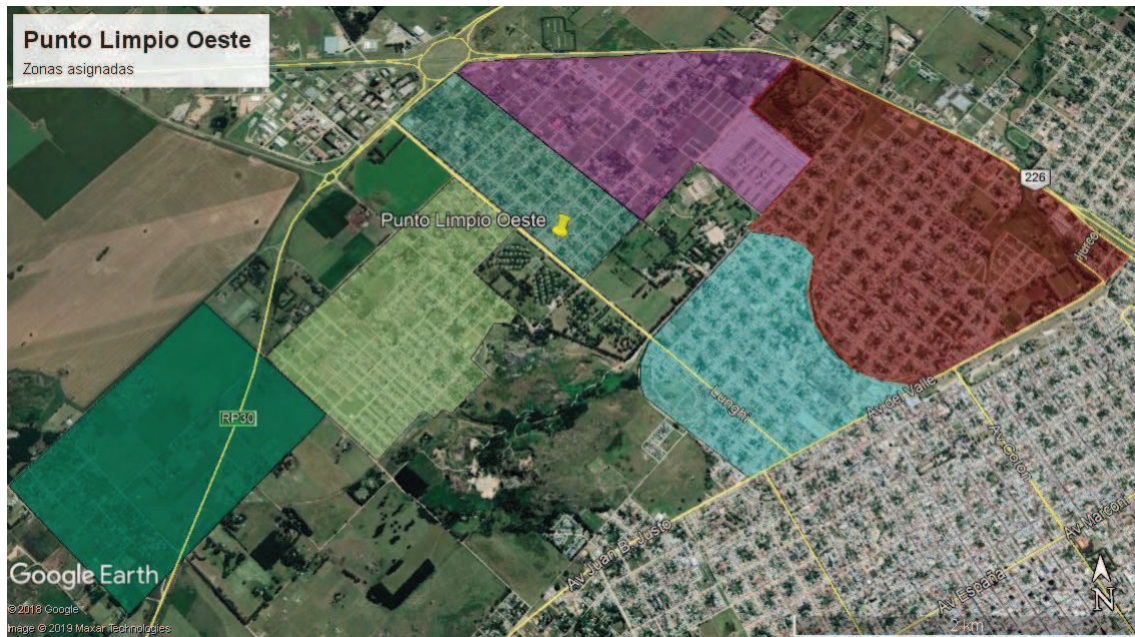


Figura 5.10: Zonas asignadas al Punto Limpio Oeste. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

Al nuevo punto limpio propuesto en este proyecto, el Punto Limpio Sur, se le asignaron las siguientes zonas (Figura 5.11), tal que la generación en las mismas suma 6,6t/día:

- 15: Ma Auxiliadora
- 16: Tunitas
- 17: General Belgrano

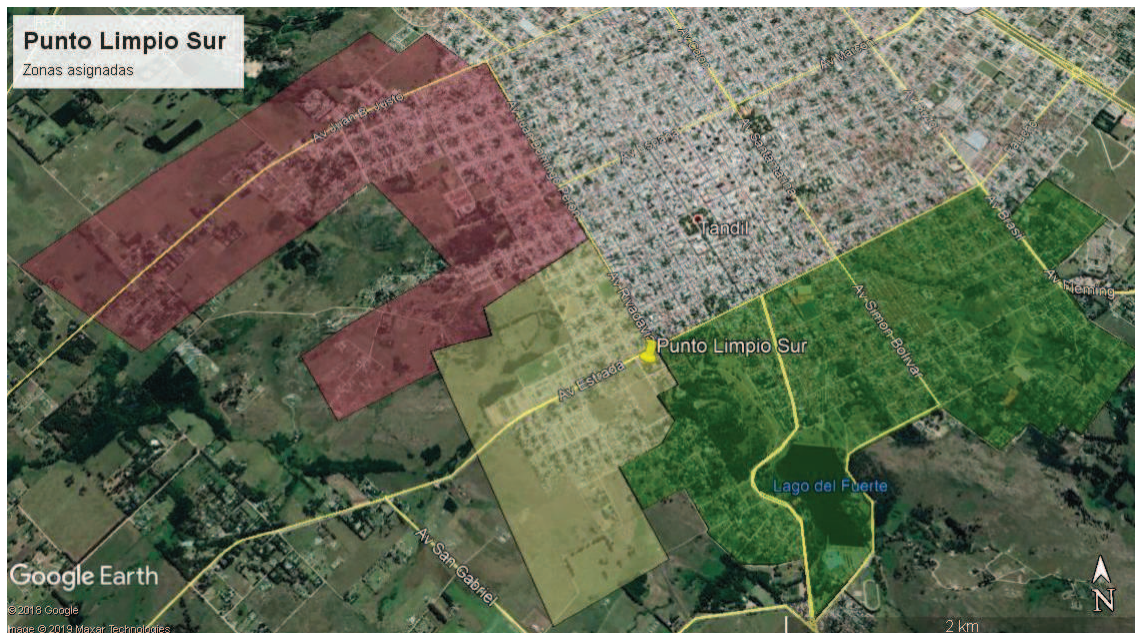


Figura 5.11: Zonas asignadas al Punto Limpio Sur. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

De esta forma, el Punto Limpio Centro será el que tenga a cargo mayor cantidad de toneladas por día para tratar, mientras que los otros tres estarán alrededor de las 7 toneladas por día.

Entonces, es necesario definir qué camión se utilizará para la recolección de reciclables para que, en función de su capacidad, se defina una frecuencia de recolección y así, el volumen necesario de los contenedores campana para un máximo de generación.

Los camiones destinados a la gestión de Reciclables serán los camiones más modernos de la flota actual de recolección formal (Iveco Tector 17E22), cambiando la caja compactadora actual que funciona para una recolección manual, por la Econovo AMS CL-1, de carga mecanizada lateral, de forma que los contenedores campana se vacíen completamente con una alta eficiencia. Estos camiones poseen una capacidad de caja de  $15\text{m}^3$ , y una capacidad de compactación de  $600\text{kg}/\text{m}^3$ . Es decir, pueden cargar hasta 9 toneladas de residuos en un mismo viaje. Todos estos datos fueron validados contactando a personal comercial y técnico de Iveco y Econovo.



Figura 5.12: Compactador Econovo AMS CL-1. Fuente: Econovo.

De esta forma se obtuvieron los datos necesarios para definir la frecuencia de recolección necesaria para los Reciclables, dividido por zona. A través de la **Ecuación 1**, se calculan las toneladas que se recolectarán por día por subsector, dependiendo de la frecuencia de recolección, y así es como se define la misma. Es decir, se fue variando la frecuencia de recolección en la ecuación, para obtener una cantidad de toneladas a recolectar en cada día de recolección de forma que en 3 viajes del camión se complete la jornada.



*Ecuación 1*

$$\frac{t}{\text{día}} = \frac{d. \text{ de generación}}{d. \text{ de recolección}} \times DPS \text{ (ha)} \times \text{dens. pobl} \left( \frac{\text{hab}}{\text{ha}} \right) \times GPP \left( \frac{\text{kg}}{\text{día. hab}} \right) \div 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}$$

- D. de generación: cantidad de días de generación por semana
- D. de recolección: cantidad de días de recolección por semana
- DPS: Dimensiones por sector
- Dens. Pobl: Densidad poblacional
- GPP: Generación por persona

Los D. de generación siempre son 7 por semana, y la generación por persona de residuos reciclables se obtiene de la Tabla 5.4, siendo 0,29kg/día.persona.

Además, las toneladas/día a recolectar por subsector se dividen por la capacidad del camión (9 t/viaje), dando así la cantidad de viajes por día a realizarse en cada zona para recolectar todo lo dispuesto en los contenedores. La cantidad de viajes asignada a los camiones de cada Punto Limpio es de 3 rutas por cada día de recolección de esa zona en particular.

El resultado de todo esto se muestra en la siguiente Tabla 5.6:

Tabla 5.6: Frecuencia de recolección en función de las toneladas de recolección por día. Cantidad de viajes por zona por día y Puntos Limpios a cargo

Número de Identificación	Zona	Frecuencia de recolección (recol/semana)	t/día de recolección por subsector	Cantidad de viajes por sector	Redondeo	Punto Limpio a cargo
1	Zona Centro	3	11,5	1,27	3	Punto Limpio Centro
2	Zona Centro					
3	Zona Centro					
4	Zona Centro	3	14,1	1,56	3	Punto Limpio Norte
5	Radio Urbano Norte	2	9,4	1,04		
6	Zona Norte	2	3,9	0,43		
7	Palermo-Selvetti	2	5,1	0,57	3	Punto Limpio Oeste
8	Villa Italia	2	11,1	1,23		
9	Metalúrgico-L. de la Torre	2	5,7	0,63		
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	2	2,8	0,31	3	Punto Limpio Sur
11	Maggiori	2	1,7	0,19		
12	La Movediza	2	3,2	0,35		
13	Cerro Leones	2	0,4	0,05	3	Punto Limpio Norte
14	San Cayetano-V. Leonor	2	3,9	0,44		
15	Ma. Auxiliadora	2	9,7	1,07		
16	Tunitas	2	5,3	0,58	3	Punto Limpio Norte
17	Gral Belgrano	2	8,2	0,91		
18	Country Sierras de Tandil	2	0,8	0,09		
19	Golf	2	0,9	0,10	3	Punto Limpio Norte
20	El Paraíso	2	1,0	0,11		

Así, se definió que la **frecuencia de recolección** será la siguiente:

- Punto Limpio Centro:
  - 3 días de recolección semanales: Lunes, Miércoles y Viernes de 5am a 11am.
- Punto Limpio Norte:
  - 2 días de recolección semanales: Lunes y Jueves de 5am a 11am.
- Punto Limpio Oeste:
  - 2 días de recolección semanales: Lunes y Jueves de 5am a 11am.
- Punto Limpio Sur:
  - 2 días de recolección semanales: Lunes y Jueves de 5am a 11am.

Cada Punto Limpio contará con 2 camiones iguales, de forma que el trabajo pueda realizarse utilizando solamente uno de ellos por cada día de recolección y así minimizar el desgaste de los mismos, intercalando en cada día de recolección el uso de ambos camiones. Además, en caso de que uno entre en reparación, se contará con el otro, de forma que se garantice la recolección en los días propuestos.

#### **Contenerización:**

Los contenedores propuestos para esta corriente (apartado 5.3 Disposición Inicial) tienen un volumen de 3m<sup>3</sup> y son metálicos para evitar roturas y prolongar su vida útil.

La densidad media de los residuos en el interior del contenedor será alrededor de 200 Kg/m<sup>3</sup> (Zafra Mejía, 2009). Es decir, en un contenedor campana entrarán 600kg (0,6t) de residuos reciclables.

Con esta información, se calculó la cantidad de contenedores mínima por zona a ubicar, y se muestran en la Tabla 5.7:

*Tabla 5.7: Cantidad de contenedores por zona para la corriente de Reciclables.*

Número de Identificación	Zona	Cantidad de contenedores
1	Zona Centro	19
2	Zona Centro	
3	Zona Centro	23
4	Zona Centro	
5	Radio Urbano Norte	16

6	Zona Norte	6
7	Palermo-Selvetti	9
8	Villa Italia	18
9	Metalúrgico-L. de la Torre	9
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	5
11	Maggiori	3
12	La Movediza	5
13	Cerro Leones	1
14	San Cayetano-V. Leonor	7
15	Ma. Auxiliadora	16
16	Tunitas	9
17	Gral Belgrano	14
18	Country Sierras de Tandil	1
19	Golf	2
20	El Paraíso	2
Total	Todas las zonas	164

Los contenedores se ubicarán a aproximadamente 3 cuadras (abasteciendo entre 6 y 7 manzanas cada uno) en la zona céntrica, donde cada ciudadano tendrá a una cuadra y media como máximo cada contenedor. Además, en las 4 subdivisiones de la zona céntrica los 42 contenedores asignados a la misma, se ubicarán solamente en las calles con dirección NO-SE, con el fin de minimizar los costos de logística, simplificando las rutas de recolección. En base a esta ubicación se diseñan las rutas de recolección desde y hasta el Punto Limpio Centro, y se muestran en la Figura 5.13:

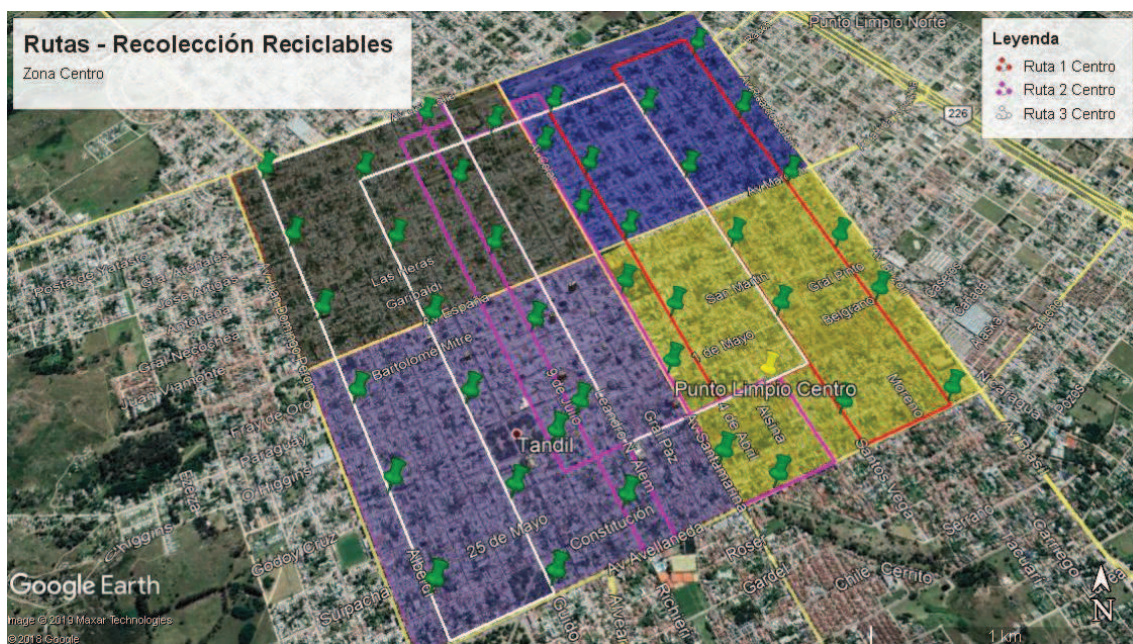


Figura 5.13: Disposición de contenedores (puntos color verde) y rutas de recolección de Reciclables para Zona Centro. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

En las zonas aledañas, la disposición de los contenedores se estableció en base a los sentidos de cada calle ya la concentración de viviendas por manzana, siempre evaluando evitar la obstrucción de entradas a viviendas o comercios.

En la Zona Norte (Radio Urbano Norte, Zona Norte, Palermo-Selvetti, San Cayetano-V. Leonor, Country Sierras de Tandil, Golf y El Paraíso) se dispusieron 42 contenedores divididos en 3 rutas, las cuales serán manejadas por el Punto Limpio Norte. Pueden observarse en la Figura 5.14:



Figura 5.14: Disposición de contenedores (puntos color verde) y rutas de recolección del Punto Limpio Norte. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

En la Zona Oeste (Villa Italia, Metalúrgico-L. de la Torre, Arcoiris-S. Juan-Procrear, Maggiori, La Movediza y Cerro Leones) se dispusieron también 42 contenedores divididos en 3 rutas, que serán manejados por el Punto Limpio Oeste.

Se observan en la Figura 5.15:



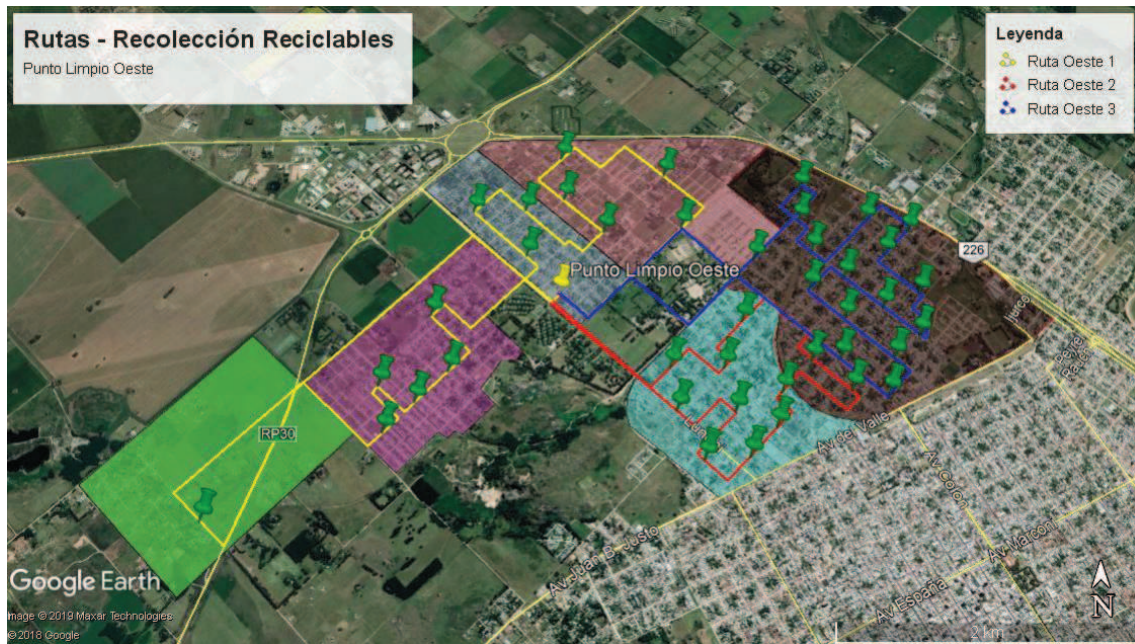


Figura 5.15: Disposición de contenedores (puntos color verde) y rutas de recolección del Punto Limpio Oeste. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

Por último, en la Zona Sur (Ma. Auxiliadora, Tunitas y Gral. Belgrano), se dispusieron 38 contenedores, divididos en 3 rutas de recolección que serán manejados por el Punto Limpio Sur (diseñado en este proyecto).

Pueden observarse en la Figura 5.16:

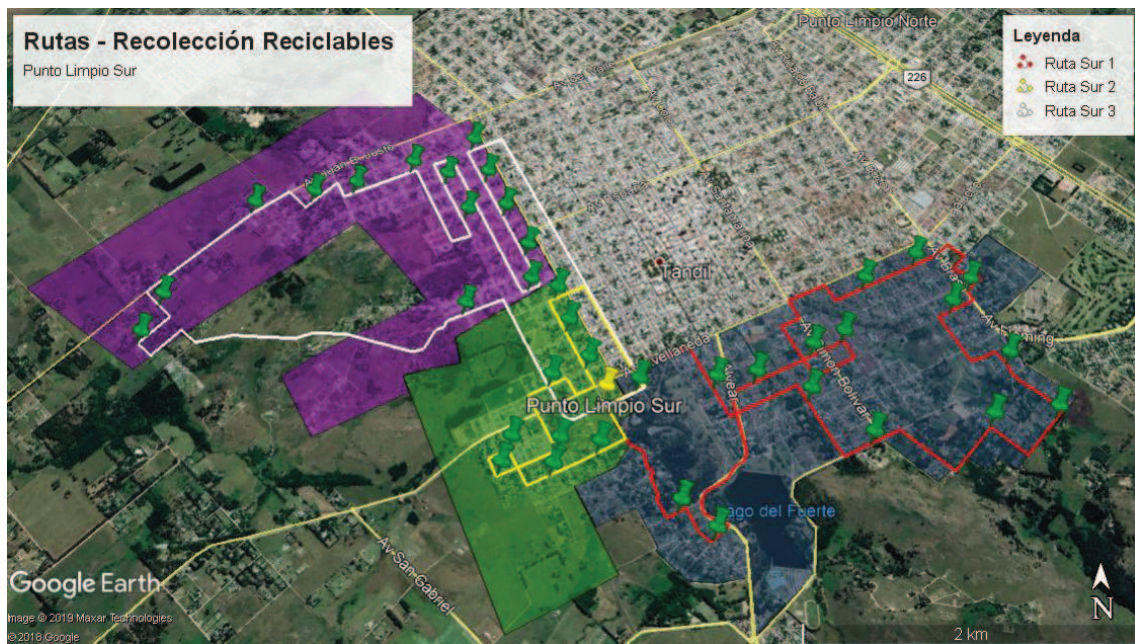


Figura 5.16: Disposición de contenedores (puntos color verde) y rutas de recolección del Punto Limpio Sur. Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.

Se calculó el tiempo demandado por cada ruta de recolección (Ver Memoria de Cálculo). En cada camión irán dos trabajadores por viaje (un chofer y un asistente), debido a que el modelo de camión escogido no precisa más de dos personas realizando la recolección. Teniendo en cuenta que el máximo de horas por día que debe trabajar un recolector de basura es de 6 horas dado que es un trabajo insalubre (Ley 20.744), los recolectores realizarán las 3 rutas de cada Punto Limpio como máximo y en ningún caso esto supera estas 6 horas diarias. En la Tabla 5.8, se observan los tiempos calculados para cada ruta de recolección:

*Tabla 5.8: Tiempos de cada Ruta de Recolección de Reciclables propuesta.*

Rutas de recolección de Reciclables		
Punto Limpio	Ruta	Tiempo Total (min)
Punto Limpio Centro	Ruta 1 Centro	83,76
	Ruta 2 Centro	87,52
	Ruta 3 Centro	85,28
Punto Limpio Norte	Ruta Norte 1	88,8
	Ruta Norte 2	74,72
	Ruta Norte 3	92,35
Punto Limpio Oeste	Ruta Oeste 1	81,85
	Ruta Oeste 2	68,6
	Ruta Oeste 3	86,4
Punto Limpio Sur	Ruta Sur 1	88,2
	Ruta Sur 2	60,48
	Ruta Sur 3	87,6

Además, se calculó el consumo de combustible de los camiones recolectores. Los datos oficiales de Iveco afirman que un camión Tector 6x2, como el propuesto para este tipo de recolección, tiene un consumo urbano durante la recolección de 4km/l. En base a la cantidad de km de las rutas se calcularon los litros a consumir por los mismos, expuestos en la Tabla 5.9:

Tabla 5.9: Consumo de Diesel Infinia por semana para la recolección de cada Punto Limpio.

Rutas de recolección								
Punto Limpio	Ruta	Distancia (km)	Consumo teórico de camiones (km/l)	Consumo de combustible (l)	Consumo por semana (l de diesel)			
Punto Limpio Centro	Ruta 1 Centro	9,9	4	2,48	25,8			
	Ruta 2 Centro	12,3		3,08				
	Ruta 3 Centro	12,2		3,05				
Punto Limpio Norte	Ruta Norte 1	13,4		4	3,35	22,83		
	Ruta Norte 2	9,36			2,34			
	Ruta Norte 3	22,9			5,73			
Punto Limpio Oeste	Ruta Oeste 1	15,9			4	3,98	18,2	
	Ruta Oeste 2	8,3				2,08		
	Ruta Oeste 3	12,2				3,05		
Punto Limpio Sur	Ruta Sur 1	13,1				4	3,28	16,55
	Ruta Sur 2	5,2					1,30	
	Ruta Sur 3	14,8					3,70	

El total de litros consumidos por semana depende de la frecuencia de recolección (dado que en la zona céntrica la frecuencia es de 3 días, y en las otras zonas la frecuencia es de 2 días).

#### 5.4.2 Recolección de Compostables y Basura

En cuanto a la recolección de las corrientes de Compostables y de Basura, como ya se ha mencionado, se respetarán las rutas de recolección actuales y para calcular los km realizados a fin de estimar el costo operativo de la recolección, se utilizará un modelo de linealización de la superficie de cada zona, explicado a continuación. También se proponen algunos cambios con respecto a la gestión actual.

El recorrido se realizará con los camiones saliendo desde el predio del área de servicios, realizando las rutas de recolección actuales, recolectando los residuos en los cestos domiciliarios y transportando los mismos hasta el predio del relleno sanitario, para luego volver al área de servicios, donde los camiones se lavan y se guardan para ser utilizados al día siguiente.





*Figura 5.17: Ubicación del Predio del Área de Servicios y del Relleno Sanitario. 6km es la distancia entre ambos.  
Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth.*

La recolección se realizará los 7 días de la semana (agregando el sábado y el domingo a la recolección actual), pero en lugar de realizar recorridos nocturnos y diurnos, únicamente habrá recorridos nocturnos, comenzando el turno a las 19 y finalizándolo a la 1am.

Los camiones a utilizar para este tipo de recolección serán modelos Usimeca Angra II, que tienen la particularidad de llevar dos compartimentos. En cada uno de estos compartimentos se cargarán los residuos de cada una de las corrientes, es decir, cuenta con un compartimento para Compostables y otro para Basura. Puede observarse esta estructura en la Figura 5.18:



Figura 5.18: Camión Usimeca Angra II, recolector de las corrientes de Compostables y Basura. Fuente: USIMECA.

Los compartimentos cuentan con las siguientes capacidades:

- Compostables:  $9,1\text{m}^3$
- Basura:  $6,1\text{m}^3$

Además, el grado de compactación con el que cuentan ambas cajas es de  $500\text{kg}/\text{m}^3$ . Por lo tanto, las capacidades en peso de cada compartimento serán:

- Compostables:  $9,1\text{m}^3 = 4550 \text{ kg}$
- Basura:  $6,1\text{m}^3 = 3050 \text{ kg}$

Estos camiones son de carga trasera y precisan de 3 trabajadores por viaje (un chofer y dos recolectores). La ventaja más grande que tienen es que no debe realizarse una recolección por cada una de las dos corrientes, sino que con el mismo viaje se recolectan ambas.

Luego de sus recorridos, estos camiones depositarán los residuos en el predio del relleno sanitario para posterior tratamiento de los mismos, y retornarán al predio del área de Servicios.

Como ya se ha mencionado, para estas corrientes se respetarán las rutas de recolección actuales. Sin embargo, es preciso realizar una estimación lo suficientemente certera de la cantidad de viajes que se realizarán, y de los km recorridos de los camiones en esos viajes para así calcular el consumo de combustible, y así un costo operativo de estas rutas. Esto se debe a que, a pesar de que las rutas se mantendrán, este proyecto propone desviar la corriente de

Reciclables a los Puntos Limpios en mayores cantidades que las actuales, lo que condicionará las rutas de Compostables y Basura disminuyendo la carga general.

Entonces, de la misma forma que se calculó la generación por zona para la recolección de reciclables, se realizó para estas dos corrientes. Tomando la densidad poblacional de cada zona y la GPP mostrada en la Tabla 5.4, se obtuvieron los resultados observados en la siguiente tabla (Tabla 5.10) sobre la generación por zona:

Tabla 5.10: Generación por zona de residuos Compostables y Basura.

Número de Identificación	Zona	Generación por zona de Compostables (t/día)	Generación por zona de Basura (t/día)
1	Zona Centro	10,3	3,4
2	Zona Centro		
3	Zona Centro	12,7	4,2
4	Zona Centro		
5	Radio Urbano Norte	5,6	1,8
6	Zona Norte	2,3	0,8
7	Palermo-Selvetti	3,1	1,0
8	Villa Italia	6,7	2,2
9	Metalúrgico-L. de la Torre	3,4	1,1
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	1,7	0,6
11	Maggiori	1,0	0,3
12	La Movediza	1,9	0,6
13	Cerro Leones	0,3	0,1
14	San Cayetano-V. Leonor	2,4	0,8
15	Ma. Auxiliadora	5,8	1,9
16	Tunitas	3,2	1,0
17	Gral Belgrano	4,9	1,6
18	Country Sierras de Tandil	0,5	0,2
19	Golf	0,5	0,2
20	El Paraíso	0,6	0,2

En base a esto se calcula la cantidad de viajes que deben realizarse por cada sector. Para esto, se divide la generación de cada corriente por la capacidad del compartimento destinado a cada una de ellas del camión recolector. Así, se observa cuál de las dos es la corriente limitante en cada sector: la que mayor cantidad de viajes requiera para recolectar lo generado, será la limitante. Esto se ve en la Tabla 5.11:

Tabla 5.11: Evaluación de la corriente limitante en cantidad de viajes para recolectar lo generado de cada una.

Número de Identificación	Zona	Generación por zona de Compostables (t/día)	Generación por zona de Basura (t/día)	Capacidad de Compostables (t/viaje)	Capacidad de basura (t/viaje)	Viajes/día Compostables	Viajes/día Basura
1	Zona Centro			4,55	3,05		
2	Zona Centro	10,33	3,39			2,27	1,11
3	Zona Centro						
4	Zona Centro	12,68	4,16			2,79	1,36
5	Radio Urbano Norte	5,63	1,85			1,24	0,61
6	Zona Norte	2,32	0,76			0,51	0,25
7	Palermo-Selvetti	3,08	1,01			0,68	0,33
8	Villa Italia	6,67	2,19			1,46	0,72
9	Metalúrgico-L. de la Torre	3,41	1,12			0,75	0,37
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	1,69	0,55			0,37	0,18
11	Maggiori	1,04	0,34			0,23	0,11
12	La Movediza	1,91	0,63			0,42	0,21
13	Cerro Leones	0,27	0,09			0,06	0,03
14	San Cayetano-V. Leonor	2,36	0,77			0,52	0,25
15	Ma. Auxiliadora	5,81	1,90			1,28	0,62
16	Tunitas	3,16	1,04			0,70	0,34
17	Gral Belgrano	4,90	1,61			1,08	0,53
18	Country Sierras de Tandil	0,50	0,16			0,11	0,05
19	Golf	0,54	0,18			0,12	0,06
20	El Paraíso	0,61	0,20			0,13	0,07

Como se observa, en todos los casos la corriente limitante es la corriente de Compostables. Es decir, es la corriente que necesita mayor cantidad de viajes en cada zona para recolectar todo lo generado en la misma. Además, se observa que el total de viajes necesario es 15 (la sumatoria de todos los viajes necesarios para recolectar Compostables) para la recolección total de todas las zonas analizadas. El procesamiento de datos y los cálculos siguientes se realizan únicamente observando la corriente de Compostables, dado que es la corriente limitante, y entendiendo que la eficiencia en la recolección de Basura tendrá un factor de capacidad menor. Sin embargo, hasta lograr un cambio cultural sólido en la sociedad, lo que suele ocurrir es que los ciudadanos continúan desechando los residuos Compostables, e incluso Reciclables, dentro de las bolsas de la corriente Basura, es por ello que este sobredimensionamiento para Basura es útil principalmente para los primeros tiempos del proyecto.

Entonces, lo que se realiza para estimar los costos, es una subdivisión de las áreas en dos grandes grupos: áreas urbanas y áreas periurbanas. Para esta división se toma como límite 2000hab/km<sup>2</sup>, donde las áreas con una densidad poblacional mayor al límite serán denominadas urbanas, y las áreas con menor densidad poblacional serán periurbanas.

Entonces, las áreas quedan subdivididas en los siguientes grupos:

Áreas urbanas:

*Tabla 5.12: Áreas urbanas y su densidad poblacional.*

Número de Identificación	Zona	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )
1	Zona Centro	6070
2	Zona Centro	
3	Zona Centro	6170
4	Zona Centro	
5	Radio Urbano Norte	4380
8	Villa Italia	3400
9	Metalúrgico-L. de la Torre	3890
12	La Movediza	2010
15	Ma. Auxiliadora	2090
16	Tunitas	2380
18	Country Sierras de Tandil	2260

Áreas periurbanas:



Tabla 5.13: Áreas periurbanas y su densidad poblacional

Número de Identificación	Zona	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )
6	Zona Norte	1960
7	Palermo-Selvetti	780
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	1410
11	Maggiori	1730
13	Cerro Leones	250
14	San Cayetano-V. Leonor	1050
17	Gral Belgrano	1620
19	Golf	890
20	El Paraíso	740

Con estos dos grandes grupos se planteó un modelo de linealización de la superficie que se utilizará como parámetro para cada grupo. Es decir, se busca cuántos km se recorren para cubrir la distancia de todas las calles en la superficie de cada zona. Esto permite obtener un parámetro que será km/km<sup>2</sup>, y se utilizará el mismo para cada grupo (uno para áreas urbanas y otro para áreas periurbanas), permitiendo calcular la distancia recorrida en cada zona, y lograr mediante determinados cálculos expuestos a continuación, la distancia recorrida en cada viaje de recolección.

Entonces, se trazaron rutas de 3 zonas de áreas periurbanas y 3 de áreas urbanas cubriendo la totalidad de las cuadras de cada una, y se calculó la media de ambas, con el fin de parametrizar este número y así calcular las distancias totales de las rutas en todas las zonas:

- 3 zonas urbanas aleatorias:

Tabla 5.14: km de calles por cada km<sup>2</sup> de superficie.

Número de Identificación	Zona	km <sup>2</sup>	km de ruta	km/km <sup>2</sup> real
1	Zona Centro	1,3	21,9	16,8
3	Zona Centro	1,8	29,9	16,6
16	Tunitas	2,18	21	9,6
Media				14,3

- 3 zonas periurbanas aleatorias:

Tabla 5.15: km de calles por cada km<sup>2</sup> de superficie.

Número de Identificación	Zona	km <sup>2</sup>	km de ruta	km/km <sup>2</sup> real
--------------------------	------	-----------------	------------	-------------------------



7	Palermo-Selvetti	6,1	54	8,8
14	San Cayetano-V. Leonor	3,69	43,3	11,7
20	El Paraíso	1,35	11,1	8,2
Media				9,6

La media se adoptó para todas las zonas de cada grupo, y procesando estos números junto con los datos de densidad poblacional y generación de Compostables se obtuvieron distancias estimativas de cada área. Puede observarse este procesamiento de datos en la Tabla 5.16:

Tabla 5.16: Procesamiento de datos para calcular las distancias a recorrer por camiones recolectores de Compostables y Basura en áreas urbanas (amarillo) y periurbanas (rosa).

Número de Identificación	Zona	km/km2	Densidad poblacional (hab/km2)	Cobertura (hab/km)	Generación Compostables (kg/hab.día)	Cobertura (kg/km.día)	Generación por zona (kg/zona.día)	Distancia por cada zona (km/zona)	
1	Zona Centro	14,3	6070	424,5	0,61	258,9	10300	39,8	
2	Zona Centro	14,3		424,5		258,9			
3	Zona Centro	14,3	6170	431,5		263,2	12700	48,3	
4	Zona Centro	14,3		431,5		263,2			
5	Radio Urbano Norte	14,3	4380	306,3		186,8	5600	30,0	
8	Villa Italia	14,3	3400	237,8		145,0	6700	46,2	
9	Metalúrgico-L. de la Torre	14,3	3890	272,0		165,9	3400	20,5	
12	La Movediza	14,3	2010	140,6		85,7	1900	22,2	
15	Ma. Auxiliadora	14,3	2090	146,2		89,2	5800	65,1	
16	Tunitas	14,3	2380	166,4		101,5	3200	31,5	
18	Country Sierras de Tandil	14,3	2260	158,0		96,4	500	5,2	
6	Zona Norte	9,6	1960	204,2		0,61	124,5	2300	18,5
7	Palermo-Selvetti	9,6	780	81,3			49,6	3100	62,5
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	9,6	1410	146,9			89,6	1700	19,0
11	Maggiori	9,6	1730	180,2			109,9	1000	9,1
13	Cerro Leones	9,6	250	26,0			15,9	300	18,9
14	San Cayetano-V. Leonor	9,6	1050	109,4			66,7	2400	36,0
17	Gral Belgrano	9,6	1620	168,8			102,9	4900	47,6
19	Golf	9,6	890	92,7	56,6		500	8,8	
20	El Paraíso	9,6	740	77,1	47,0		600	12,8	

Lo necesario para completar este modelo, es, en base a la cantidad de viajes de cada zona, calcular las distancias desde el Predio del área de Servicios, base de los camiones recolectores, hasta el ingreso a cada zona, y la distancia hasta el relleno sanitario que debe realizar el camión una vez que finalizó cada ruta. De esta forma, se sumarán estas distancias a las distancias de cobertura de cada zona y dará el resultado final de km recorridos.

Primero, la cantidad de viajes totales en el caso de una eficiencia del 100% sería 15. Sin embargo, se tomará como factor de capacidad 0,8, por posibles fluctuaciones de generación y un futuro crecimiento demográfico, dando un total de 18 viajes, teniendo en cuenta que los camiones cargan hasta un 80%.

El Factor de capacidad de recolección es un indicador que se describe como el cociente entre la carga real de un camión por viaje sobre la capacidad total de ese mismo camión para recolectar en un viaje. Puede verse en la **Ecuación 2**:

*Ecuación 2*

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{Carga real por viaje}}{\text{Capacidad total por viaje}}$$

De esta forma el total de viajes para todas las zonas será 18. Este número se desglosa por cada zona en la Tabla 5.17.

Luego, para obtener la distancia final recorrida se trazan en Google Earth las distancias recorridas desde el área de Servicios hasta el ingreso a cada zona y desde ese punto hasta el relleno sanitario. Estas dos distancias se suman y el resultado se multiplica por la cantidad de viajes que requiere esa zona. Y por último, se suma el resultado de esto a la distancia de cobertura de todas las calles de esa determinada zona, dando como resultado una distancia final por día en cada zona. Todo esto puede observarse en la Tabla 5.17:

Tabla 5.17: Distancias diagramadas para las rutas de recolección de Compostables y Basura.

Número de Identificación	Zona	Distancia de cobertura por cada zona (km/zona)	Distancia desde Servicios (km)	Distancia hasta relleno (km)	Cantidad de viajes	Sumatoria Servicios + Relleno	Distancia final/día
1	Zona Centro	39,8	1,4	7,5	2,8	25,3	65,0
2	Zona Centro						
3	Zona Centro						
4	Zona Centro						
5	Radio Urbano Norte	48,3	2,5	10,3	3,5	44,6	92,9
8	Villa Italia	30,0	1,1	7,4	1,6	13,2	43,1
9	Metalúrgico-L. de la Torre	46,2	0	5,2	1,8	9,5	55,7
12	La Movediza	20,5	1,9	5,5	0,9	6,9	27,4
15	Ma. Auxiliadora	22,2	4,5	3,7	0,5	4,3	26,5
16	Tunitas	65,1	4,5	9,9	1,6	23,0	88,1
18	Country Sierras de Tandil	31,5	5,8	8,4	0,9	12,4	43,9
6	Zona Norte	5,2	6	12,2	0,1	2,5	7,7
7	Palermo-Selvetti	18,5	0,41	6,42	0,6	4,4	22,8
10	Arcoiris-S. Juan-Procrear	62,5	2,5	8,28	0,9	9,2	71,7
11	Maggiori	19,0	1,8	2,8	0,5	2,1	21,1
13	Cerro Leones	9,1	3,5	2,6	0,3	1,8	10,9
14	San Cayetano-V. Leonor	18,9	7,14	5,1	0,1	0,9	19,8
17	Gral Belgrano	36,0	0,7	5,4	0,7	4,0	39,9
19	Golf	47,6	4,4	10,5	1,4	20,1	67,7
20	El Paraíso	8,8	4,9	11	0,2	2,4	11,2
Total							731,3

Con los kilómetros estimados, se busca calcular el costo operativo de esas rutas de recolección. El consumo de combustible se calculó en base al consumo teórico de este tipo de camiones (5km/l) y acorde a los 7 días de recolección diagramados. Puede observarse en la Tabla 5.18:

*Tabla 5.18: Consumo de combustible estimado para rutas de recolección de Compostables y Basura.*

Consumo de combustible Compostables y Basura				
Rutas	Distancia total (km/día)	Distancia total (km/semana)	Consumo teórico camión (km/l)	Litros de Diesel consumido semanal (l)
Rutas totales	731,3	5119	5	1024

## 5.5 Diseño de Plantas de clasificación de Reciclables en los Puntos Limpios

Una vez que los Residuos Reciclables son recolectados por los contenedores campana realizando las rutas diseñadas, cada camión descargará los mismos en cada Punto Limpio asignado y allí se realizarán trabajos de clasificación para generar fardos o llenar bolsones con materiales homogéneos, que las cooperativas mencionadas en la sección de Diagnóstico podrán recolectar para comercializar.

Para la separación de los materiales se propone el diseño de una planta de clasificación semi-mecanizada por cada Punto Limpio. Los cuatro Puntos Limpios, como ya fue mencionado previamente, tendrán una recolección independiente entre sí, y de esta misma forma, la clasificación será independiente, ocupándose de los barrios asignados a cada uno y buscando un mejor manejo que en una sola planta centralizada.

Es necesario realizar una diferenciación importante para el diseño de las plantas. Estas deberán diseñarse en base a la proyección demográfica con un diseño a 20 años (hasta 2039), por lo que deberán sobredimensionarse con respecto a la generación de residuos actuales. Sin embargo, debe diferenciarse la planta del Punto Limpio Centro, con respecto a las tres restantes, debido a que se prevé que el crecimiento demográfico de la ciudad se dará extendiendo el ejido urbano a nuevas zonas que actualmente no se encuentran urbanizadas, pero no se incrementará proporcionalmente la población en la zona céntrica. Esta suposición se basa en la tendencia del crecimiento demográfico de la ciudad en los últimos 30 años.

Por este motivo, se dimensionará para la planta de clasificación del Punto Limpio Centro, una planta con capacidad para recibir el tonelaje máximo correspondiente a la generación de la población actual, adicionando un 10% por un posible incremento.

Para los otros Puntos Limpios, se calculó la proporción de la población a la que abastece cada uno actualmente (año 2019), y en base a la proyección demográfica por tasa decreciente para el año 2039, se distribuyó este crecimiento a sus respectivas proporciones (Tabla 5.19). No se realizó una proyección de crecimiento hacia el Este de la ciudad debido al impedimento geográfico de las sierras.

*Tabla 5.19: Distribución poblacional por Punto Limpio para el año 2019.*

Punto Limpio	Población actual distribuida por PL (2019)	Distribución porcentual
Punto Limpio Centro	37726	34,4
Punto Limpio Oeste	24543	22,4
Punto Limpio Norte	24635	22,5
Punto Limpio Sur	22746	20,7

Esta población corresponde a los habitantes de la Ciudad de Tandil y las zonas aledañas, excluyendo los poblados cercanos y asentamientos rurales. El total de la población en la ciudad y sus alrededores es de 109.665 habitantes, y esto será tenido en cuenta para la proyección de la población en estas zonas, en lugar de tomar el total proyectado de todo el municipio.

La proyección demográfica para el año 2039 sobre las zonas urbanas y alrededores es de 135.943 habitantes, calculado por el método de tasa decreciente. La diferencia con la población actual se distribuirá proporcionalmente a los tres PL de las zonas Norte, Oeste y Sur, excluyendo la zona céntrica.

Entonces, las proyecciones para el año 2039 quedan expuestas en la Tabla 5.20:

*Tabla 5.20: Proyección demográfica a 2039 por zonas asignadas a cada Punto Limpio.*

Punto Limpio	Población distribuida por PL (2039)	Distribución porcentual
Punto Limpio Centro	37726	27,8
Punto Limpio Oeste	33515	24,7
Punto Limpio Norte	33641	24,7
Punto Limpio Sur	31061	22,8



Para proyectar la generación se asume que la tasa GPP se mantiene en 1,1kg/día.persona, y las corrientes se mantienen proporcionalmente, es decir, Reciclables tiene una tasa de generación de 0,29kg/día.persona.

Por lo tanto, la generación por zonas a cargo de los Puntos Limpios tendrá la siguiente distribución:

*Tabla 5.21: Generación de Reciclables en las zonas asignadas a cada Punto Limpio (2039)*

Punto Limpio	Generación por zona (t/día)
Punto Limpio Centro	10,9
Punto Limpio Oeste	9,7
Punto Limpio Norte	9,8
Punto Limpio Sur	9,0

Los procesos y actividades principales a desarrollarse en la planta se enumeran a continuación:

1. Control de camiones: Se pesarán los camiones al ingreso y al egreso de la planta en una báscula camionera, y se emitirán los remitos correspondientes para entregar al chofer.
2. Zona de descargas: Se descargarán los materiales en la zona de descargas. Para la dosificación en la tolva receptora se utilizará un autoelevador con pala cargadora.
3. Alimentación de la línea de clasificación: el autoelevador dosificará materiales en la tolva receptora, desde donde la cinta de alimentación elevará los materiales, iniciando el proceso de clasificación.
4. Apertura de bolsas: un equipo electromecánico desgarrará las bolsas permitiendo la posterior clasificación de los materiales contenidos en ellas.
5. Cinta de clasificación: los operarios clasifican los materiales que circulan por la cinta transportadora de clasificación, y separan los materiales en los distintos contenedores ubicados alrededor de la misma.
6. Gestión de rechazos: los materiales contaminantes, impropios o inadecuados para su reciclaje o aprovechamiento, luego de la clasificación son volcados en un contenedor de acopio temporal, hasta ser transportados por un camión recolector hasta el relleno sanitario, para su disposición final.
7. Enfardado y almacenamiento de materiales clasificados: los materiales son compactados y enfardados o almacenados en bolsones o a granel. Se utilizan prensas hidráulicas enfardadoras y el autoelevador para el movimiento de los mismos.
8. Reciclado y comercialización de los materiales clasificados: los distintos materiales serán gestionados por las cooperativas que los trabajan actualmente, siendo estas encargadas

de la recolección de los fardos o bolsones, que serán acopiados en la zona de acopio hasta su retiro.

### 5.5.1 Planta de clasificación del Punto Limpio Centro

Como ya fue mencionado, la planta de clasificación de Residuos Reciclables emplazada en el Punto Limpio Centro será diseñada con las cantidades actuales de generación de Reciclables, adicionando un 10% a la capacidad nominal.

Este Punto Limpio posee una recolección de tres días por semana: Lunes, Miércoles y Viernes, y la planta trabajará 6 días por semana (de lunes a sábado). Entonces, se calculó el máximo de recolección en un día y se dimensiona la planta acorde a este número, demostrado en la Tabla 5.22. Como puede verse, el día de mayor tonelaje recibido en el PL es el día lunes (36t), dado que se recolecta lo generado los días viernes, sábado y domingo.

*Tabla 5.22: Toneladas recibidas luego de la recolección y toneladas clasificadas en los días de trabajo de la planta, en el Punto Limpio Centro.*

Punto Limpio Centro								
	Habitantes	Generación (t/sem)	lunes (t/día)	martes (t/día)	miércoles (t/día)	jueves (t/día)	viernes (t/día)	sábado (t/día)
Recolección	41499	83,9	36	x	24	x	24	x
Clasificación			18	18	12	12	12	12

La clasificación se realizará de forma tal que al comenzar los días de recolección la planta esté vacía y lista para comenzar a clasificar lo recolectado durante ese día. De esta forma, se dimensiona una planta capaz de tratar hasta 18 toneladas en una jornada.

En una jornada de 6 horas de trabajo, para lograr un procesamiento de 18 toneladas, se propone una planta capaz de procesar 3t/hora.

Para comenzar, al ingresar el camión en la zona de descarga, se pesará en una báscula camionera y luego de la descarga se pesará nuevamente. Esto permitirá realizar un seguimiento del flujo de los materiales y maximizar la eficiencia de la planta.

Una vez realizado el pesaje, el camión descargará los residuos en la zona de descargas de 40m<sup>2</sup>, que luego un autoelevador transportará a una tolva receptora a nivel del suelo de 5m<sup>3</sup>, con una

cinta de alimentación inclinada de 6m de largo y 0,7m de ancho (0,85m incluyendo los perfiles), cuya marca y modelo son: *Residuos Di-3R Modelo Di3r.c*. La cinta recogerá lo descargado en la tolva para ser clasificado y la descarga de la cinta será a 3m de altura.

Luego se colocará un abridor de bolsas *Modelo Di3r.ab08*, con capacidad productiva de 3t/hora (observar Figura 5.19), con un rotor de corte de 18 r.p.m. que permite mínima generación de ruidos y particulados volátiles y además, posee accionamiento sin contacto con operarios. Aproximadamente automatiza el trabajo de dos operarios.



Figura 5.19: Abridor de bolsas Modelo Di3r.ab08. Fuente: Residuos Di 3R

Si bien en el programa desarrollado no se exige que los residuos reciclables se coloquen en los contenedores campana en bolsas (pueden disponerse en los mismos por separado), se contempla que muchos de los residuos se dispondrán en bolsas y es por este motivo que se coloca el abridor de bolsas en busca de mayor eficiencia en el proceso.

Luego se colocará una cinta de clasificación *Modelo Di3r.cc* también de la marca Di-3r, que tendrá un largo de 8m, un ancho total de 0,85m y 8 contenedores ubicados a los costados de la cinta, en los que se utilizarán para clasificar por residuos, por 6 operarios trabajando simultáneamente en la línea (Ver Figura 5.20). El orden de clasificación de los residuos será el siguiente:

1. Plásticos PET (con tapas de PP)
2. Telgopor
3. Otros plásticos
4. Papel y cartón
5. Tetrabriks
6. Vidrio
7. Pilas

## 8. Metales



Figura 5.20: Ejemplo de cinta de clasificación y contenedores de clasificación. Fuente: Residuos Di 3R.

Al final de la cinta se encontrará un contenedor de 5m<sup>3</sup> donde caerán luego de la clasificación los residuos que hayan sido clasificados erróneamente en la separación domiciliaria. Aquí se acopiarán estos residuos hasta que un servicio de transporte diferencial los recolectará por todos los Puntos Limpios y transportará esta carga hasta el relleno sanitario.

Los residuos plásticos, celulósicos y metálicos se compactarán en tres prensas hidráulicas *Modelo Di3r.com.m.*, que generan fardos de alta densidad con zunchado fácil y que se pueden manipular manualmente. Medidas: Ancho: 0,6m; Largo: 2,7m; Alto 1,2m. Estos fardos se acopiarán por fuera de la planta, dentro del predio del Punto Limpio en la zona de carga, donde los camiones de las cooperativas podrán retirarlos.

El esquema general de la planta se presenta en la Figura 5.21, expuesta a continuación:

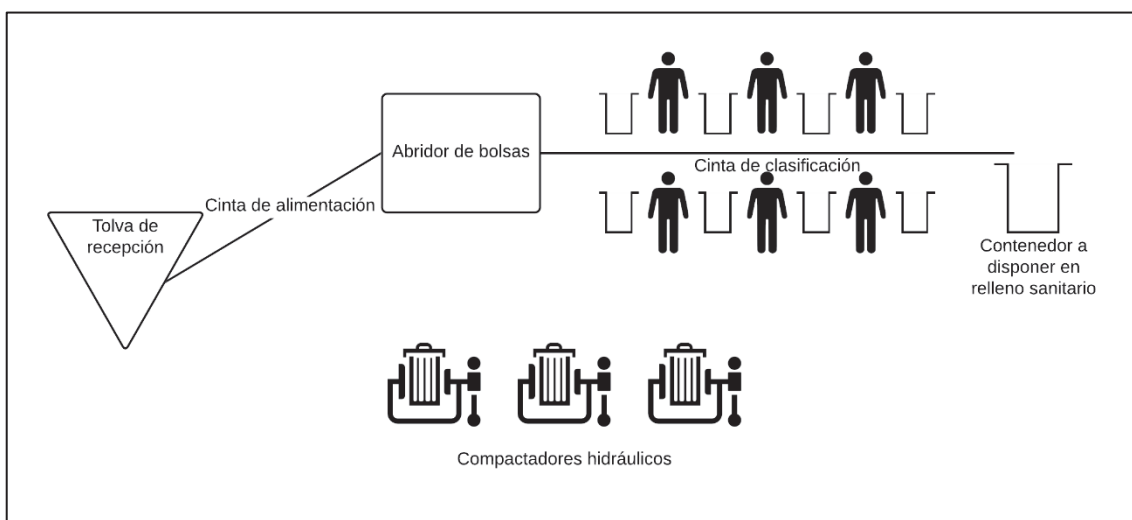


Figura 5.21: Diagrama general Planta de clasificación Punto Limpio Centro. Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.2 Planta de clasificación de Puntos Limpios Norte, Sur y Oeste.

A diferencia del Punto Limpio Centro, el cual trata los residuos de zonas que no proyectan un crecimiento demográfico significativo a 20 años, el diseño de las plantas de clasificación ubicadas en los Puntos Limpios Norte, Sur y Oeste se diseñan con una carga de residuos basada en la proyección demográfica de las zonas de las que se encarga cada uno.

Tomando los datos de la Tabla 5.21, se observa que la generación de las zonas asociadas al PL Norte proyectadas para el año 2039 es de 9,8t/día, al PL Sur es de 9t/día y al PL Oeste es de 9,7t/día.

Se recuerda que estos Puntos Limpios realizan una recolección de los residuos de los contenedores campana con una frecuencia de dos días a la semana que son los Lunes y los Jueves por la mañana.

Teniendo en cuenta estas similitudes entre sí (carga y frecuencia de recolección), se diseñará una sola planta con el escenario del Punto Limpio Norte que es el que proyecta mayor carga, y este diseño se replicará para las plantas que se ubicarán en los Puntos Limpios Sur y Oeste.

Con los mismos principios con los que se analizó la información para el diseño de la planta del Punto Limpio Centro, se calculan las toneladas de residuos a clasificar en los diferentes días de la semana, teniendo en cuenta también una jornada de operación de 6 horas diarias de lunes a sábados en las plantas de clasificación.

*Tabla 5.23: Toneladas recibidas luego de la recolección y toneladas clasificadas en los días de trabajo de la planta, en el Punto Limpio Norte.*

Punto Limpio Norte								
	Habitantes	Generación (t/sem)	lunes (t/día)	martes (t/día)	miércoles (t/día)	jueves (t/día)	viernes (t/día)	sábado (t/día)
Recolección	33641	68,6	39,2	x	x	29,4	x	x
Clasificación			13,1	13,1	13,1	9,8	9,8	9,8

Como puede observarse en la Tabla 5.23, en los días de recolección planteados, el lunes es el día de mayor recolección, y distribuyendo la carga en los días de trabajo, los días de operación que tratarán el máximo de tonelaje serán lunes, martes y miércoles, clasificando 13,1 t/día. Es por ello que se diseñará una planta con una capacidad de 2,5 t/hr, dejando un margen para operar hasta 15 t/día.

La planta diseñada para este Punto Limpio tendrá características similares a la diseñada para el Punto Limpio Centro.

Esta planta contará con una báscula camionera para el pesaje al ingreso y egreso de los camiones recolectores.

La zona de descargas deberá tener una superficie de 35m<sup>2</sup>, considerando una altura máxima de acopio de 1,5m.

Luego la zona de descargas, los residuos se transportarán por medio de un autoelevador hasta una tolva receptora de 4m<sup>3</sup> a nivel del suelo, y de allí serán recogidos por una cinta de alimentación de 6m de largo y 0,7m de ancho (0,85m incluyendo los perfiles), cuya marca y modelo son: *Residuos Di-3R Modelo Di3r.c*. Esta cinta transportará los residuos a una altura de 3m.

Luego se colocará un abridor de bolsas *Modelo Di3r.ab08*, con capacidad productiva de 2,5t/hora, con un rotor de corte de 18 r.p.m. que permite mínima generación de ruidos y particulados volátiles y además, posee accionamiento sin contacto con operarios.

Luego se colocará una cinta de clasificación *Modelo Di3r.cc* también de la marca Di-3r, que tendrá un largo de 8m, un ancho total de 0,85m y 8 contenedores ubicados a los costados de la cinta, en los que se utilizarán para clasificar por residuos, por 6 operarios trabajando simultáneamente en la línea. El orden de clasificación de los residuos será el siguiente:

1. Plásticos PET (con tapas de PP)
2. Telgopor
3. Otros plásticos
4. Papel y cartón
5. Tetrabriks
6. Vidrio
7. Pilas
8. Metales

Al final de la cinta se encontrará un contenedor de 4m<sup>3</sup> donde caerán luego de la clasificación los residuos que hayan sido clasificados erróneamente en la separación domiciliaria. Aquí se acopiarán estos residuos hasta que un servicio de transporte diferencial recolectará estos residuos por todos los Puntos Limpios y transportará esta carga hasta el relleno sanitario.



Los residuos plásticos, celulósicos y metálicos se compactarán en dos tres prensas hidráulicas *Modelo Di3r.com.m.*, que generan fardos de alta densidad con zunchado fácil y que se pueden manipular manualmente. Medidas: Ancho: 0,6m; Largo: 2,7m; Alto 1,2m. Estos fardos se acopiarán por fuera de la planta, dentro del predio del Punto Limpio en la zona de carga, donde los camiones de las cooperativas podrán retirarlos.

### 5.5.3 Reciclaje, comercialización y logística post-tratamiento

Los resultados de la planta de clasificación serán los siguientes:

- Fardos de Plásticos de PET
- Bolsones de Telgopor
- Fardos de otros plásticos
- Fardos de papel y cartón
- Bolsones de Tetrabriks
- Vidrio a granel en contenedor metálico
- Pilas a granel en contenedor plástico
- Fardos de diferentes tipos de metales

Y además, se contará con materiales que no ingresarán a la línea de clasificación ya que deberán ser llevados personalmente por los vecinos hasta los Puntos Limpios como lo son:

- Residuos voluminosos
- Aceite Vegetal Usado (AVU)
- RAEEs

La gestión de los diferentes tipos de residuos posterior a la planta de clasificación la realizarán las entidades y cooperativas que actualmente tienen a cargo esta gestión.

Los fardos de PET y los fardos de otros plásticos serán gestionados por la Asociación Taller protegido, quien deberá abonar una cuota mensual para el municipio por el retiro, sin importar las cantidades a retirar.

Los fardos de papel y cartón serán gestionados por la Asociación CIANE, quien de la misma forma abonará una cuota mensual por la gestión de este tipo de residuos.

El Telgopor será gestionado por la Asociación Civil Punto Verde, quien deberá abastecer a los Puntos Limpios con bolsones del tipo big bag vacíos, y su retiro será gratuito, dado que no se enfardará en la planta clasificadora.

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, que se transportarán hasta los PL por los vecinos personalmente, tendrán destinos distintos dependiendo de sus características. Las computadoras y sus componentes que se encuentren en buen estado serán donadas en un 50% al programa SECYC, de la Secretaría de Desarrollo Social, para ser reacondicionados por mujeres en vulnerabilidad y el colectivo trans; y el 50% restante se donará a la Fundación Equidad, que realiza el mismo trabajo de reacondicionamiento para la reutilización de las mismas. Cuando las computadoras no se encuentren en un estado en el que sea factible reacondicionarlas para su reutilización, se donarán al Centro de pre tratamiento y recuperación de aparatos eléctricos y electrónicos (CEPRAEE), donde se extraerán los módulos útiles para darles diferentes funciones y los módulos y partes que no será posible reciclar serán transportados a disposición de residuos especiales. Otros tipos de RAEEs (ventiladores, microondas, TVs, DVDs y otros), serán transportados a la Universidad Nacional del Centro, donde se fabricarán elementos de utilidad (como cestos de residuos para la universidad) en base a los componentes de los mismos.

El vidrio será retirado por la Asociación Civil Punto Verde, la cual abonará una cuota mensual al Municipio por el retiro de este material, que luego comercializará a una empresa de reciclado ubicada en Berazategui.

Los fardos de metales serán donados a la Cooperativa de Recuperadores Urbanos, quienes los comercializan.

Los bolsones de tetrabriks serán transportados a una papelera ubicada en Quequén, cobrando el Municipio por kg descargado en la misma.

El AVU será donado al Taller Protegido, quien recibe un beneficio económico por cada litro de aceite vegetal usado recolectado a través del Plan Bio (de la OPDS).

Las pilas serán gestionadas por el Programa Apila Pilas del Municipio, que al recolectar 6 toneladas se transportan hacia un relleno de seguridad.

Por último, los residuos voluminosos tendrán un tratamiento diferenciado, dependiendo del residuo. Los que se encuentren en buen estado serán ofrecidos a los vecinos en los Puntos Limpios y por medio de la WEB del municipio, y se donarán a aquellos que estén interesados en llevárselos. Pasados tres meses sin que ningún ciudadano realice la petición para llevárselo, se evaluará el residuo para ser dispuesto en el relleno sanitario.

Los rechazos de la clasificación, como ya fue mencionado, serán acopiados en un contenedor metálico con ruedas de 3m<sup>3</sup>, que al llenarse se reemplazará por uno igual vacío, y será trasladado hacia la zona de carga, donde un camión recolector cargará con el brazo mecanizado, y esta carga será transportada hacia el relleno sanitario para su disposición final.

## 5.6 Gestión de restos de poda

Los restos de poda actualmente son un componente importante dentro de los residuos que se disponen en el relleno sanitario, principalmente por su tamaño y dificultad de manipuleo. En este proyecto se propone una planta de compostaje municipal, como ya se ha mencionado. Esto desviará los residuos de poda evitando disponerlos en el relleno sanitario y mejorará la calidad del compost generado en base a los residuos separados domésticamente, dado que los restos de poda minimizan la proporción de elementos no deseados en el compost.

La gestión se dividirá en restos de poda públicos y privados, con diferenciación para pequeños y grandes.

### 5.6.1 Restos de poda públicos

Dentro de los restos de poda se incluyen tanto las podas de los árboles en territorios municipales, como los restos de césped generado por el mantenimiento de espacios verdes, así como las hojas provenientes de los árboles con follaje caducifolio. Tomando esta forma de clasificación, las podas municipales (restos grandes de poda) y la caída de las hojas se intensifica principalmente en la época de finalización del otoño y durante el invierno. A su vez, el césped generado por el mantenimiento de los espacios verdes se incrementa principalmente de Septiembre a Abril.

Los residuos pequeños (hojas y césped), generados principalmente en espacios verdes como parques y plazas, se dispondrán en bolsas biodegradables iguales a las entregadas a los domicilios para la corriente "Compostables", y se ubicarán en una esquina de cada área verde de fácil acceso para el camión recolector. Cuando la generación de estos residuos sea fuera de las zonas urbanas, podrán disponerse a granel en pilas, siempre facilitando el acceso al camión

recolector. Dos veces por semana, y de ser necesario tres, un camión destinado a la recolección de restos de poda, recolectará estas bolsas y las destinará al predio del relleno sanitario donde se encontrará la planta de compost. En caso de preverse lluvias, el camión siempre deberá anticiparse acorde al pronóstico para evitar la putrefacción de las pilas y atascos en los desagües.

En el caso de restos de poda grandes, la tarea se realizará en presencia de un camión con caja volcadora de 10m<sup>3</sup> (ver Figura 5.22).



*Figura 5.22: Camión con caja volcadora para la recolección de residuos de poda.*

Los restos de poda grandes serán cargados en la caja del camión durante el trabajo de poda y no tendrán una frecuencia de recolección semanal, sino que se realizarán ad-hoc en comunicación con el Área de Espacios Verdes del Municipio, quienes deberán comunicar el trabajo a realizarse con dos días de anticipación. Dependiendo de las magnitudes y el peso a cargar, podrá realizarse la carga manualmente o a través de una pala cargadora. Cada camión contará con un chofer y al menos un operario, aunque dependiendo del trabajo puede sumarse hasta un operario más.

### 5.6.2 Restos de poda privados

Estos residuos incluyen poda de árboles y plantas, residuos de corte de césped y hojas recolectadas de los árboles caducifolios, siempre realizados en dentro de un predio privado, es

decir, cualquier territorio excluyendo calles, veredas, espacios verdes y otros territorios municipales.

La gestión de estos dependerá de la cantidad y volumen de generación. En el caso de que la generación sea en cantidades que puedan embolsarse, podrán tener una disposición inicial junto con la corriente de Residuos Compostables (ver sección 5.2 “Separación en origen”), y serán recolectados por los camiones recolectores normalmente, para luego ser transportados al predio del relleno sanitario y tratarse en la planta de compost.

En el caso de que se generen grandes cantidades ya sea de residuos pequeños como césped u hojas, tanto como grandes ramas provenientes de podas, los vecinos deberán contactarse con el área de servicios del municipio y solicitar un retiro de estos residuos indicando cantidades estimadas generadas y una propuesta del momento para recolectarlos. El municipio podrá posponer hasta 3 días hábiles la recolección de los restos de poda privados en busca de una mayor eficiencia y disminuyendo el costo de combustible, unificando el viaje con el de otros vecinos cercanos que soliciten un retiro de restos de poda. Para la recolección, se utilizará un camión de caja volcadora destinado a restos de poda como el de la Figura 5.22, con una caja de 10m<sup>3</sup>.

Tanto los restos de poda privados como públicos se transportarán hasta el predio del relleno sanitario. Allí se encontrará la planta de compost, donde se tratarán estos residuos junto con los de la corriente Compostables.

Los restos de poda pequeños (hojas, plantas y césped) se descargarán en la zona de descarga junto con la corriente Compostables, mientras que las ramas se descargarán en una zona de descarga especial para ser trituradas en la chipeadora y luego unirse al resto de los residuos que serán tratados en la planta de compost. En el caso de que una carga venga con restos grandes y pequeños de poda, se descargará en la zona de grandes restos de poda y allí se triturarán las grandes ramas y luego se recolectarán los restos pequeños manualmente o con la pala cargadora, dependiendo de las cantidades.

De esta forma, la planta de compost tendrá como materia prima la corriente de Compostables, restos de poda pequeños como hojas y césped, y chips de madera de los grandes restos de poda.



## 5.7 Compostaje

### 5.7.1 Introducción

El compostaje es un proceso de descomposición por el cual la materia orgánica se transforma en un compuesto con algunas propiedades beneficiosas llamado compost. Todos los materiales biodegradables pueden ser convertidos en compost, pero el hecho de utilizar la materia orgánica se debe a que el tiempo de descomposición y, por lo tanto, de su conversión en compost es mucho más bajo que otros componentes (papel, cartón y madera).

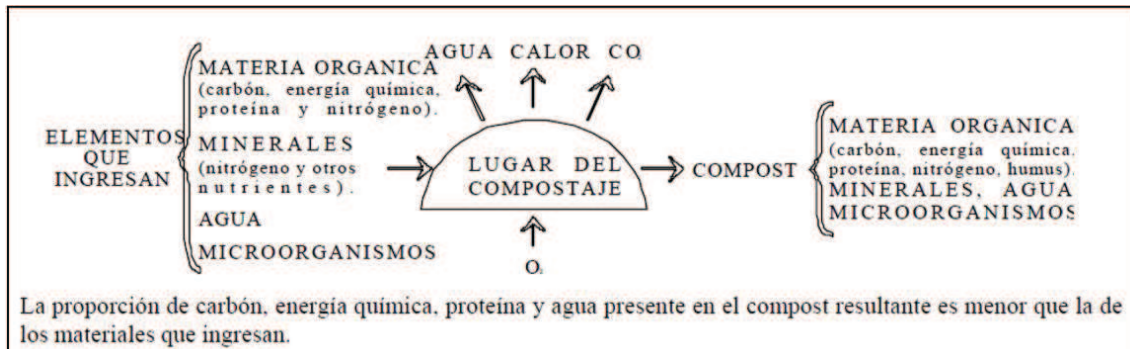
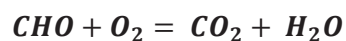


Figura 5.23: Esquema del proceso de compostaje (Fuente: Plan Nacional de valorización de residuos, 2000)

La materia orgánica está constituida mayoritariamente por los siguientes elementos químicos: C: Carbono, H: Hidrogeno y O<sub>2</sub>: Oxígeno. Los microorganismos transforman estos elementos en presencia de oxígeno en dióxido de carbono y agua:

*Ecuación 3*



**Materia orgánica + Oxígeno = Dióxido de Carbono + Agua**

Esta biodegradación es un proceso natural, de trámite lento que puede llevarse a cabo tanto en un medio natural como en una instalación artificial. En este último caso su eficiencia radica en la posibilidad de control de las condiciones ambientales durante la operación. Este control jugará un rol preponderante en acelerar el grado de descomposición y mejorar la calidad del producto final (Agüero, 2014).

El compost, como fue mencionado, es el producto de esta degradación aeróbica de residuos orgánicos. Es un material inodoro, estable y similar al humus (fracción orgánica del suelo, que es hábitat principal de la microfauna del suelo, absorbe la energía solar, retiene la humedad, mejora la estructura del suelo y disminuye su susceptibilidad a la erosión), que no representa un riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social. El compostaje requiere oxígeno y

agua en cantidad suficiente; genera calor (proceso exotérmico), dióxido de carbono y vapor de agua. Los organismos implicados en el proceso son un conjunto de bacterias, hongos y microfauna. Las cadenas alimenticias son complejas y dinámicas, y la edad del proceso influye en su composición. Al finalizar el proceso, el compost es estable y puede almacenarse largo tiempo sin perder sus propiedades. El compost es un mejorador del suelo porque favorece el desarrollo de sus funciones (Díaz, 2018):

- ✓ Favorece la aireación y la retención de humedad. Junto con las arcillas, fomenta la formación de agregados más estables. En suelos arenosos ayuda a la retención del agua.
- ✓ Mejora la estructura del suelo y previene la erosión.
- ✓ Mejora el almacenamiento de nutrientes y su disponibilidad para los vegetales.
- ✓ Provee de hábitat a diversos microorganismos: algunos procesan los residuos para convertirlos en humus, otros procesan el humus para aprovecharlo o generar alimento para otros.
- ✓ Favorece la absorción de los rayos solares, debido a su color oscuro.

El día 7 de enero del corriente año (2019), se publicó en el boletín oficial la Resolución Conjunta 1/19 entre la *Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental* y el *Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)*, en donde se legaliza la producción, el registro y la aplicación de un “compost elaborado a partir de residuos orgánicos separados en origen y recolectados de manera diferenciada”.

La medida se enmarca en la “*Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU)*” implementada en el año 2005, mediante la cual, el Estado Nacional pretende revertir las inadecuadas prácticas de manejo de los residuos sólidos urbanos. Con el nuevo marco, Argentina avanza en la elaboración de normas técnicas para el compostaje de la fracción biodegradable de los RSU.

Este es un avance importante a nivel legislativo para el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos, dado que el producto del compost podrá comercializarse y aplicarse en territorios destinados al agro, siempre y cuando cumplan con las condiciones establecidas en la resolución (ver Anexo).

### 5.7.2 Análisis de alternativas

Dependiendo de factores como el clima del lugar, la cantidad de materia orgánica a tratar, la necesidad de producción de compost, la superficie disponible para la instalación y/o la calidad del compost buscado, puede escogerse entre diferentes sistemas para la planta de compostaje. A continuación, se detallan las principales características de los sistemas para así contar con una base sobre la que poder justificar la elección (Máñez, 2018):

a) **Sistemas abiertos:** Son los más utilizados por su sencillez y menor costo. Se trata de realizar la descomposición en contacto con el aire. La forma más usual y sencilla es la distribución en pilas, produciéndose la aireación de distintas maneras. El material debe ser depositado sin ser comprimido y el factor más importante para el correcto funcionamiento del sistema es el número y tamaño de las pilas. Los diferentes tipos de sistemas abiertos atendiendo a estos factores son:

- **Pilas con volteo:** Es el sistema más sencillo y económico. Se extiende el material en pilas y se realiza un volteo cada determinado tiempo para que se produzca la oxigenación de la totalidad del material. Hay que controlar la temperatura y la humedad para realizar el volteo en el momento adecuado. Se conoce el momento en que se supera la fase termofílica cuando se produce un volteo y no hay aumento de temperatura.

Dependiendo del volumen de las pilas, el volteo se puede realizar con una simple pala cargadora o se necesitará maquinaria específica de volteo. El tamaño de las pilas es un factor determinante y existe una ecuación específica para su cálculo en diferentes situaciones.



*Figura 5.24: Pilas con volteo.*

- Pilas estáticas con ventilación forzada: En este método se instala un sistema de ventilación en el interior de las pilas, que son de mayor tamaño que en el caso anterior. Se controla la ventilación para mantener la temperatura y la humedad en los valores adecuados. Se necesita menor superficie que en el caso del volteo, aunque el costo es mayor al necesitarse la instalación de ventilación.

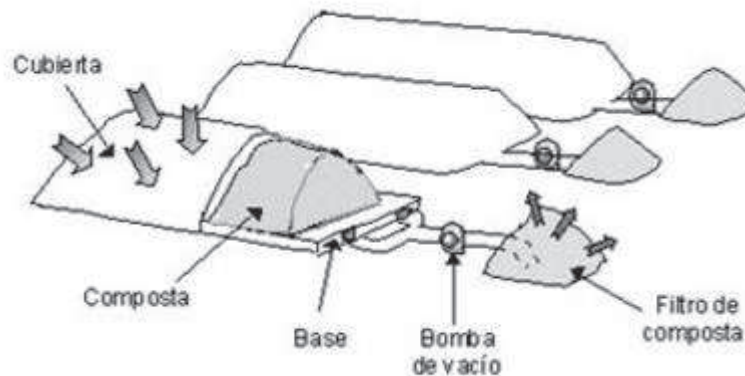


Figura 5.25: Esquema de pilas estáticas con ventilación forzada

- Pilas estáticas con aireación pasiva: Es un sistema similar al anterior, la diferencia es que la aireación en este caso se realiza de forma “natural”. Es decir, las pilas se amontonan de manera que haya una superficie importante de la pila en contacto con el aire, con espacio debajo de la pila para que se produzca una convección natural de abajo a arriba de esta. También se puede instalar un sistema de tuberías sin ventilación, para ayudar a la convección. Esta opción funciona bien en climas cálidos o templados, en climas fríos o en invierno pueden existir más problemas para obtener un comportamiento correcto.
- b) **Sistemas cerrados:** Estos sistemas permiten el control casi total de los parámetros del proceso de compostaje, produciéndose un compost de mayor calidad. Ajustando las variables se consigue acortar el tiempo dedicado a cada fase. Su principal inconveniente es el costo de la inversión en la construcción de los reactores, pero teniendo en cuenta que permiten también el tratamiento de mayor volumen de material comparándolo con los sistemas abiertos, el costo por unidad de volumen tratada no es mucho mayor que en los sistemas abiertos. Dentro de este tipo de sistemas existen el compostaje en tambores, el compostaje en contenedores y el compostaje en túneles, también denominado compostaje en búnkers (ver Figura 5.26).



*Figura 5.26: Sistema de compostaje cerrado de túneles o búnkers.*

Como se mencionó en la sección anterior, en el año 2019 se enmarcó bajo una resolución de SENASA la producción de compost comercial con fines agrícolas, en base a residuos sólidos urbanos con separación en origen y recolección diferenciada. Teniendo en cuenta la alta actividad agrícola que se desarrolla en la región (Tandil y alrededores), se busca lograr un compost de alta calidad apto agrícola, que cumpla con los requisitos establecidos en esta resolución, y que pueda comercializarse generando ingresos que minimicen el costo operativo del funcionamiento o incluso generen ganancias para el Municipio.

Además, un factor importante a tener en cuenta a la hora de elegir una alternativa es la adaptación de cada método al cambio de los materiales a compostar, dado que, por una cuestión de estacionalidad, los residuos que ingresan a la planta tienen variaciones importantes en cuanto a su composición.

Con el fin de realizar una comparación entre los sistemas cerrados y los sistemas abiertos se realiza un análisis FODA comparativo con Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de ambos tipos de sistemas:

#### **Análisis FODA de un Sistema Abierto**

##### Fortalezas

- Los sistemas abiertos generalmente tienen un bajo costo de inversión inicial.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Tiene una gran adaptabilidad al cambio de volumen.

##### Oportunidades



- El producto generado puede utilizarse para capas de separación en el relleno sanitario.

#### Debilidades

- Necesita de una gran superficie para llevarse a cabo.
- Tiene un bajo control de oxigenación que se realiza por volteo o por aireación forzada en pilas.
- El proceso se ve muy condicionado por el clima.
- No posee ningún control de gases ni olores.
- La eficiencia del tratamiento es baja.

#### Amenazas

- Los factores climáticos pueden generar serias complicaciones con la maquinaria, ya que las lluvias pueden lograr una compactación tal que puede ser perjudicial para la maquinaria de volteo.
- No tiene valor de comercialización en la zona dado que no cumple, o demora excesivo tiempo para hacerlo, los requisitos de calidad agrícola establecidos en la Res 1/19 mencionada.

### **Análisis FODA de un Reactor de Compostaje**

#### Fortalezas

- El reactor tiene un alto control de la oxigenación del sistema.
- Posee baja influencia del clima, ya que es un sistema cerrado que no es condicionado por las lluvias ni las temperaturas.
- Tiene una muy buena adaptabilidad a cambios en el material a compostar.
- Posee un control de olores de alta eficiencia, lo que beneficia a las comunidades cercanas.
- Gracias a la capacidad de control sobre variables importantes en un compost, como lo son la ventilación y la humedad, posee una gran capacidad de tratamiento, obteniendo un compost de mejor calidad que en los sistemas abiertos y en menor tiempo.

#### Oportunidades

- Al generar un compost de mayor calidad que un sistema cerrado, es más probable que cumpla con todos los requisitos establecidos en la Res 1/19 y pueda comercializarse para tratamiento de sistemas agrícolas. Esto no puede garantizarse debido a que depende de la eficiencia de separación en origen, aunque sí puede garantizarse que la calidad del compost final será ampliamente superior que la de un sistema abierto
- Hoy en día existen muy pocas plantas de compostaje de RSU compostables en sistemas cerrados en Argentina. Las empresas que fabrican este tipo de compost no tienen la capacidad como para generar grandes magnitudes del mismo, por lo tanto, existen dos limitaciones actualmente: los fabricantes de compost de calidad agrícola producen en cantidades chicas, y los generadores de compost a base de RSU (que fabrican en grandes cantidades), no producen un compost de alta calidad. Con este sistema planteado se cumpliría con ambas condiciones: un compost fabricado en grandes cantidades y con una alta calidad apto para sistemas agrícolas.
- Se reconoce como una oportunidad el hecho de minimizar las cantidades dispuestas en el relleno sanitario con el sistema de compostaje cerrado.
- Un sistema destacado como el planteado, dentro de un ecosistema de tratamiento de residuos deficiente como el del interior de Buenos Aires, puede colocar a Tandil como una ciudad diferenciada en materia de Gestión de RSU, y así catalogarse como “Ciudad Verde”, lo que posiblemente atraiga al turismo y mayores inversiones en las empresas de la ciudad.

#### Debilidades

- La inversión inicial tiene un costo elevado en comparación a cualquier sistema abierto.
- No tiene una buena adaptabilidad al volumen, aunque por ello se dimensiona con una proyección a 20 años, para evitar conflictos de esta índole.

#### Amenazas

- Argentina no tiene desarrollada la industria de compostaje en sistemas cerrados, por lo que deberá capacitarse al personal con especialistas extranjeros. Ante algún problema de funcionamiento o imprevisto, no será fácil reparar el sistema.

- La comercialización del compost de calidad agrícola dependerá de un mercado que está en expansión como lo es el de la producción orgánica. Se identifica como una amenaza el hecho de que no pueda comercializarse la totalidad del compost producido, generando un sobrestock, para el cual no está preparada la planta.

Entonces, pensando en una adaptación a la nueva normativa, con una proyección a futuro; teniendo en cuenta un factor económico a largo plazo, y analizando la capacidad de tratamiento de cada uno de los métodos, se escoge un Sistema Cerrado, con un reactor de túneles para el compostaje de los residuos orgánicos. La principal desventaja de este sistema radica en el costo de la inversión inicial, debido a que es un método costoso en comparación a los sistemas abiertos. Sin embargo, se considera un costo valedero teniendo en cuenta que el producto final tendrá un diferencial de calidad superior al de cualquier compostaje de residuos sólidos de la región, y esto generará beneficios para entrar un mercado suficiente y comercializarlo.

### 5.7.3 Etapas del proceso de compostaje

El proceso de compostaje a partir de Residuos Sólidos Urbanos se puede dividir en varias fases en base a la temperatura del proceso:

- Fase mesofílica: Se comienza con el material orgánico a temperatura ambiente, los microorganismos comienzan su actividad metabólica. Se produce CO<sub>2</sub> y un aumento de temperatura hasta alrededor de 40°C, así como un descenso del pH hasta alrededor de 4.5 ó 5 debido a la formación de ácidos orgánicos. Esta fase dura habitualmente entre 1 y 2 semanas.
- Fase termofílica: La temperatura aumenta por efecto de la fermentación hasta los 60°C ó 70°C. A estas temperaturas más altas empiezan su actividad las bacterias termófilas, que degradan los ácidos grasos y producen amoníaco produciendo una subida del pH. En esta fase se debe asegurar el aporte de oxígeno, para conseguir la eliminación de agentes patógenos.
- Fase de enfriamiento: Comienza cuando se produce un descenso de la temperatura al haberse agotado las fuentes de carbono y nitrógeno. La temperatura vuelve a los 40°C y se reduce la demanda de oxígeno.

- iv. Fase de maduración: El material debe pasar por un período de entre 3 y 9 meses a temperatura ambiente, donde el pH se estabilizará y el compost obtendrá las características físicas y químicas requeridas.

Puede verse gráficamente la secuencia de las fases en la Figura 5.27:

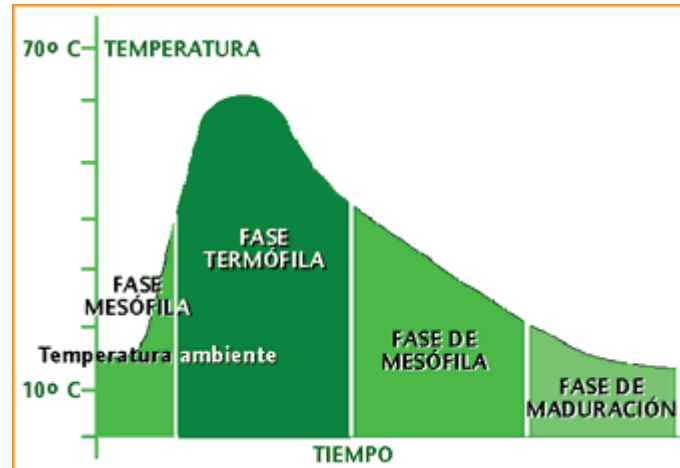


Figura 5.27: Fases del proceso de compostaje. Fuente: Google.

En el caso del diseño de un sistema de compostaje, lo anterior se puede resumir en dos fases que corresponden a dos espacios: uno para la descomposición y otro para la maduración.

En el caso de tratarse de un compost a comercializar, es común contar con una tercera fase denominada fase de afino, en donde se realiza el tratamiento final obtener un compost de alta calidad.

#### 5.7.4 Parámetros de control para el proceso de compostaje

En esta sección se detallan los principales parámetros que se deben controlar a la hora de realizar un proceso de compostaje. La efectividad del proceso se basa en mantener las condiciones adecuadas de oxigenación, temperatura, pH, humedad y la relación C/N para que los microorganismos realicen su actividad metabólica completa (Garrido Ibáñez, 2015):

- a) Oxigenación: El compostaje es un proceso aerobio, por lo tanto, necesita un aporte constante de oxígeno para permitir que las bacterias que producen la fermentación sigan cumpliendo su función. Existen diferentes formas de que se produzca la aireación del material, desde sistemas que realizan una aireación no muy controlada (pilas por volteo), hasta un control absoluto del aire que se introduce (sistemas cerrados). Un control mayor permite que el proceso se realice en un menor tiempo y se produzca un

compost de mayor calidad. La ventilación y su control afecta a los demás parámetros a controlar también (temperatura, humedad, pH), por lo tanto, es un parámetro fundamental.

- b) Humedad: El proceso de compostaje necesita de una cierta humedad en el medio para que se produzca correctamente el proceso biológico que tiene lugar en él, pero no en exceso, ya que se dificultaría este proceso. El nivel normal de humedad durante la etapa de descomposición es de entre el 40% y el 60% (% peso). Al final del proceso de maduración la humedad debe ser menor, de alrededor del 30%. Se deben tener en cuenta estas cifras aproximadas y mantenerlas dentro del rango. Este es un parámetro complejo, ya que se precisa de una oxigenación, y esto generará una caída en el porcentaje de humedad. Se debe controlar que no descienda más de lo adecuado y, en caso de que esto suceda, añadir un sistema de regado de la biomasa, que puede ser bien con agua o si es posible con lixiviados recogidos en la planta.
- c) Temperatura: Es el parámetro principal en el control del proceso. Su seguimiento permite identificar las diferentes fases del proceso. En general, una mayor temperatura en la descomposición significa un desarrollo más rápido y efectivo. En los sistemas de pilas por volteo, controlar la temperatura tras cada volteo permite identificar cuándo culmina la fase termofílica, para luego enfriar y madurar el producto.
- d) pH: Este parámetro permite evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. El valor del pH, depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso compostaje. El pH inicial se encuentra normalmente entre 5 y 7. En los primeros días, el pH disminuye a 5 o menos, debido a la presencia de ácidos orgánicos simples, y la temperatura sube debido a la producción de organismos mesófilos. Después de aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termófila y el pH comienza a ascender hasta aproximadamente a 8 a 8,5 debido a la conversión del amonio en amoníaco, alcalinizando el medio durante el resto del proceso aeróbico. En la fase de maduración, el pH llega a un valor de entre 7 a 8 en el compost (INTEC, 1999).
- e) Relación Carbono/Nitrógeno: Se trata de un parámetro que puede caracterizar el proceso de fermentación, ya que cuantifica de alguna manera la calidad del material de entrada. La relación normal de C/N se encuentra entre 25 y 35, ya que los organismos utilizan 30 partes de carbono por cada 1 de nitrógeno, y alrededor de este valor se produce un proceso normal. Si el valor se aleja de esta cifra puede causar problema de actividad biológica y de olores desagradables. Si aumenta esta relación en gran cantidad en los residuos de entrada no habrá suficiente nitrógeno para que se produzca la descomposición a una velocidad normal. Por otro lado, si la relación disminuye mucho



se producirá demasiado amoniaco, causando los posibles problemas de olores. No se trata de un parámetro controlable ya que depende del tipo de residuos que reciba la planta en cada momento.

### 5.7.5 Diseño de planta de compostaje

Como ya fue mencionado, el compostaje se realizará con la corriente de residuos Compostables, y con los restos de poda públicos y privados.

Tanto la corriente de Compostables como los restos de poda pequeños (públicos y privados), serán recolectados en bolsas biodegradables. Al ingresar al predio del relleno sanitario, tanto los camiones Angra II (de dos compartimentos), de recolección formal, como los camiones destinados a los restos de poda, se dirigirán a la zona de descarga y acopio transitorio del material.

Esta área se diseñó en base al volumen de los 104.473kg proyectados como generación diaria para 2039 de Compostables + Restos de poda. Se calcula una superficie de hasta 3 días de acopio transitorio, por cualquier inconveniente que pueda ocurrir en la planta. De esta forma, estos 313.419kg, se toman a una densidad de 400kg/m<sup>3</sup>, dando así un volumen de 784m<sup>3</sup> (**Ecuación 4**). La altura de pila de acopio se establece hasta 2m, y así se logra una superficie de 392m<sup>2</sup> (**Ecuación 5**), que se traducirán en un área de 20mx20m, en una superficie de hormigón con recolección de lixiviados, que serán transportados a la planta de lixiviados actual.

*Ecuación 4*

$$Masa (kg) \div \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) = Volumen (m^3)$$

$$313.419kg \div \frac{400kg}{m^3} \approx 784m^3$$

*Ecuación 5*

$$Volumen (m^3) \div Altura (m) = Superficie (m^2)$$

$$784m^3 \div 2m = 392m^2$$

Los restos de poda pública, principalmente los grandes, se descargarán en la zona de descarga específicamente diseñada para restos de poda, de una superficie de 200m<sup>2</sup>. Contiguamente, se

encontrará el área de chipeo, donde estará instalada una máquina chipeadora Econovo 150XP, con capacidad para triturar ramas de hasta 12 pulgadas de diámetro (ver Figura 5.28).



Figura 5.28: Chipeadora y trituradora Econovo 150XP. Fuente: Econovo.

Esta máquina se encargará de fabricar chips de madera en base a las ramas de las podas, que luego integrarán el material a compostar. El área destinada al chipeo y acopio transitorio de chips será de 100m<sup>2</sup>.

Un autoelevador con pala cargadora será la herramienta que transportará los chips desde el área de chipeo hasta la zona de ingreso al reactor de descomposición. Esta tarea se realizará ad hoc, principalmente durante las épocas de poda y por cada túnel se cargarán aproximadamente 5m<sup>3</sup> de chips, siendo el resto los residuos de la corriente Compostables y restos de poda chicos. Este se debe a que los chips de madera favorecen la aireación del compost, pero además se busca mantener un rendimiento estable en el reactor, sin generar grandes cambios en la calidad del compost final.

Entonces, desde la zona de acopio transitorio de los Compostables y restos de poda pequeños un autoelevador con pala cargadora transportará la carga, alimentando los túneles del reactor. La zona de acopio transitorio se ubicará a una distancia de 120m hasta los túneles, y la pala cargadora del autoelevador tendrá una capacidad de 4m<sup>3</sup>. La operación de carga y descarga de la pala es de 30s, y la velocidad del autoelevador por los caminos internos de la planta será de 10km/h. El volumen de la pila que ingresará a cada túnel es de 195m<sup>3</sup> (Ver Memoria de Cálculo, Apartado “Diseño de reactor de descomposición de compost). Por lo tanto, se tardará:

Ecuación 6

$$(V_{pila}(m^3)/V_{pala}(m^3)) \times (t_{carga}(s) + t_{desc}(s) + \left(\frac{dist(m)}{vel\left(\frac{m}{s}\right)}\right)) \div 3600 \frac{s}{h} = t_{(carga\ túnel)}$$

$$(195m^3/4m^3) (30s + 30s + 240m/3m/s) / 3600s/h \approx 2h$$

Entonces, la pala podría cargar un túnel y descargar otro en 4 horas, por lo que le queda tiempo suficiente para realizar otras tareas dentro de la planta.

El proceso de compostaje se dividirá en 3 etapas: un reactor de descomposición, pilas estáticas de maduración, y un afino final, con el fin de que el compost sea comercializable.

### 5.7.5.1 Reactor de descomposición

Para el proceso de descomposición, se escogió un sistema cerrado, con un reactor de túneles. El tiempo de permanencia de esta etapa es de 14 días, por lo que se diseñó un reactor de 14 túneles, cargando y descargando un túnel por día, los 7 días de la semana.

Los túneles cuentan con sistemas de ventilación, riego periódico y recolección de lixiviados, lo que permite la regulación de los parámetros principales para una alta calidad en el producto final. Puede observarse un esquema del funcionamiento de cada túnel en la Figura 5.29:

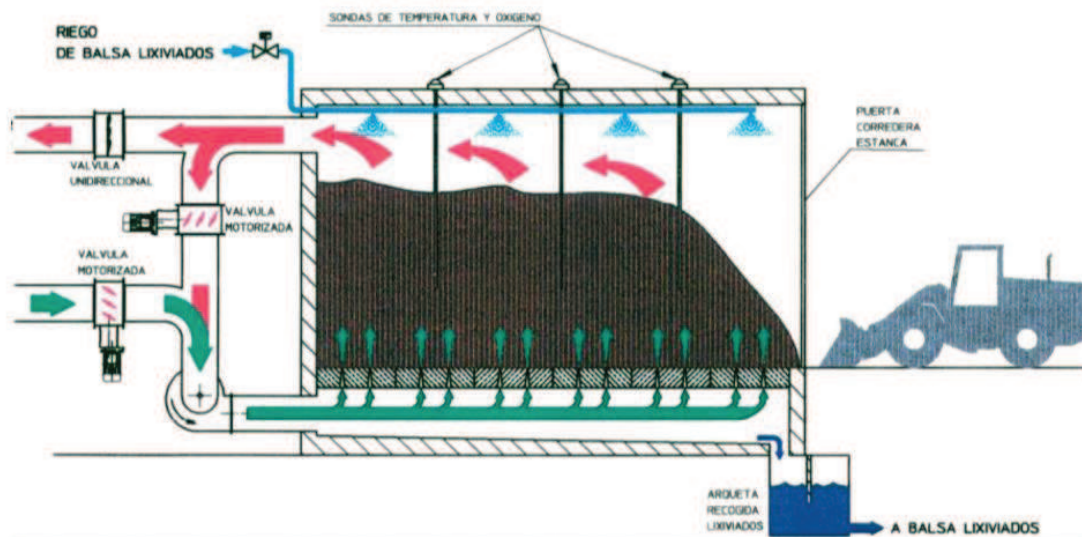


Figura 5.29: Esquema de reactor de descomposición en túneles de compostaje. Fuente: Garrido Ibáñez, 2015.

El diseño de los túneles se encuentra detallado en la sección “Memoria de cálculo”.

Se contará con 14 túneles de las mismas dimensiones entre sí, que serán las siguientes:

Tabla 5.24: Dimensiones de cada túnel del reactor de descomposición para el compostaje.

Dimensiones	Medidas de cada Túnel (m)	Medidas Pila (m)
Altura	5	3
Ancho	5	5
Largo	13	13

La **ventilación** cumple dos funciones en el túnel:

- Suministro de oxígeno a los microorganismos para mantener un proceso aerobio estable.
- Mantenimiento de la temperatura del túnel. La oxidación de la materia orgánica por los microorganismos es exotérmica, por lo que el material aumenta su temperatura pasando de una fase mesófila a una fase termófila. Para mantener una temperatura estable dentro del túnel se inyecta aire frío y seco desde la base del túnel, que al atravesar la materia orgánica se calienta y se satura de vapor de agua, para luego extraer desde la parte superior del túnel el calor y la humedad recolectados (observar Figura 5.29).

El sistema de ventilación del túnel se compone de los siguientes elementos: el ventilador, el colector de distribución, la red de tuberías bajo el suelo y las boquillas de salida.

El aire impulsado por el ventilador se distribuye uniformemente en un colector común, desde el que entra en una serie de tuberías colocada de forma longitudinal por debajo del suelo del túnel. Las tuberías están perforadas y provistas de boquillas en cada uno de los orificios generados. El aire sale por las boquillas y se distribuye uniformemente por el residuo colocado encima del suelo. Las tuberías y boquillas son de plástico (PE o PVC) por su facilidad de colocación, mantenimiento y por su resistencia a la corrosión.

El proceso de descomposición precisa de una humedad estable del producto, es por ello que debe existir un **riego periódico** que compense la humedad extraída junto con el calor en el proceso de ventilación y evaporación por el aumento de la temperatura, y la humedad perdida en la generación de lixiviados. Como ya fue mencionado, la humedad debe permanecer entre el 40% y el 60%, ya que con una humedad menor al 40%, se frena la actividad microbiana, y con una humedad superior al 60% se reduce la porosidad del material lo que puede generar una descomposición anaerobia. Para esto, cada túnel cuenta con un sistema de tuberías con boquillas de manera tal que pulvericen homogéneamente el agua en el túnel. Este riego se realizará principalmente con los lixiviados recolectados de los mismos túneles.

La base del túnel contará con una leve pendiente para la **recolección de los lixiviados** en un tanque ubicado bajo tierra a la salida de cada túnel. Este contará con un flotante que activará automáticamente una bomba cuando el nivel del tanque no sea el necesario para el riego periódico, y se compensará con agua de la red. Al extraer el compost luego de los 14 días de descomposición, el tanque con los lixiviados se vaciará, transportando los mismos por un sistema de tuberías enterradas hasta la planta de tratamiento de lixiviados que opera actualmente en el relleno sanitario.

En el proceso de descomposición se pierde alrededor de un 30% de la masa total que ingresó al túnel (Garrido Ibáñez, 2015), debido en parte a la evaporación de la humedad y en parte al proceso de degradación de la materia orgánica. Además, también se da un aumento de la densidad del compost, quedando alrededor de  $700\text{kg/m}^3$ , y todo esto disminuye el volumen de producto a la salida del reactor.

*Ecuación 7*

$$\text{Carga de túnel} \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \times \text{Masa remanente}(\%) = \text{Carga degradada} \left( \frac{t}{\text{día}} \right)$$
$$106,5t/\text{día} \times 0,7 = 74,5t/\text{día}$$

*Ecuación 8*

$$\text{Carga degradada} \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \times \rho \text{ del compost} \left( \frac{t}{\text{m}^3} \right) = \text{Carga volumétrica} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)$$
$$74,5t/\text{día} \div 0,7t/\text{m}^3 = 106,5\text{m}^3/\text{día}$$

### 5.7.5.2 Pilas de Maduración

Cuando la materia orgánica de rápida descomposición se agota, la actividad microbiana disminuye, al igual que su temperatura. Sin embargo, el compost no está maduro y es por eso que debe realizarse, dentro del proceso de compostaje, una etapa de maduración para estabilizar el material y finalizar el proceso de descomposición.

En esta etapa la temperatura debe llegar a la temperatura ambiente y el pH debe acercarse a la neutralidad (entre 7 y 8). Es en esta parte del proceso donde se terminan de degradar sustancias celulósicas y ligninas.

Entonces, al finalizar los 14 días dentro del túnel, el producto de la fase de descomposición se traslada mediante palas cargadoras desde los túneles hasta las pilas de maduración. Este territorio se ubicará a un máximo de 200m de los túneles para facilitar el transporte en la pala cargadora.

En esta etapa la temperatura no subirá como durante la etapa de descomposición, debido a que la actividad microbiana desciende significativamente. Sin embargo, debe controlarse, aunque con un control menos riguroso que en la etapa anterior. Además, la humedad en exceso puede causar problemas en la maduración del compost. Es por ello que se plantea un sistema de volteo para esta etapa, lo que permitirá controlar, aunque sea en menor medida, estos parámetros.

Asimismo, la altura de las pilas puede ser mayor a la altura típica de las pilas con volteo de la etapa de descomposición, ya que la oxigenación del compost es un parámetro de menor importancia que en la etapa anterior.

Por todo esto, es que se diseñan pilas de maduración de 3m de altura y 4m de ancho, con una sección triangular. Dado el balance de masa presentado en la sección anterior, la masa con la que se cuenta para esta etapa es de 74,5t/día, y el volumen es de 106,5m<sup>3</sup>/día. Entonces, el largo de cada pila será de 18m para tratar la totalidad del volumen que sale del túnel de descomposición (Figura 5.30).

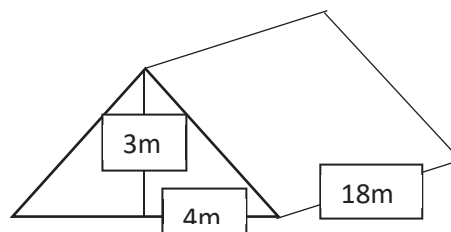


Figura 5.30: Dimensiones de pilas de maduración.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta etapa tiene una duración de entre 4 y 8 semanas, dependiendo del grado de descomposición con el que se cuente luego de la etapa inicial. Teniendo en cuenta que se controlan los parámetros principales en el reactor de descomposición, el proceso llega a un grado de descomposición muy alto, por lo que se tomarán 4 semanas como parámetro para el diseño de esta etapa.

De esta forma, se necesitará espacio para 28 pilas (1 pila x 4 semanas), ubicando el producto de cada túnel en una pila y manteniéndola 4 semanas en maduración.

Debe dejarse un espacio de 3m de distancia entre cada pila, para una buena maniobrabilidad de la pala cargadora y de la máquina de volteo.



La máquina de volteo será el modelo Gujer SG 4000. Una máquina especialmente diseñada para el volteo de grandes pilas como las pilas de maduración, que posee un ancho de 4m y un alto de 3,4m de operación. Las Figuras 5.31 y 5.32 muestran imágenes de esta máquina.



*Figura 5.31: Máquina volteadora SG 4000, vista lateral. Fuente: WEB Gujer.*



*Figura 5.32: Máquina volteadora SG 4000 en operación. Fuente: WEB Gujer.*

En la Figura 5.33 pueden observarse las dimensiones del espacio destinado a las pilas de maduración.

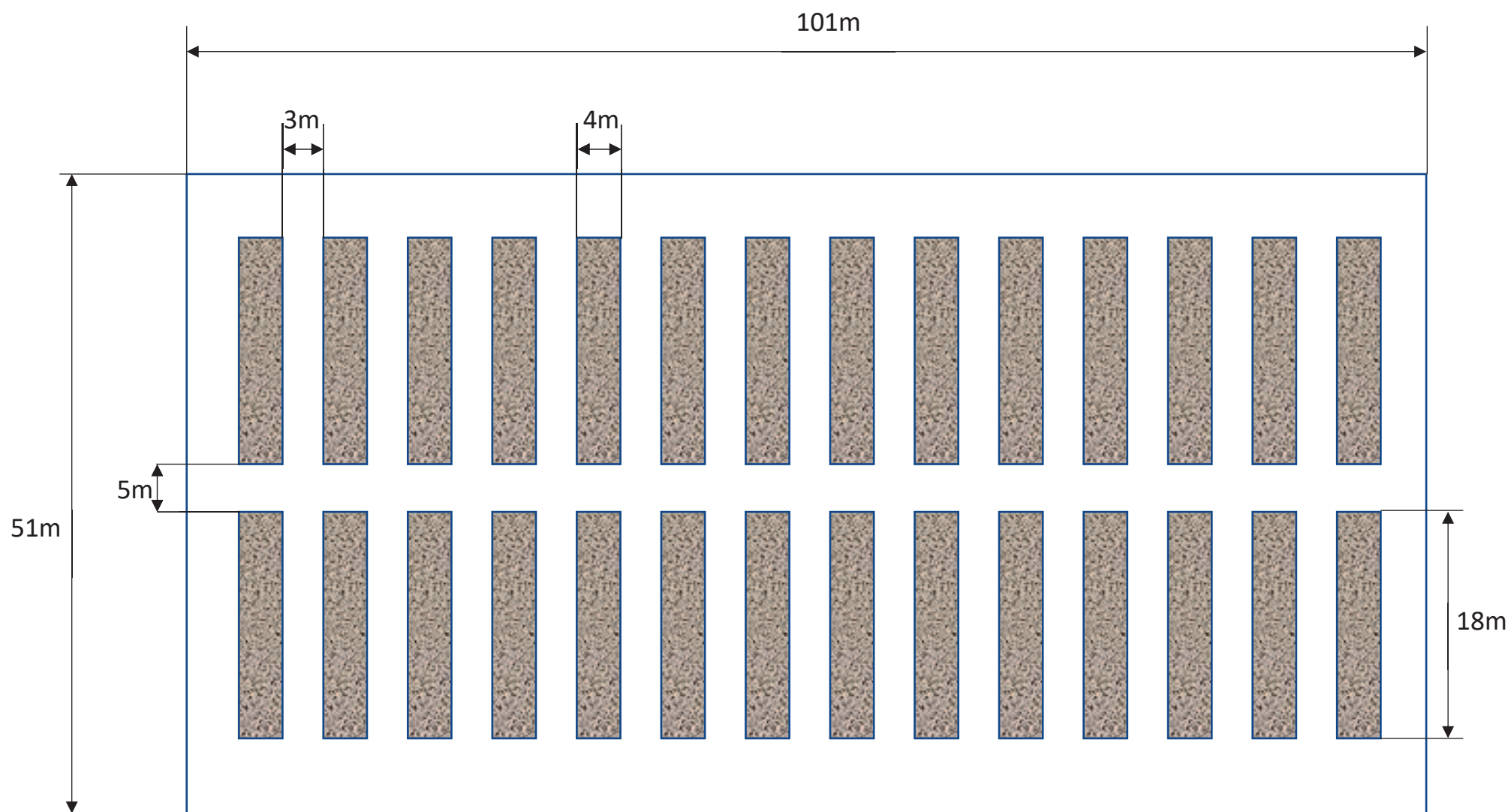


Figura 5.33: Dimensiones de las pilas de maduración del compost. Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones del área de maduración serán de 51m de ancho por 101m de largo, dando una superficie total de **0,51ha**.

Aproximadamente el 20% del material que ingresa al proceso de maduración se pierde durante el mismo, aunque la densidad se mantiene alrededor de 700kg/m<sup>3</sup>. Realizando un balance de masa, la masa del producto es la siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Ecuación 9} \\ & \text{Carga degradada} \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \times \text{Masa remanente}(\%) = \text{Carga degradada}' \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \\ & 74,7t/\text{día} \times 0,8 = 59,8t/\text{pila}^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Ecuación 10} \\ & \text{Carga degradada}' \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \times \rho \text{ del compost} \left( \frac{t}{m^3} \right) = \text{Carga volumétrica}' \left( \frac{m^3}{\text{día}} \right) \\ & 59,8t/\text{pila} \div 0,7t/m^3 = 85,4m^3/\text{pila} \end{aligned}$$

\* se aclara que luego de los primeros 42 días, cada día se extrae una pila de compost nueva, es por eso que se realiza el cambio de notación de día por pila.

De esta forma, el producto de la etapa de maduración será lo que ingrese en la etapa final del proceso: el afino del compost.

### 5.7.5.3 Afino del compost

Una vez que el compost finalizó su etapa de maduración, el material saliente se recoge y se traslada al sistema de afino final. Este consiste en asegurar que el compost producido tiene la calidad necesaria para la comercialización, de acuerdo con la resolución 1/19. Por ello, el material deberá pasar por un sistema de cribado con una granulometría máxima por ley de 16mm. Sin embargo, superando los requisitos de esta reglamentación y atendiendo el manual de "Manejo de suelo" de la FAO (Food and Agriculture Organization, de la ONU), este proyecto se realizará con un cribado de 10mm de diámetro de partículas.

El compost maduro puede contener materiales orgánicos con un tiempo de descomposición mayor al de nuestro sistema diseñado, como también materiales impropios provenientes de una deficiente separación en origen. Esto es lo que tratará el afino final, que constará de un trómel de cribado y una cinta transportadora que lo abastezca.

Entonces, el material extraído de las pilas de maduración, será transportado por palas cargadoras hasta la planta de afino. Allí se encontrará el trómel junto a una tolva receptora, donde el autoelevador descargará lo recogido en la pila de maduración finalizada.

En este proceso deberán tratarse **59,8t/día**, equivalentes a **85,4m<sup>3</sup>/día**. Sin embargo, este trabajo deberá realizarse desde muy temprano en la mañana para liberar la superficie ocupada por la pila finalizada del proceso de maduración, y de esta forma llenarla nuevamente con lo extraído del proceso de descomposición. Para eso, se diseñó en base a un trómel de afino de la empresa Bianna Recycling, modelo TR2055, que posee una capacidad de 35m<sup>3</sup>/h y una luz de malla de 10mm.

Este trabajo comenzará cada día a las 6am, trabajando aproximadamente 3hs en donde el autoelevador con la pala cargadora transportará el material finalizado del proceso de maduración hacia el trómel y este generará una corriente de rechazo (todos los sólidos con una granulometría mayor a 10mm) y el producto final, listo para la comercialización, que se realizará a granel.

En la Figura 5.34 se muestra el trómel escogido para el cribado del compost.



*Figura 5.34: Trómel de afino final del proceso de compostaje. Fuente: Bianna Recycling.*

En esta etapa del proceso se genera un rechazo de aproximadamente el 20% del material ingresado, disminuyendo su densidad a 650t/m<sup>3</sup>.

Entonces, el producto final, listo para la comercialización tendrá las siguientes dimensiones:

*Ecuación 11*

$$\text{Carga degradada}' \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \times \text{Masa remanente}(\%) = \text{Carga degradada}'' \left( \frac{t}{\text{día}} \right)$$

$$59.8t/\text{día} \times 0,8 = \mathbf{47,8t/\text{día}}$$

*Ecuación 12*

$$\text{Carga degradada}'' \left( \frac{t}{\text{día}} \right) \times \rho \text{ del compost} \left( \frac{t}{m^3} \right) = \text{Carga volumétrica}'' \left( \frac{m^3}{\text{día}} \right)$$

$$47,8t/\text{pila} \div 0,65t/m^3 = \mathbf{73,6m^3/\text{pila}}$$

#### 5.7.5.4 Esquema de distribución de la planta

En base a lo diseñado para la planta de compostaje, se condensará la información de las dimensiones de cada parte del proceso y de su totalidad en este apartado.

La zona de descarga de los camiones recolectores de Compostables tendrá una superficie de 400m<sup>2</sup> con un largo y ancho de 20mx20m.

La zona de descarga de residuos de poda tendrá una superficie de 200m<sup>2</sup>, que se encontrará contigua a la zona de chipeo y acopio transitorio de chips de poda, la cual tendrá una superficie de 100m<sup>2</sup>.

El sector del reactor de descomposición contará con 14 túneles cuyas dimensiones son de 65m<sup>2</sup> cada uno, dando un total de 910m<sup>2</sup> de todo el reactor. Contemplando la superficie que ocupará la entrada a cada túnel, esta área tendrá un total de 1000m<sup>2</sup>.

El área de maduración del compost constará de las pilas mencionadas en el apartado del mismo, ocupando una superficie de 51m de ancho y 101m de largo, dando un total de 5151m<sup>2</sup>.

La superficie para el afino del compost será de 550m<sup>2</sup>, pero será contigua de la superficie de acopio de compost comercializable que tendrá 250m<sup>2</sup> y una zona de carga de camiones para su transporte a granel de 50m<sup>2</sup>.



Las dimensiones finales pueden verse en la siguiente tabla (Tabla 5.25):

Tabla 5.25: Dimensiones de las áreas destinadas a cada subproceso del proceso de compostaje.

Dimensiones y sectorización de Planta de Compostaje	Superficie (m <sup>2</sup> )
Zona de descarga de Compostables	400
Zona de descarga de Restos de Poda	200
Zona de acopio transitorio de chips de poda	100
Zona de Reactor de descomposición	1000
Área de maduración	5151
Zona de afino	50
Acopio de compost final	250
Zona de carga	50
Pasillos y calles internas	1500
Superficie total destinada a compostaje	8701

Entonces, el área total destinada al proceso de compostaje es de 0,87has.

Esta planta será emplazada en la parte nueva del Relleno Sanitario, que será descrita en el siguiente apartado, y puede verse en la siguiente imagen de Google Earth:



Figura 5.35: Emplazamiento de Planta de Compostaje. Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth.



## 5.8 Disposición Final

Como se ha mencionado previamente, Tandil tiene como método de disposición final un relleno sanitario. Este se encuentra descrito en la sección de Diagnóstico, y cuenta con una vida útil hasta 2021, es decir, menos de dos años más de vida útil. Es por ello que se plantea una expansión del predio del relleno sanitario y el diseño de nuevos módulos para el terreno adquirido, con el fin de planificar la continuidad de una disposición final adecuada a partir del 2021.

### 5.8.1 Introducción

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica al ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Hace poco menos de un siglo, en Estados Unidos, surgió el relleno sanitario como resultado de las experiencias, de compactación y cobertura de los residuos con equipo pesado; desde entonces, se emplea este término para aludir al sitio en el cual los residuos son primero depositados y luego cubiertos al final de cada día de operación.

En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control (Jaramillo, 2002).

Puede observarse en la Figura 5.36 un relleno sanitario en corte, presentando las funcionalidades del mismo.

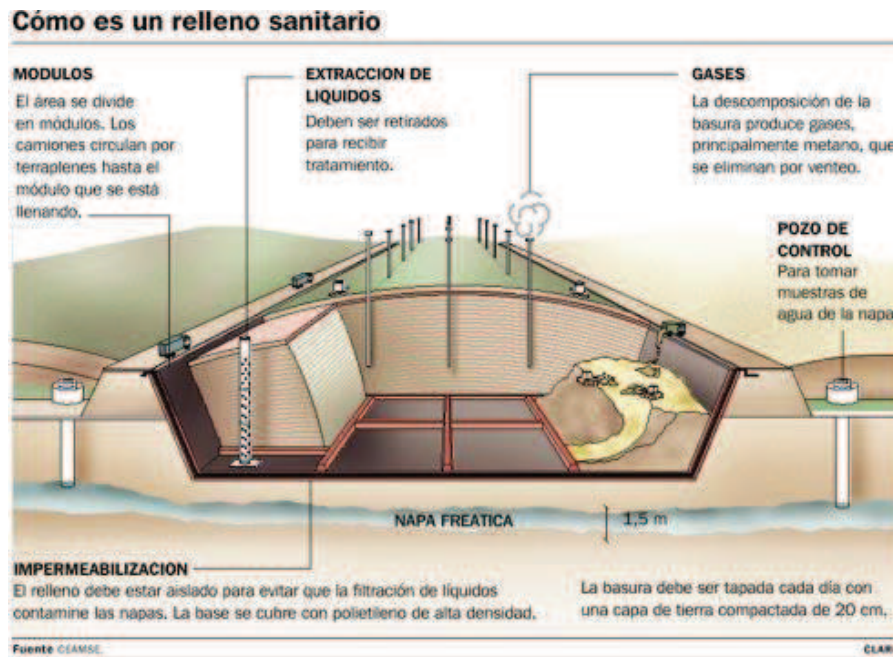


Figura 5.36: Cómo es un relleno sanitario. Fuente: CEAMSE.

En un relleno sanitario moderno los residuos quedan encapsulados entre los materiales de la cubierta superior y un sistema de membranas en fondos laterales lo que permite implementar sistemas de recolección y control de las emisiones líquidas y gaseosas (Agüero, 2014):

### 1- Cubierta superior y membranas laterales y de fondo

Esta cubierta deberá impedir la filtración de agua hacia el interior del relleno y controlar las emisiones de gas hacia la atmósfera. También evitará el contacto de algún sector de los residuos con el exterior producto de la emisión de la cubierta final. El sistema de membranas arcillosas y geosintéticas deberá permitir la recolección de los líquidos lixiviados y evitar la contaminación del suelo y agua bajo la superficie.

### 2- Lixiviados

Son los líquidos que pasando a través del relleno u originados en él, contienen en solución, suspendidos o mezclados con ellos, sustancias pertenecientes a los residuos. Los lixiviados generalmente fluyen hacia el fondo del relleno, pero pueden también hacerlo lateralmente. En el primero de los casos son recogidos por conductos colocados en el fondo a ese fin y luego recolectados por bombeo y tratados para neutralizarlos. Aun así, debe vigilarse su aparición en aguas subterráneas y terrenos próximos adonde llegan filtrándose a través de roturas e imperfecciones de la membrana.

### 3- Gas del Relleno Sanitario

Generado por la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos este gas es básicamente una mezcla de metano y dióxido de carbono. Puede ser recogido mediante conductos de material permeable o caños perforados para su posterior tratamiento o transformación en energía. Debe monitorearse el terreno circundante al relleno para detectar la migración de estos gases fuera de los límites del relleno.

#### 4- Cubierta diaria

En general se recomienda cubrir las sucesivas descargas de residuos en un relleno sanitario, con 15 cm de tierra al final de cada día de trabajo. Este espesor es suficiente para evitar la exposición de la basura a las aves, insectos y roedores que representan las principales vías de transmisión de enfermedades a los humanos. Esta cubierta también reduce la exposición de materiales combustibles a fuentes de ignición, elimina olores y controla la voladura de residuos.

#### 5.8.2 Ubicación del Relleno Sanitario

Para proyectar el nuevo terreno donde se emplazará el relleno sanitario, se analizó en detalle la legislación vigente, la Resolución 1143/02 de la Provincia de Buenos Aires. Se detalla a continuación lo establecido por esta Resolución:

1. Se deberá realizar el Estudio de Impacto Ambiental que se indica en el Anexo IV del Decreto Nº 1741/96 (Ley 11.459 de la Provincia de Buenos Aires). Establecimiento de segunda categoría. El relleno sanitario deberá establecerse en áreas cuya zonificación catastral sea Rural.
2. El relleno sanitario deberá emplazarse preferentemente en un área, cuya base de asiento esté compuesta por una barrera natural formada por una capa mineral con una permeabilidad vertical ( $K_f$ ) igual o menor a  $1 \times 10^{-7}$  centímetro por segundo (cm/seg), con un espesor mayor o igual a 1,00 metros.
3. Cuando la barrera natural no cumpla con las condiciones indicadas, podrá lograrse o completarse en forma de barrera artificial (geológica mineral), con aquellos elementos que proporcionen una protección equivalente o una barrera compuesta.
4. La base del relleno en ningún caso podrá invadir el nivel del acuífero libre, debiendo estar ubicado como mínimo a 0,50 m sobre el nivel del mismo. Para el caso que la capa freática supere el valor mencionado se deberán presentar propuestas de mitigación que permitan cumplir con lo establecido.

5. Se deberá garantizar que no se producirá ninguna alteración a la calidad del agua superficial, subterránea y al suelo adyacente como consecuencia de la disposición final de los residuos, tomando como referencia el estado de calidad previo al inicio de la obra de rellenamiento.
6. No se podrá establecer un relleno sanitario dentro de una reserva o parque natural comprendidos en la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 10.907.
7. Se deberán respetar los derechos de trazas de autopistas, rutas o caminos, trazas de ferrocarril, de obras públicas tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, tendido de redes de transmisión de energía eléctrica, acueductos y redes cloacales.
8. La distancia mínima a ubicar un relleno sanitario de aeropuertos y/o aeródromos deberá ser:
  - a. 3.000 metros en el caso que operen aviones de motor a turbina.
  - b. 1.500 metros si operan aviones de motor a pistón o turbohélice.

En aquellos casos en los cuales el relleno sanitario se encuentre ubicado dentro de un radio de 8 Km de un aeropuerto donde operen aviones a turbina o pistón, el propietario u operador deberá comunicar a la Fuerza Aérea Argentina.

A fin de cumplimentar con cada uno de los puntos de esta resolución, se escoge para el emplazamiento de la obra, el terreno lindante con el relleno sanitario actual (ver Figura 5.37).

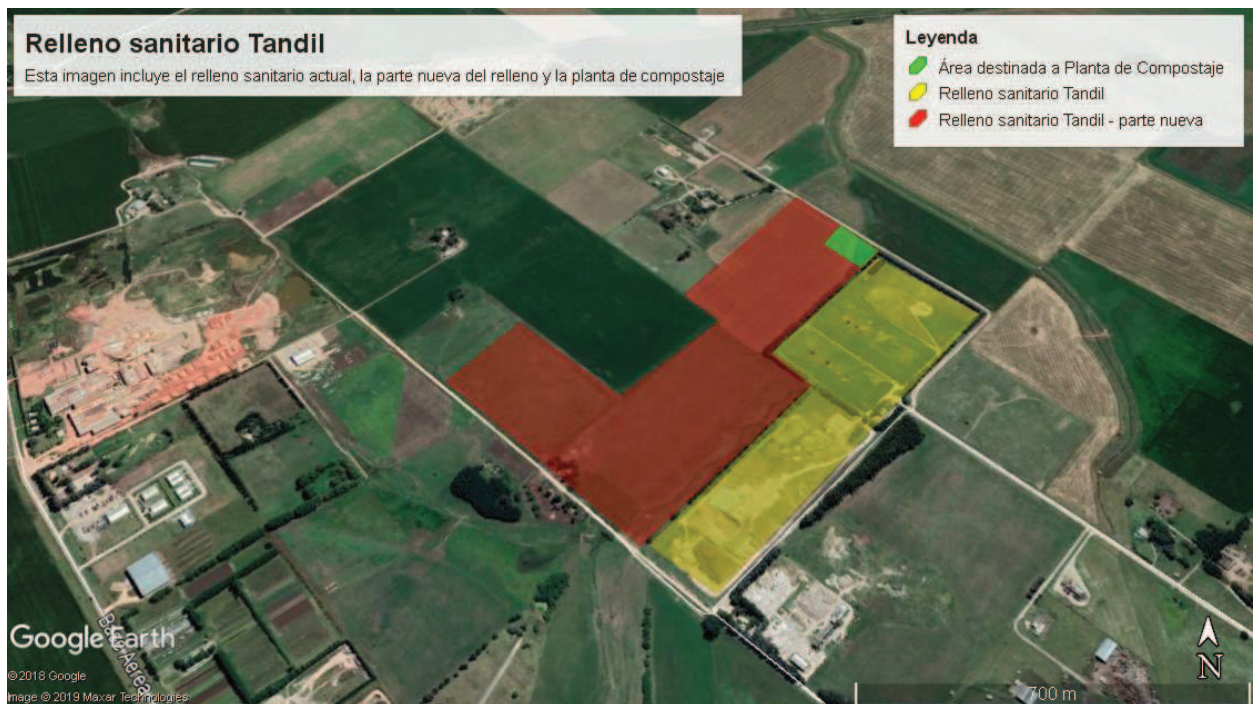


Figura 5.37: Lugar de emplazamiento de la parte nueva del Relleno Sanitario. Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth.

Muchos de los requisitos que debe cumplir por ley la ubicación de un relleno sanitario, se entiende que deberían cumplirse en este sitio, dado que se encuentra muy próximo al relleno sanitario en operación, el cual cumple con la normativa. Sin embargo, deberán realizarse los estudios correspondientes en este terreno para asegurar el cumplimiento de estos requisitos. Cabe destacar que la zona en la que se encuentran tanto la parte nueva como la parte vieja, es una zona de llano, alejada de las sierras.

El diseño de este relleno sanitario se realiza sobre la base de información correspondiente al terreno del relleno actual, ya que no se cuenta con estos estudios preliminares de la parte nueva.

Además, el hecho de emplazar el proyecto en el área lindante al relleno actual, presenta ventajas como la utilización de las instalaciones y accesos actuales del mismo, lo que implica una menor inversión inicial, la aceptación social de los vecinos de la zona, entre otras ventajas importantes.

### 5.8.3 Diseño del Relleno Sanitario

Existen diversos métodos para la construcción de un relleno sanitario:

- A. Método de celda/zanja excavada: Este método de vertido es apropiado para zonas donde se dispone de una profundidad adecuada de material de cubrición y donde el nivel freático no se encuentra cerca de la superficie. Se colocan los residuos en celdas o zanjas excavadas en el suelo (Ver Figura 5.38). La tierra extraída se utiliza como material para la cubrición diaria o final. Normalmente dichas celdas se revisten con membrana sintética o con arcilla de baja permeabilidad, o con la combinación de ambas, para limitar los movimientos de los gases y del lixiviado.



Figura 5.38: Esquema del método de celda/zanja excavada. Fuente: Agüero, 2014.

- B. Método en zona: El método en zona se utiliza cuando el terreno es inapropiado para la excavación de celdas o zanjas donde colocar los residuos. Son localizaciones con condiciones de alto nivel freático. La preparación del lugar implica la instalación de un revestimiento y de un sistema para el control de lixiviado. El material de cubrición debe ser trasladado desde terrenos adyacentes. En algunos sitios se ha implementado la utilización de compost producido por los residuos de jardín y la fracción orgánica de los RSU como material para la cubrición intermedia. Otra opción es la utilización de

materiales de cubrición temporal, tales como tierra y geomembranas, las cuales se pueden colocar temporalmente sobre celdas completas y luego quitar para comenzar con el siguiente nivel (Ver Figura 5.39).



Figura 5.39: Esquema del método en zona de un relleno sanitario. Fuente: Agüero, 2014.

- C. Método vaguada/depresión: Se han utilizado vaguadas, barrancos y fosas de relleno suplementario y canteras como zonas de vertido (Ver Figura 5.40). Las técnicas para colocar y compactar residuos en rellenos de vaguada/depresión varían según la geometría del lugar, las características del material de cubrición disponible, la hidrología y la geología del lugar, los tipos de instalaciones de control de gases y lixiviado que van a utilizarse y el acceso al lugar. Normalmente se comienza a rellenar cada nivel por la cabeza de la vaguada y se termina por la boca, para prevenir la acumulación de agua en la parte de atrás del relleno. Se rellenan los sitios vaguada/depresión en múltiples niveles. El modo de operación es esencialmente el mismo que para el método en zona. Si el suelo es razonablemente plano el vertido inicial puede efectuarse utilizando el método celda/zanja excavada. Es de suma importancia prever la disponibilidad de material adecuado para la cubrición diaria y final cuando el relleno haya alcanzado la altura final.

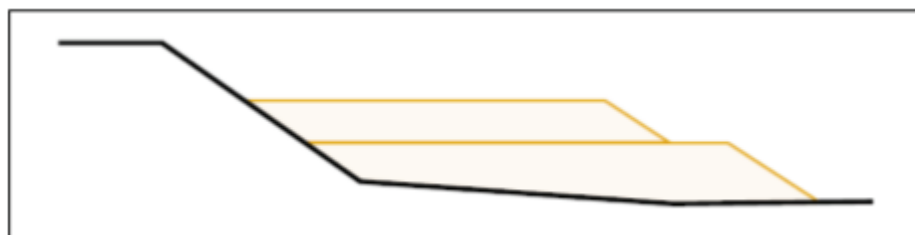


Figura 5.40: Esquema del método de vaguada/depresión de un relleno sanitario. Fuente: Agüero, 2014.

En este caso, se diseñará un relleno sanitario en celdas/zanjas excavadas. El limitante para este caso es el nivel freático, del cual no se conoce la profundidad con exactitud. Para esto deberán realizarse estudios hidrogeológicos y determinar exactamente la profundidad del nivel freático más superficial. Sin embargo, para este proyecto se utiliza la profundidad conocida del poblado de Gardey, que es parte del Municipio de Tandil y se encuentra cerca del relleno sanitario, y es de 6m. Teniendo en cuenta que la



normativa ordena una distancia mayor a 0,5m entre la profundidad del relleno y la capa freática más superficial, se tomará un margen de 2m y se tomarán recaudos que se explicarán luego, para que el relleno diseñado no genere contaminación de ningún tipo en los acuíferos.

Previo al diseño del relleno sanitario, debe contarse con los estudios necesarios para que la construcción, operación y cierre se efectúen de la manera adecuada.

Los estudios son los siguientes:

- Estudio hidráulico: La ejecución de un Relleno Sanitario, ocasiona modificaciones en la topografía del terreno. Esta situación debe analizarse en el proyecto, teniendo en cuenta la situación actual y la futura de la cuenca hídrica sobre la que influirá este emplazamiento. Debe preverse un adecuado drenaje de las áreas que ocupará el Relleno Sanitario y las zonas aledañas, aguas arriba y aguas abajo del mismo. La pendiente del módulo, la cobertura y la vegetación a implantar en su superficie, es muy importante tenerlas en cuenta, para evitar que se produzca la erosión del mismo. Cumplido este objetivo, es necesario definir criterios y metodologías a ser utilizados para manejar el flujo de aguas superficiales que, proviniendo de la superficie del relleno, se deben incorporar al caudal de líquido aguas abajo. El estudio hidráulico debe contemplar una efectiva y correcta evacuación del flujo de aguas pluviales del módulo de manera tal de evitar la filtración de agua en el relleno sanitario, como así también, la erosión de la cobertura del mismo. El escurrimiento de estas aguas hacia los canales a proyectar y fuera del área debe efectuarse sin que se produzca un impacto desfavorable. Se debe tener muy en cuenta que la sobreelevación del terreno, representará un obstáculo para el libre escurrimiento del líquido que provenga de aguas arriba de este sitio; por consiguiente, se deben proyectar canales que, rodeando el relleno, eviten el embalsamamiento de las mismas.
- Estudio Hidrogeológico: Los Estudios Hidrogeológicos aportarán datos sobre las propiedades mecánicas y estructurales de los suelos, de la permeabilidad de los mismos; como así también de la ubicación, condiciones y escorrentía de las napas de agua subyacentes. Este estudio nos permitirá conocer las limitaciones

que el suelo y las condiciones geológicas puedan imponer al proyecto. Con la palabra suelo se designa a todos los materiales, tales como, rocas, arcillas, turbas o arenas que puedan presentarse en la corteza terrestre y debe tenerse en cuenta que, ciencias como la geología, mineralogía y química intervienen al determinar las propiedades de la fase sólida de estos materiales. Con los datos obtenidos con estos estudios, se conocerán las propiedades del material para ser utilizado como soporte de los residuos, cobertura de los mismos y basamento de los caminos y de las construcciones civiles.

- Relevamiento topográfico: Debe incluirse entre los estudios previos el relevamiento topográfico del terreno donde se emplazará el Relleno Sanitario. Con los datos planialtimétricos, se confeccionan los planos de curvas de nivel y los cortes transversales del terreno, que permitan realizar el balance de suelos y saber si los volúmenes existentes cubren las necesidades de la obra. Con el reconocimiento topográfico del terreno e investigaciones de gabinete paralelas, se conocerá la existencia de redes eléctricas y de comunicaciones, cursos de agua, vías férreas, cañerías subterráneas, que existan en el área y/o zonas aledañas (CEAMSE, 2012).

Con los estudios previos efectuados se contará con el balance del terreno elegido para la ejecución del Relleno Sanitario. Se conocerá en consecuencia si el volumen existente resulta suficiente para los requerimientos de la totalidad de la obra, y se comenzará a diseñar los módulos.

El módulo a construir consiste en una unidad de diseño circundada perimetralmente por un terraplén de cerramiento y circulación, por donde transiten los vehículos recolectores antes y después de la descarga de los residuos. Desde el punto de vista constructivo, el módulo conforma un recinto estanco que impide la migración de líquidos lixiviados hacia el exterior del mismo o se filtren hacia el acuífero. Debe evitar además el ingreso de agua del exterior (crecientes, lluvias) (CEAMSE, 2012).

Pueden observarse los cálculos del diseño y dimensionamiento estructural del relleno sanitario en la sección de Memoria de Cálculo.

En cuanto a la impermeabilización, se utilizarán dos métodos complementarios para controlar la infiltración en el fondo del relleno:

- Se agregará una capa de suelo arcilloso de un coeficiente de permeabilidad de  $10^{-9}$ , con un espesor de 40cm compactado adecuadamente, tanto en el fondo del relleno como en los taludes.
- Se colocará una geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) de 2mm de espesor, como base del relleno sanitario, y anclada por fuera del módulo de forma de que sea una cobertura de la totalidad del mismo.

El sistema de recolección de lixiviados constará de un sistema de tuberías de PVC denominado espina de pescado, ubicado en el fondo del relleno (Figura 5.41). Se trata de un dren principal ubicado en una berma en el fondo del relleno, que tendrá una pendiente de 2%, mientras que los drenes secundarios que desembocarán en el principal tendrán una pendiente de 3%.

Ver Memoria de cálculo.

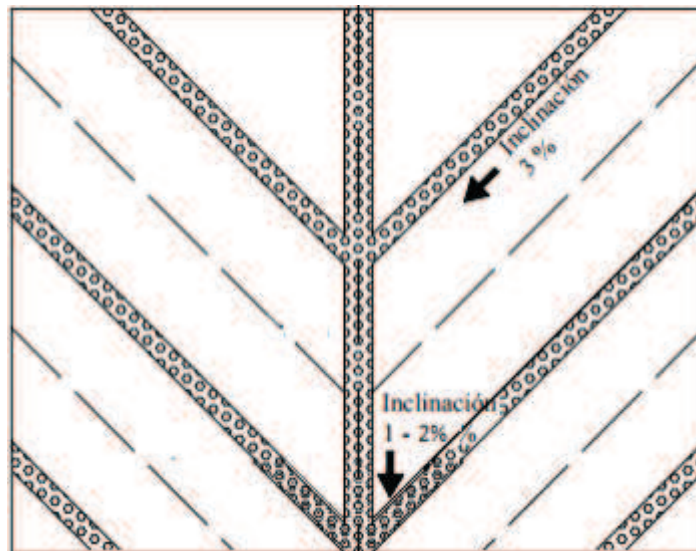


Figura 5.41: Sistema de drenaje "Espina de pescado". Fuente: Röben, 2002.

Este sistema transportará los líquidos lixiviados generados en el relleno a través de una bomba hidráulica hasta la planta de tratamiento de lixiviados.

Este proyecto no contempla el diseño de la planta de tratamiento de lixiviados. Los primeros años del nuevo módulo podrán tratar sus lixiviados en la planta de tratamiento que se encuentra actualmente en el relleno sanitario, dado que en la visita de campo se informó por los operadores que posee un factor de capacidad bajo y puede tratar mayor cantidad de lixiviados que los generados actualmente. Cuando se considere necesario, el Municipio deberá proyectar una nueva planta de tratamiento con capacidad para la totalidad de los nuevos módulos.

También se utilizará la recirculación de los líquidos lixiviados en forma de riego por encima de los módulos con el fin de lograr la evaporación de la mayor cantidad posible de los mismos.

Durante la operación de los módulos se construirá el sistema de drenaje de gases generados por el relleno sanitario. Estos gases contienen una gran cantidad de metano y pueden causar problema si no son liberados a la atmósfera debido a un exceso de presión.

A través del programa LANDGem de la EPA se calculó la concentración de determinados gases en función del tiempo de vida útil y luego del cierre del relleno sanitario. Puede verse en la Memoria de Cálculo.

El sistema de recolección de gases consiste en chimeneas perforadas separadas entre sí por 25m, rellenas de grava y con una cobertura exterior (dentro del relleno) también de grava, para impedir la obstrucción de la difusión de los gases por los residuos depositados en el módulo. Se trata de un drenaje pasivo en el que los gases generados en el relleno se difunden hacia estas chimeneas para luego ser incinerado en una antorcha (lo que disminuiría su impacto en la generación de gases de efecto invernadero), o bien para ser aprovechado como energía térmica, transformándola en energía eléctrica. Este trabajo no incluye el desarrollo de esta etapa, sino que se desarrolla el sistema de recolección de los gases para que luego se desarrolle la estrategia que se considere más apropiada para estos gases.

Puede verse un esquema de esto en un módulo cerrado en la Figura 5.42:

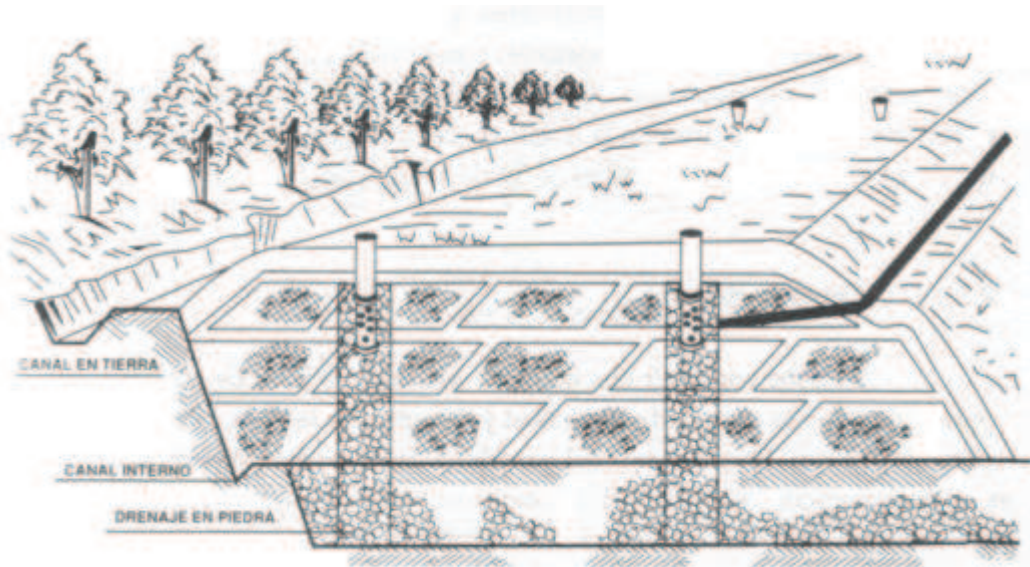


Figura 5.42: Esquema modelo del sistema de recolección de gases en chimeneas rellenas de grava. Fuente: Røben, 2002.

El relleno diseñado comenzará a utilizarse en el año 2021 y tendrá una vida útil hasta el 2041. Esto se debe a que la implementación de este proyecto extenderá la vida útil prevista del relleno

actual. Esto probablemente derive en un cierre del relleno actual a fines del año 2021 en lugar de a principios como se calcula actualmente, eso por ello que se diseña contemplando el año 2021 como si fuera a utilizarse desde el comienzo y se incluye también el año 2041 para el caso de que la utilización de la nueva parte del relleno se efectivice a fines del año 2021 o principios del 2022, dando como resultado una vida útil calculada a 20 años.

El área destinada al relleno será de 32 hectáreas contemplando todas las instalaciones necesarias. Además, al ser área lindante con el relleno sanitario actual, se utilizarán muchas de las instalaciones actuales.

El ingreso al predio del relleno se dará por la misma entrada que se utiliza actualmente, donde se encuentra la báscula junto a la oficina de recepción. Allí además se cuenta con oficinas, baños, vestuarios y un sector de cocina. También se encuentran en un sector del relleno actual, los galpones para guardado de equipos. Los equipos con los que se cuenta actualmente para la operación del relleno son:

- a. Un cargador frontal sobre orugas de tipo Caterpillar 963 WDA de una de 130 HP equipado con escarificador.
- b. Un tractor sobre neumáticos de 60 HP, equipado con toma de fuerza y levante.
- c. Un tractor sobre neumáticos de 130 HP, equipado con pala de arrastre.
- d. Una camioneta de tipo pick-up.
- e. Un acoplado tanque de 10 m<sup>3</sup> de capacidad.
- f. Un cuadrante nivelador de arrastre.

Entonces, para la operación del relleno únicamente se precisará un tractor oruga compactador, con el fin de realizar las tareas de distribución y compactación en simultáneo.

Se trazarán caminos internos para conectar el terreno del relleno actual con el nuevo terreno, y a su vez caminos perimetrales dentro del nuevo terreno. Además, se construirán caminos temporales de manera que la descarga de los camiones se realice dentro de las celdas y de esta forma el cargador frontal sobre orugas y el tractor oruga compactador se encargarán de distribuir uniformemente los residuos en la celda y compactarlos de forma adecuada.

Se plantará una cortina forestal con especies nativas de un mínimo de 80cm de ancho, a lo largo de todo el perímetro del nuevo terreno, tal como lo solicita la resolución 1143/02.

Se construirán pozos de monitoreo del agua subterránea. Será 1 pozo por zanja, ubicado en el centro de la misma, de una profundidad de 35m (como los que se encuentran en el relleno en operación), y con 4 alturas de muestreo ubicadas a 4m, a 6m, a 18m y a 35m.

Sobre el lado Noreste del nuevo terreno se encontrará la Planta de Compostaje. Esta estará conectada con el relleno por medio de los caminos internos del mismo, de forma que los camiones de dos compartimentos descargarán primero la corriente de Compostables dentro de ella y luego serán pesados en una báscula propia de la planta, antes de descargar la corriente de Basura en las celdas del relleno.

El personal necesario para la operación del relleno sanitario será el mismo personal con el que se cuenta actualmente para la operación del relleno sanitario actual:

- Un encargado del servicio (1)
- Dos choferes maquinistas (2)
- Cuatro serenos administrativos (4)
- Un ingeniero civil (1)
- Un operario de tarea generales (1)

Sin embargo, para la operación de la planta de compostaje se incorporarán como parte del equipo los trabajadores detallados en la sección 5.7.5 Diseño de Planta de compostaje, los cuales serán parte de la nómina de operación del relleno sanitario, dado que la planta estará integrada dentro del mismo.

Las actividades a desarrollarse en el relleno sanitario son las siguientes:

- a) Actividades de control de ingreso y egreso de vehículos recolectores y particulares.

Como se ha mencionado, serán pesados en la báscula de ingreso, registrados en el software que se utiliza actualmente. Los datos controlados serán la chapa patente del vehículo, nombre, apellido y DNI del conductor y de los acompañantes en caso de ser particulares y número identificador de camión municipal en el caso de los camiones recolectores. Se pesará a la salida del predio nuevamente.

- b) Actividades de descarga y compactación de residuos sólidos urbanos.

Los camiones municipales ingresarán al predio y descargarán la carga de Compostables en la planta de compostaje, y luego se dirigirán a través de los caminos internos a la celda en operación para realizar la descarga de la corriente de Basura allí. En caso de ser vehículos



particulares, se dirigirán a la zona de descarga de particulares. Estos residuos serán trasladados por la pala cargadora hasta la celda en operación.

Dentro de la celda estarán trabajando la maquinaria de distribución para colocar los residuos descargados en la celda diseñada, y la maquinaria de compactación de forma de llegar al grado de compactación buscado ( $600\text{kg}/\text{m}^3$ ).

c) Actividades de cierre de celdas y clausura de módulos.

Al completarse las celdas se cubrirán con una capa del suelo removido durante la excavación de 40cm espesor. Al completar cada módulo, se cubrirá con una capa de suelo de 40cm, y al cabo de 10 días se completará con otra capa de 40cm debido al asentamiento de los residuos. Para esta cobertura final puede utilizarse el compost generado en la planta de compostaje en caso de que no cumpla con los requisitos para su comercialización o en caso de contar con un sobrestock del mismo.

d) Actividades de mantenimiento general del predio.

Estas tareas incluyen el trabajo de parquización, mantenimiento de caminos, mantenimiento de cercos, y cualquier trabajo que pueda generarse de forma anexa a la operación del relleno sanitario.

e) Actividades de control y monitoreo.

Estas actividades son sumamente importantes para mantener los estándares de calidad del relleno. Debe controlarse, como primera medida, de forma visual si los residuos descargados (principalmente por los vehículos particulares) coinciden con los que se encuentran en el registro. Esto es gran importancia dado que un exceso de residuos peligrosos, por ejemplo, puede generar problemas graves.

Se realizará un control de los líquidos lixiviados mensual, con una toma de muestra en una cámara de aforo y de toma de muestras, y un posterior envío a laboratorio con el fin de evaluar la composición de los lixiviados y la eficiencia de la planta de tratamiento.

Además, se tomarán muestras en los pozos de muestreo sobre la calidad del agua subterránea. La muestra se enviará al laboratorio semanalmente. Esto permitirá identificar posibles pérdidas de lixiviados del relleno.

Estos controles de lixiviados y de aguas subterráneas se realizarán tanto durante la operación como durante la etapa post-cierre por 50 años luego del mismo.

## 6. Estudio de Impacto Ambiental

### 6.1 Introducción

De acuerdo con la Ley General del Ambiente (Ley Nacional N° 25.675) y a la Ley Provincial N° 11.723, se realiza el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) de construcción del Relleno Sanitario propuesto en este proyecto, con el objeto de la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, a fin de preservar la vida en su sentido más amplio; asegurando a las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica.

Este estudio se enmarca dentro del proceso de la Evaluación de Impacto Ambiental, procedimiento técnico-administrativo con carácter preventivo, que permite una toma de decisión informada por parte de la autoridad ambiental competente respecto de la viabilidad ambiental de un proyecto y su gestión ambiental. La autoridad se expide a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Certificado de Aptitud Ambiental (CAA) según la norma particular de cada jurisdicción, también conocido como Licencia Ambiental en la mayoría de los países.

Este estudio contiene una descripción general del proyecto, un análisis de línea de base ambiental y social, la identificación y valoración de los potenciales impactos ambientales y sociales que el proyecto puede causar en el corto, mediano y largo plazo, así como la previsión de la gestión ambiental para abordarlos (prevención, mitigación y/o compensación), que se concreta a través del Plan de Gestión Ambiental dentro del EsIA.

### 6.2 Metodología

Para comenzar se realiza un diagnóstico de la situación ambiental y social en el área de influencia en la que se desarrolla el proyecto, denominado estudio de línea de base.

Luego se especifican las actividades que se plantean a lo largo del proyecto capaces de generar impactos positivos o negativos dentro de los medios estudiados en la línea de base. Se valorizan estos impactos de forma ponderada en una matriz denominada Matriz de Leopold, en donde se relacionan las actividades del proyecto y estos factores ambientales y sociales mencionados.

Por último, se delinea el Plan de Gestión Ambiental en el que se abordan la prevención, la mitigación y la compensación de los impactos negativos del proyecto, identificados antes de su ejecución.

### 6.3 Descripción del proyecto

El proyecto planteado se trata de una ampliación del relleno sanitario que actualmente se encuentra en operación en el Municipio de Tandil, dado que este presenta una vida útil hasta el año 2021 si la tendencia actual continúa.

Dado que este proyecto se enmarca en un proyecto mayor de gestión integral de los residuos sólidos urbanos de Tandil, se incluye una separación de corrientes de residuos, que se desviarán a tratamientos pertinentes en lugar del vertido en el relleno sanitario de la forma que se realiza actualmente. Específicamente para la corriente de Compostables, se diseña una planta de compostaje que se emplazará dentro del predio de ampliación del relleno sanitario.

Las instalaciones administrativas, el control de ingreso y galpones de maquinarias serán utilizados los del predio actual.

Por lo tanto, este proyecto incluye como actividades principales:

- A. Construcción, operación y cierre del Relleno Sanitario,**
- B. Construcción y operación de Planta de Compostaje,**
- C. Construcción de caminos internos,**
- D. Cercado y cortina forestal del nuevo predio.**

### 6.4 Área de influencia

El relleno sanitario propuesto es una ampliación del actual, por lo tanto, el emplazamiento del mismo se plantea en el terreno lindante.

El área de influencia primaria del proyecto de ampliación del relleno sanitario, es el área destinada a la construcción del mismo: las 36 hectáreas que ocupa el nuevo relleno sanitario, ubicado entre las coordenadas

- 37°16'49" S 59°12'07" O
- 37°16'58" S 59°11'43" O
- 37°16'49" S 59°11'43" O
- 37°16'33" S 59°11'28" O

Puede verse el lugar de emplazamiento en la Figura 5.37.

Se completa el área de influencia primaria con un radio de 2km alrededor del relleno sanitario, como zona de amortiguamiento de las actividades que se realizarán en el mismo.

Como área de influencia secundaria se toma la superficie de la Ciudad de Tandil, ubicada a 15km del proyecto en cuestión, que tiene una superficie de 52km<sup>2</sup>.

## 6.5 Línea de base

La línea de base de un EsIA consiste en una descripción de la situación actual tanto ambiental como social, sin considerar la potencial influencia del proyecto a desarrollar. En otras palabras es la fotografía de la situación ambiental imperante, considerando todas las variables ambientales, en el momento que se ejecuta el estudio.

A continuación, se presenta una caracterización ambiental y social del área de influencia del proyecto.

### Medio Físico

#### 6.5.1 Clima y meteorología

Tandil se caracteriza por un clima de tipo sub-húmedo húmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y concentración estival de la eficiencia térmica < a 48%.

La temperatura media anual es de 13,6 °C (calculada para el período 1961-1990). El mes más cálido es enero (20.9 °C) y el más frío julio (6.9 °C). Las temperaturas máximas absolutas se encuentran entre los 37° y 39°C; y las mínimas absolutas varían entre -6° y -7°C (Miranda del Fresno, 2009).

En el climograma de Tandil (Figura 6.1) se observa una oscilación térmica anual de 14 °C, con altos valores medios de temperatura en el verano (19,6 °C) y bajos en el invierno (7,1 °C).

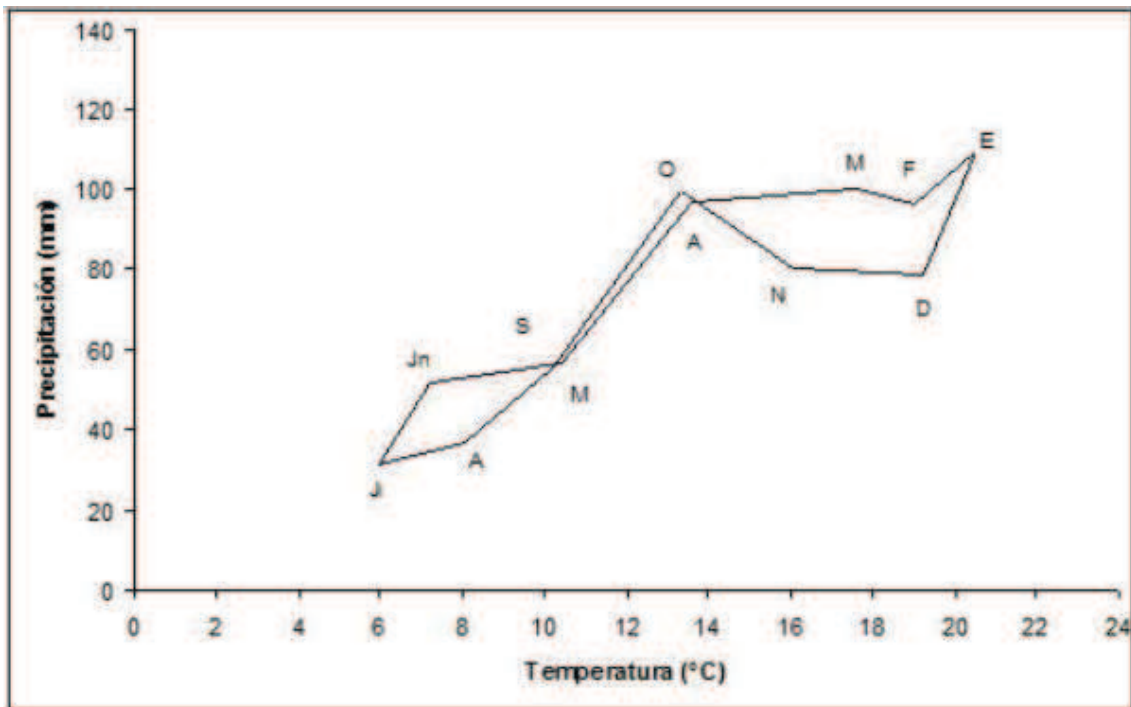


Figura 6.1: Climograma de Tandil. Serie 1991-2000. Fuente: Picone y Campo de Ferreras, 2010.

Las precipitaciones alcanzan los 892,6 mm. anuales, las cuales se concentran principalmente en los meses de enero a abril con un monto importante en el mes de octubre (99,5 mm.).

Si bien las precipitaciones se concentran en el verano, el balance hídrico (Figura 6.2) pone de manifiesto que el período que corresponde a los meses de noviembre a diciembre presenta rasgos de aridez. A pesar de ello, si se observa el climograma realizado para el mismo período (Figura 6.3) las condiciones no son extremas. Para el verano, de noviembre a febrero, se produce la utilización de las reservas de agua del suelo (50,69 mm.) que son recargadas entre febrero y abril cuando se produce el almacenaje o recarga del agua utilizada (Picone & Campo de Ferreras, 2010).

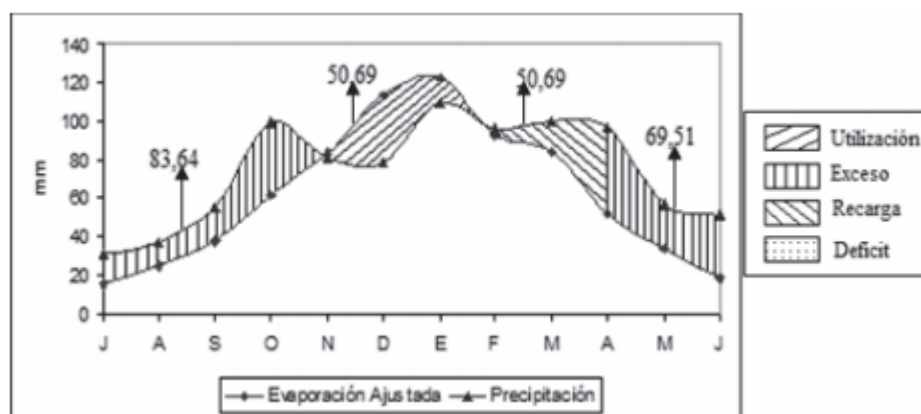


Figura 6.2: Balance hídrico de la Ciudad de Tandil (1991-2000). Fuente: Picone y Campo de Ferreras, 2010.

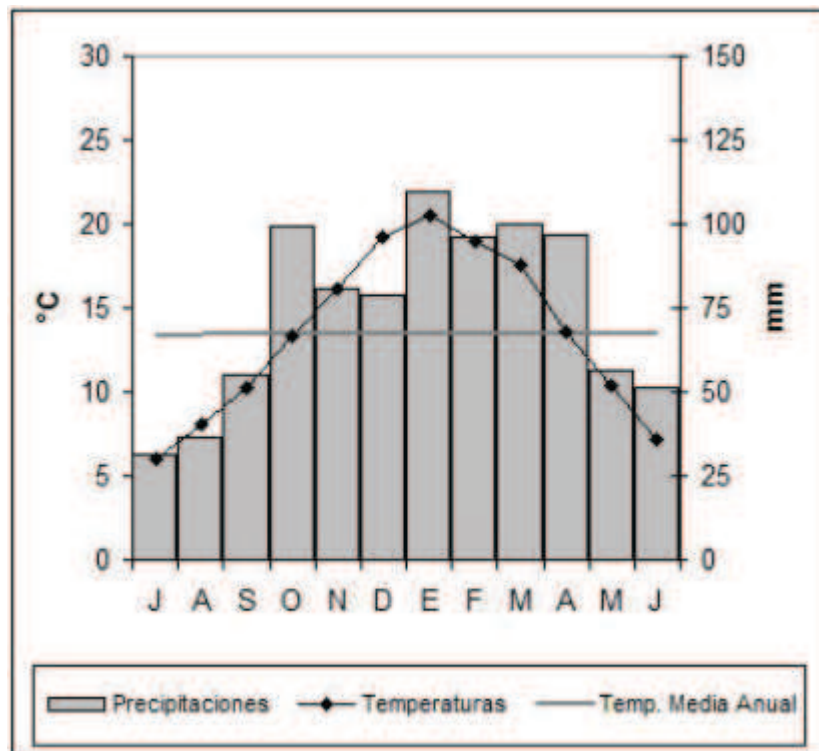


Figura 6.3: Climograma 1991-2000 de Tandil. Fuente: Picone y Campo de Ferreras, 2010.

La circulación atmosférica regional dominante posee dirección NE-SO, la cual es perpendicular a la orientación de las sierras de Tandil que se orientan en dirección NOSE. En el invierno predominan los vientos del sector SO-O con una velocidad media de 22 km/h y en el verano los cuadrantes NE, N y NO que aumentan su frecuencia, con una velocidad media aproximada de 15 km/h para los dos primeros sectores y 23km/h para el NO. La velocidad media anual es de 15,2km/hora. La frecuencia dominante por cuadrantes es de 115 sobre 1000 para el viento del Norte, seguido por los vientos del Sur (111/1000) y los del Este (96/1000). Las calmas se dan con una frecuencia de 265/1000 (Miranda del Fresno, 2009).

### 6.5.2 Geología y geomorfología

La región se caracteriza desde el punto de vista geológico por estar constituida por distintos tipos de rocas esencialmente de edad precámbrica y sedimentitas y sedimentos cuaternarios (Teruggi, et. al., 1980) que, a los fines hidrológicos, representan dos unidades netamente diferenciadas (Ruiz de Galarreta et al., 2005): · El Basamento Cristalino, compuesto por rocas precámbricas ígneas plutónicas con diferentes grados de metamorfismo. Estas rocas, primariamente acuífugas, presentan distintos grados de fracturación que le confieren un



carácter de acuífero pobre. El cuerpo aflorante en las sierras, constituye el basamento en profundidad del sistema acuífero poroso clástico suprayacente al alejarnos de la zona serrana. La Cubierta Sedimentaria Cenozoica, constituida principalmente por sedimentos limo arenosos con niveles basales gravo arenosos con una disminución del tamaño hacia la zona distal del frente montañoso.

En esta cubierta se incluyen los Sedimentos Pampeanos, materiales de origen loésico, de aspecto masivo con presencia de tosca, generalmente son de color castaño rojizo. La matriz es limosa con fracciones de arena y arcilla, y proporciones variables de carbonato de calcio. En este cuerpo acuífero es donde se produce la principal explotación del recurso hídrico subterráneo. (Ruiz de Galarreta, Varni, Banda Noriega, & Barranquero, 2007).

En la Figura 6.4 pueden observarse las alturas del terreno en la zona NO de la ciudad, donde se encuentra emplazado el relleno sanitario, con alturas que varían desde los casi 167m en la zona Norte del sector, hasta más de 335m., en la zona Oeste.

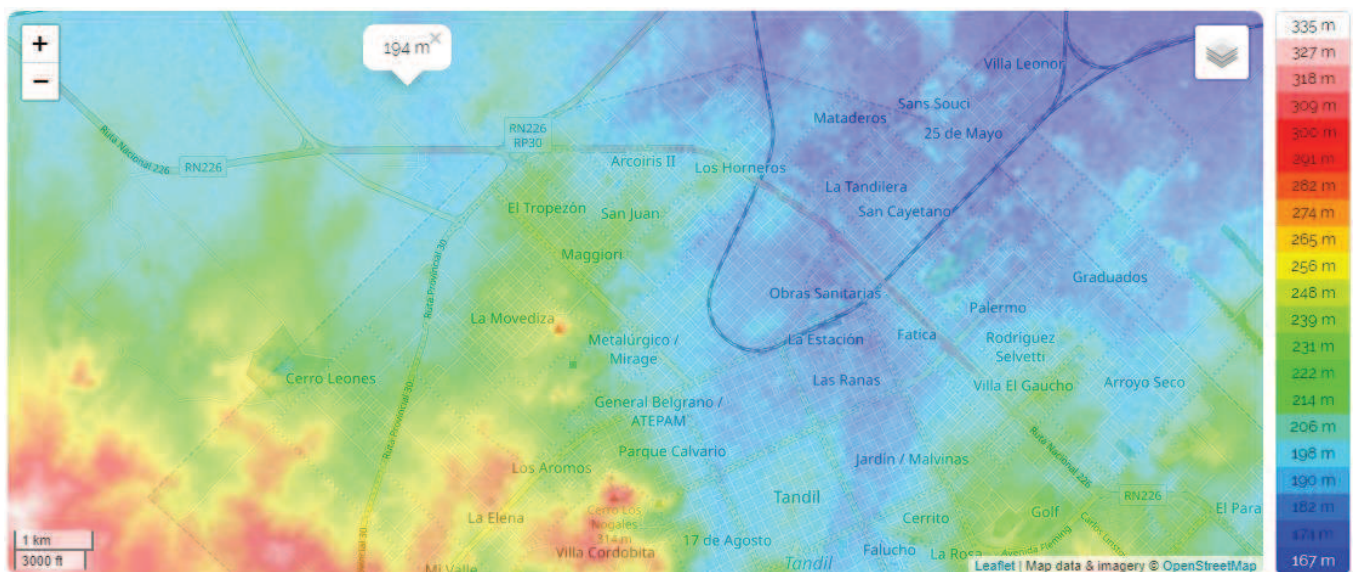


Figura 6.4: Mapa topográfico de la región Noroeste de la Ciudad de Tandil. Fuente: Topographic Map.

En relación a la geomorfología de la zona, se diferencian tres unidades morfológicas:

- La primera, correspondiente al sector de serranías, se caracteriza por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, relacionados con la presencia de bloques elevados por fallas directas. En esta área se encuentran las más altas pendientes y los valles de los cursos de agua se hallan bien definidos.

- La segunda unidad, que sigue sin discontinuidades a la primera, es reconocida como “piedemonte”, y se caracteriza por tener una pendiente más suave que la anterior. Se observa la presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. El drenaje presenta un diseño distributivo.
- La última unidad morfológica, caracterizada como “llanura” (Fidalgo et. al., 1975), es reconocida hacia el NE, por la presencia de pendientes muy suaves. Es una zona de acumulación y transporte de materiales más finos, con fuerte predominio de sedimentos de origen eólico. El drenaje es poco definido y pobremente integrado, con cauces estrechos y cursos temporarios que en ciertos casos desaparecen en suaves depresiones (Ruiz de Galarreta et al., 2007).

### 6.5.3 Edafología

Los dominios edáficos presentes en el área se circunscriben a la presencia dominante de suelos arguidoles en la subunidad geomórfica de piedemonte y loess sobre roca dentro de la unidad geomórfica de las sierras, y de suelos natracuoles y hapludoles pertenecientes a la subunidad plano cóncavo y limos y arcillas dentro de la unidad geomórfica llanura, bajo un clima subhúmedo- húmedo con precipitaciones anuales de 860 mm que determinan una recarga local y directa del acuífero clástico freático (Giacconi, 2008).

Todo el piedemonte está libre de rocas y tiene una red de drenaje bien definida, de diseño dendrítico, como consecuencia de la inclinación de los terrenos. La mayor parte de los suelos están limitados por profundidad por contacto con la tosca (hapludol petrocálcico y argiudol típico somero) y en los lugares con gran inclinación, son susceptibles a erosión hídrica. Así como la presencia de tosca o de rocosidad actúan como limitantes para la agricultura, también lo hacen un drenaje deficiente o la presencia de un horizonte B2 fuertemente textural. Cuando se habla de drenaje se refiere a la velocidad y facilidad con que el agua es eliminada del perfil del suelo en su estado natural, ya sea por escurrimiento superficial como por infiltración a la napa freática. El drenaje interno se refleja en la frecuencia y duración de los períodos de saturación con agua en el suelo y depende de la permeabilidad media del material de éste, de su capacidad de retención, del tipo litológico originario, de la presencia o ausencia de una capa freática y del escurrimiento superficial. Los suelos imperfectamente drenados, que mantienen un nivel freático de agua temporaria durante las lluvias y después de ellas, son aquellos que tienen una estructura muy compacta o una capa dura subyacente (por ejemplo, la tosca o la roca subsuperficial) (Falasca, 2002).

#### 6.5.4 Hidrología e hidrogeología

La hidrología de esta zona está abarcada por la cuenca de arroyos del sur de Buenos Aires con aproximadamente 50.350km<sup>2</sup>. La forma una serie de arroyos que corren de Norte a Sur y cuyas nacientes están en las sierras bonaerenses. La región encierra gran parte del sistema orográfico constituido por las sierras de Tandil.

Los ríos y arroyos derivados del sistema de Tandilia acceden en su gran mayoría a la bahía de Samborombón o a la laguna Mar Chiquita, y luego, por medio de ésta al océano Atlántico. Las cuencas que cubren el partido corresponden a las de los siguientes arroyos: de los Huesos, Chapaleofú, Langueyú, El Perdido, Tandileofú, Las Chilcas, Napaleofú y Quequén Chico.

La Ciudad de Tandil se encuentra dentro de la cuenca del Arroyo Langueyú. La misma se desarrolla sobre el faldeo Norte de dichas sierras, también denominadas Sierras Septentrionales, drenando sus aguas hacia el noreste en concordancia con la pendiente regional. Esto se debe a que las mayores alturas se encuentran al sur de la cuenca, alcanzando los 500msnm, descendiendo hacia el noreste. Esta cuenca drena sus aguas hacia el noreste en concordancia con la pendiente regional. En la cuenca alta del arroyo Langueyú se localiza la ciudad de Tandil situada a unos 220msnm. Los cerros que la limitan y rodean poseen alturas que varían entre los 300 y 500msnm (Marti, 2014).

Según el informe 32 de la CIC (1986), se caracteriza al medio físico en relación a las aguas subterráneas, diferenciándose una unidad primaria acuífera (basamento) de otra permeable porosa clástica. La primera, aflorante en el ámbito serrano como consecuencia del tectonismo sufrido, posee un diaclasamiento que le otorga cierta permeabilidad secundaria, pudiendo constituirse en algunos casos en acuíferos de relativa importancia. Hidrolitológicamente, los depósitos loésicos cuaternarios aflorantes, están constituidos por sedimentos finos limolíticos acuíferos de mediana permeabilidad la cual se ve disminuida localmente por la presencia de tosca y niveles arcillosos.

El flujo por fisuras (permeabilidad secundaria) que en algunos sectores puede alcanzar hasta más de 20 metros de profundidad, facilita la infiltración del agua superficial hasta cierta profundidad donde el cerramiento de las fisuras hace que el agua no infiltre más y escurra en forma horizontal aflorando, en algunos casos, en forma de manantial. Este flujo presenta la ventaja de una rápida recarga al acuífero y una desventaja respecto de la facilidad de la contaminación por actividades antrópicas (Miranda del Fresno, 2009).

## Medio biológico

### 6.5.5 Flora

En el estudio que realizó Frangi; J. (1975) describió las comunidades vegetales presentes en las sierras de Tandil, más específicamente en el grupo Albión (que incluye los cerros de Villa del Lago, La Florida, Las Ánimas, Albión o La Blanca), clasificándolas en 3 tipos de sustratos: a) suelos, b) roquedales y c) cursos de agua, detalladas a continuación (Miranda del Fresno, 2009).

#### a) Comunidades de los suelos serranos:

- Pastizal de flechillas: en esta comunidad dominan las gramíneas de los géneros *Piptochaetium* y *Stipa* (conocidas como flechillas), *Melica*, *Briza* y *Danthonia*. Ocupa la cumbre de los cerros con suelos, los valles y laderas con pendientes superiores, aunque en cerros más bajos pueden hallarse en pendientes medias e inferiores. También acompañan la comunidad plantas rastreras, geófitas, hemicriptófitas, algunas caméfitas y terófitas, gramíneas, entre otras. Posee una alta cobertura vegetal (75 a 100%). Este pastizal se desarrolla sobre suelos caracterizados por no presentar signos de hidromorfismo; pero cuando éstos sí se presentan en suelos más profundos, se desarrollan comunidades más hidrófilas como cardales y pajonales.
- Cardal de *Eryngium paniculatum*: la mayoría de las especies que constituyen esta comunidad también aparecen en el pastizal. Esta comunidad puede considerarse como una variante entre el pastizal de flechillas y el pajonal de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*), con una hidrofilia intermedia entre las comunidades anteriores. Domina y en otros sitios codomina la carda *Eryngium paniculatum*. Esta especie aparece muchas veces acompañada de la carda *Eryngium horridum*. La comunidad se desarrolla sobre laderas de pendiente media y más raramente hacia la pendiente superior. La cobertura vegetal es de 80-100%.
- Pajonal de Paja colorada (*Paspalum quadrifarium*): ésta es la especie dominante, si bien se encuentra acompañada de otras especies (muchas gramíneas del pastizal se encuentran en esta comunidad), a veces se halla en poblaciones casi puras, con una cobertura vegetal de entre el 90 y 100%. Este pajonal se desarrolla en laderas y valles serranos de pendiente media e inferior, en el fondo de los valles y en planicies aluviales de los valles serranos.
- Pajonal- cardal de *Eryngium elegans*: ésta carda es la especie dominante, aunque la *Paspalum quadrifarium* se encuentra asociada a ella. Esta comunidad es considerada

una variante del pajonal de paja colorada que se desarrolla en sitios en los que el suelo se mantiene sobresaturado de agua gran parte del año. La comunidad ocupa lugares con pendiente inferior de algunos valles serranos y la planicie aluvial de los valles. La composición florística es similar a la del pajonal, sin embargo, se nota una menor diversidad que en el pastizal y el pajonal. La cobertura vegetal es muy alta.

- Pajonales de *Cortaderia selloana*: ésta es la especie dominante, conocida como “cola de zorro” o “cortadera”, debido a la presencia de bordes cortantes en sus hojas. Se la encuentra en sitios muy húmedos (como vertientes y cursos de agua), en el fondo de los valles y en las laderas de las sierras, formando muchas veces manchones, de matas altas y densas, en medio del pajonal de paja colorada. Es una comunidad cerrada, con alta cobertura vegetal, monoestratificada. Entre sus matas crecen otras especies, pero dada su discontinuidad y escasez no alcanzan a formar un estrato.
- Arbustal mixto de *Baccharis tandilensis*, *Eupatorium buniifolium* y *Baccharis articulata*: esta comunidad posee un estrato arbustivo y una baja cobertura vegetal (de 25-50%), coodominado por *Baccharis tandilensis* (“chilca”) y *Eupatorium buniifolium* (“chilca uruguaya”), y acompañado por plantas más bajas de *Baccharis articulata* (“carquejilla”). El estrato bajo, está constituido por especies de gramíneas del pastizal y por paja colorada. Se la encuentra sobre laderas y valles serranos de pendiente superior y media, y en laderas muy rocosas puede alcanzar sitios con pendiente inferior. Requiere suelos con humedad intermedia.
- Matorral de *Baccharis tandilensis*: es un estrato arbustivo más cerrado que el anterior. El estrato herbáceo, es poco abierto, y está dominado por la paja colorada. Forma manchones aislados al pie de algunos afloramientos rocosos y escarpas en la parte superior o media de las pendientes de las laderas.
- Arbustales de *Eupatorium buniifolium*: la chilca uruguaya domina el estrato arbustivo, con una cobertura vegetal de 25 a 50%, y el estrato más bajo está dominado por gramíneas de composición variable. Se puede encontrar a esta comunidad en laderas de pendiente media e inferior de algunos cerros altos, sobre diversos tipos de suelo.

b) Comunidades de los afloramientos rocosos serranos: Cuando la altura y la cantidad de roca aflorante superan la de simples rocas aisladas, son llamados roquedales. En ellos se desarrollan comunidades vegetales, como:

- Comunidad de *Eupatorium tweedianum*- *Hysterionica pinifolia*: todas las plantas superiores de los roquedales pertenecen a esta comunidad. Las especies que la caracterizan son *Eupatorium tweedianum*, *Sommerfeltia spinulosa* y *Gamochoeta*

*stachydifolia*; también son acompañadas por cardas, gramíneas, hierbas, helechos, musgos, entre otros. La comunidad presenta algunas diferencias en cuanto a su composición florística en relación a diferencias en los roquedales.

- Comunidades liquénicas: las rocas aflorantes se encuentran cubiertas de líquenes crustáceos, foliáceos (de los géneros *Parmelia*, *Evernia*, *Cladonia*, entre otros) y fruticosos (del género *Usnea*). Estos líquenes pueden estar acompañados de musgos saxícolas.

c) Comunidades de los ambientes acuáticos: En los valles serranos existen pequeños cursos de agua de escasa profundidad, todos temporarios, que en el verano van perdiendo su caudal. Cuando esto ocurre solo queda agua en hoyas o piletas que se forman en las rocas, que siguen desecándose durante el verano. También en torno a estos cursos de agua y piletas se desarrollan algunas comunidades vegetales, entre ellas:

- Juncal de *Scirpus californicus*: esta especie conocida como “junco” (alcanza los 2m por sobre el nivel del agua) es la dominante, puede formar comunidades casi puras o bien estar acompañada por otras especies palustres y/o acuáticas. Dicha comunidad se desarrolla en piletas de agua, que se forman en las rocas.
- Totoral de *Typha latifolia*: esta especie, que se conocen como “totorá”, caracteriza esta rara comunidad (ya que sólo se la encontró en un lugar de las sierras, en una pileta artificial). Esta comunidad es casi pura.
- Vegetación acuática: (si bien esta comunidad incluye al juncal y al totoral, se los excluye para no ser repetitivos). Esta comunidad se desarrolla en los ambientes en los que hay una capa de agua de sumersión permanente o temporaria. Entre las especies dominantes se encuentran: *Hydrocotyle bonariensis* (“redondita de agua”), *Eleocharis viridans* y *Lilaeopsis attenuata*. Donde hay microdomos crece cortadera y paja colorada, entre otras especies. Hacia los bordes de los cursos de agua aparecen plantas radicales emergentes, cuyas hojas flotan sobre la superficie de agua (*Ranunculus flagelliformis*, *Hydrocotyle pusille*, *Hydrocotyle bonariensis*, entre otras). También integran la comunidad algas filamentosas.



### 6.5.6 Fauna

De acuerdo con Llano, M. (2000), dentro de la fauna son muy abundantes los artrópodos, entre ellos los insectos y arácnidos, también batracios, reptiles y ofidios; se destaca el gran número de aves locales y migratorias; y en el ambiente serrano se encuentran mamíferos.

Entre los Insectos cabe destacar: *Namuncuraia Mansosotoi* Fam. *Hemileucidae*, *Heliconisa pagenstecheri*, *Chlrion* (Amobia) *permagnum* *Wwillink* (Hym. *Sphecidae*. d), etc.

Se considera que los reptiles de Tandil pertenecen al orden Squamata y al orden Chelonia; se puede mencionar: yarará, falsa coral, culebra verde, falsa yarará, lagartijas, lagarto overo, etc.

Los anfibios no son muy numerosos, pero se destacan la ranita de zarzal y el sapito Argentino o enano.

Los mamíferos más frecuentes son: mulitas, peludos, cuises, comadrejas, vizcachas, liebres (especie introducida y cuya población se ha visto disminuida), zorros grises y zorrinos.

En cuanto a las aves el ambiente cuenta con martinetas, copetuda, la perdiz chica común, avutardas, chimangos, tijeretas, entre otras; las aves migratorias son los tordos, las golondrinas, y otras (Miranda del Fresno, 2009).

## Medio socioeconómico

### 6.5.7 Caracterización poblacional

La población de Tandil se distribuye en un área urbanizada de unas 4.800 ha. con una densidad promedio de 21hab/ha, aunque ésta varía desde zonas con alta concentración de actividades urbanas (entre 60 y 40hab/ha), hasta otras menos pobladas (entre 17 y 12hab/ha) (Secretaría de Desarrollo Social, Municipio de Tandil: 2004)

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010, la población total de Tandil es de 123871 personas, siendo un 48,36% varones y un 51,64% de mujeres. Si se analizan algunos indicadores de envejecimiento, puede observarse que la población de esta ciudad muestra valores que suponen un interesante grado de avance de este proceso. La Figura 6.5, muestra la pirámide poblacional con claros indicios de envejecimiento. Una base retraída y en decrecimiento; una cúspide que comienza a ensancharse, mostrando una proporción de adultos mayores en crecimiento (Tisnés, 2017).

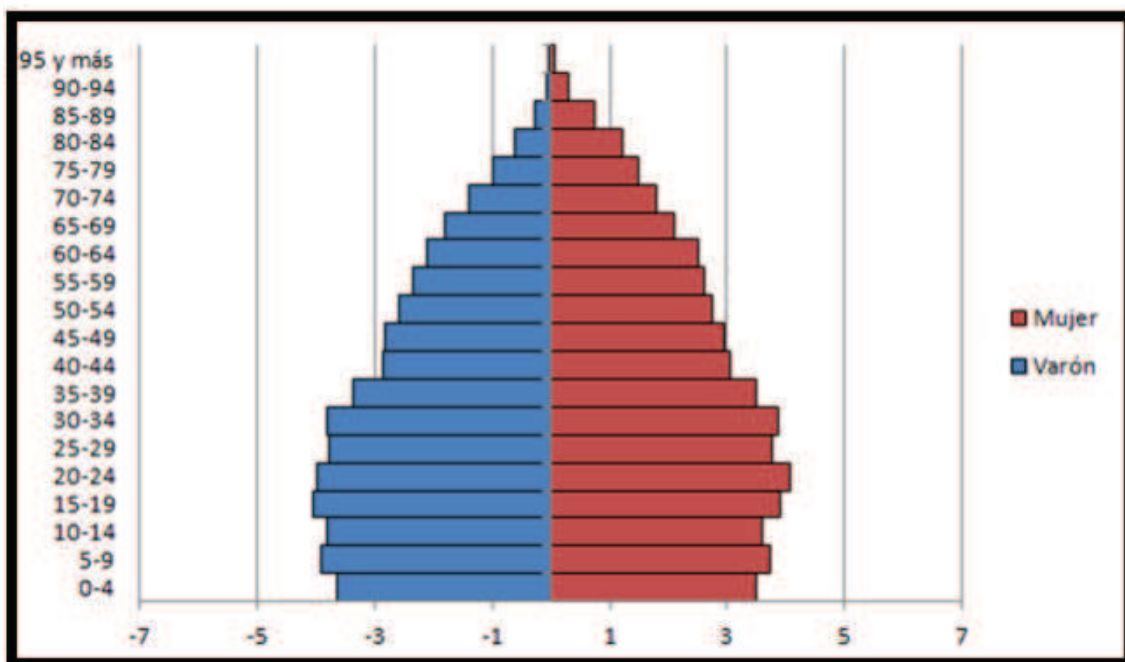


Figura 6.5: Pirámide poblacional de Tandil. Fuente: Tisnés, 2017.

Según los datos del INDEC en el censo del 2010, más de un tercio (40,1%) de los habitantes urbanos del municipio se encontraban ocupados al momento del mismo. Entre los hombres, la tasa de empleo llegaba al 51% mientras que entre las mujeres es del 30,6%.

Los “porcentajes de ocupación según la rama de actividad en la que trabajan”, marcaba para ese año un 5,2% de trabajo en agricultura o ganadería, un 10% en el área de construcción, un 18,5% en el área de comercios y reparaciones y un 7,6 en administración y servicios públicos.

En los datos de ese mismo censo, se reflejó que 1607 hogares, de un total de 43155, presentan condiciones con NBI (Necesidades básicas insatisfechas). Esto equivale a 6807 habitantes del municipio.

### 6.5.8 Actividad económica

La principal actividad económica es la agricultura y ganadería, principalmente «Acopio y Venta de Granos» e «Intermediación de Ganado». Las actividades se dividen en tres sectores; primario, secundario y terciario.

El sector primario se compone de actividades agrícola-ganaderas y de explotaciones mineras. La composición, acorde con la producción de los sub-sectores, es de un 79% correspondiente a las actividades agropecuarias y el 21% restante para la minería.

Entre 1993 y 2003 se observan algunos cambios en la estructura de la economía: ganan peso el sector agropecuario, el manufacturero, y transporte y telecomunicaciones, mientras que pierden peso la explotación de minas y canteras, construcción y el sector de servicios inmobiliarios ([www.econ.unicen.edu.ar](http://www.econ.unicen.edu.ar)).

Se reflejan en una tendencia a la especialización en los cultivos: trigo, maíz, soja y girasol y en la importancia creciente de la soja, y en especial del doble cultivo trigo/soja y trigo/girasol; a la vez que se observa un notable decrecimiento en áreas cosechadas de alpiste, avena y lino.

Es posible determinar cuatro sistemas de producción presentes para el partido de Tandil:

1. Sistema agrícola-ganadero (bovino de carne y ovino): las unidades de este sistema destinan alrededor del 60% de su tierra a la agricultura en que se alterna el trigo con el girasol. El sector ganadero se compone centralmente de vacunos (destinados a la producción de carne) y en menor medida de ovinos.
2. Sistema agrícola-ganadero (bovinos de carne): presenta una distribución del uso del suelo similar a la anterior. En agricultura se destacan los cultivos de trigo, girasol y raíz, al tiempo que en determinadas áreas se detectan cultivos de papa. La ganadería se centra en la invernada bovina sobre pasturas cultivadas (anuales y perennes) y sobre rastrojos.
3. Sistema ganadero-agrícola (bovinos de carne y ovino): se asienta hacia el Oeste del área, y destina casi el 70% de su superficie a la ganadería. En el sector más occidental, la ganadería centralmente bovina de cría e invernada, con participación marginal de la actividad ovina. Allí, la agricultura se compone de trigo, cebada y girasol. Al avanzar hacia el Este, el sistema incrementa la presencia de ovinos, mientras que los cultivos de girasol y trigo ocupan una extensión mayor.
4. Sistema ganadero-agrícola (tambo): la ganadería de tambo y la agricultura se distribuyen por partes iguales la superficie productiva. La base forrajera del tambo son las pasturas perennes y verdeos, también se utilizan rastrojos, aunque en menor medida. La agricultura se basa en el cultivo de maíz, trigo y sorgo granífero.

El tambo es una actividad que ha experimentado una profunda transformación, intenso dinamismo en las últimas décadas y crecimiento de su participación en el ámbito local y nacional.

La cuenca lechera Mar y Sierras, ubicada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, abarca 23 partidos y los principales productores son: Tandil, General Pueyrredón y Balcarce. En Tandil hay 148 tambos que producen unos 600.000L de leche diarios.

La minería ha cumplido un rol fundamental en la organización del espacio del Partido de Tandil dentro de las actividades económicas primarias. Origina directa e indirectamente un encadenamiento de actividades productivas.

Se extraen específicamente granito, lajas y arena de disgregación del granito, en canteras a cielo abierto, muchas de ellas en las proximidades urbanas. El mayor volumen de producción corresponde al granito triturado, cuyo destino principal es la construcción y pavimentación.

En cuanto al sector secundario y terciario, predomina claramente el sector terciario sobre el secundario: al primero corresponde el 78% de las empresas y el 70% del personal.

En el sector secundario, se discriminan sub-sectores como «Fabricación de Bienes» con un 71% por sobre «Electricidad, gas, agua y teléfonos» con el 24% y «Construcción» con sólo el 5%. El 76% de los establecimientos industriales son empresas de hasta 10 empleados. Sin embargo, actividades como «Textiles y Cueros» e «Industria de la Madera», en su totalidad son empresas de hasta 5 empleados.

En orden jerárquico descendente, las actividades en que las empresas tienen hasta 5 empleados son «Imprentas y Editoriales» con el 81% «Productos Alimenticios» con el 68%, «Sustancias Químicas» con el 67%, «Metálicas Básicas» con el 64%, «Productos Metálicos, Maquinarias y Equipos» con el 54% y «Productos Minerales No Metálicos» con el 50%. A su vez, destacan las actividades «Productos Alimenticios» y «Productos Metálicos, Maquinarias y Equipos».

Mientras que el sector terciario, compuesto por los sub-sectores comercio y servicios, presenta el mayor número de personal y de facturación respecto de la actividad económica local en su totalidad. El sector de servicios, el 75% de este sub-sector, medido en función de la facturación anual, se halla concentrado en tres actividades: transporte, servicios financieros y seguros con el 23%, 27% y 25% respectivamente (Marti, 2014).

## 6.6 Identificación de acciones con potenciales impactos ambientales

En base al proyecto en cuestión, se identifican actividades que tengan un potencial impacto ambiental. Luego se analizan los factores ambientales donde estas actividades puedan generar el impacto ambiental mencionado.

Así, se crea una matriz de Leopold donde se analizan los impactos de las actividades en los factores ambientales identificados.

Las actividades y acciones asociadas al proyecto son las expuestas en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1: Actividades y acciones del proyecto con potenciales impactos ambientales. Fuente: Elaboración propia

Etapa del proyecto	Actividades y acciones
Etapa de construcción	Acondicionamiento del terreno
	Transporte de material de construcción
	Excavación de zanjas e impermeabilización
	Construcción de sistema de lixiviados
	Construcción de planta de compost
	Siembra de cortina forestal
Etapa de operación	Descarga y compactación de residuos
	Funcionamiento de planta de compostaje
	Generación de lixiviados
	Generación de gases
	Cobertura y compactación de relleno
	Construcción de sistema de recolección de gases
	Mantenimiento del predio
Etapa de cierre y post-cierre	Cierre y cobertura final de relleno sanitario
	Control y monitoreo post-cierre
	Reacondicionamiento y recuperación del terreno

## 6.7 Matriz de Impactos Ambientales

En base a las actividades y tareas asociadas al proyecto que tienen un potencial impacto ambiental, se crea una matriz de Leopold como se mencionó anteriormente. En esta, se intersecan las tareas y los factores ambientales susceptibles a ser afectados.

Los impactos se caracterizan y valoran de acuerdo a ciertos atributos: impacto positivo o negativo, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto y recuperabilidad. La metodología está explicada en detalle en el Anexo 12.2.

Para comprender mejor la matriz de impacto expuesta a continuación, es necesario conocer el significado de los valores expuestos. En la metodología matricial de impactos ambientales de Vicente Conesa-Vítora en su libro "Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental" (1993), se estandarizaron valores de impactos. La Tabla 6.2 muestra el significado de los resultados.

*Tabla 6.2: Magnitud de los impactos valorizados en la matriz de impactos ambientales. Fuente: Vicente Conesa Fernández-Vítora, 1993.*

Impacto	Valor
Positivos	Mayor a 0
No significativo	$\leq -25$
Moderado	Entre -25 y -50
Severo	Entre -50 y -75
Crítico	$\leq -75$

Solamente se valoraron los impactos de valor negativo, ya que sus valores no resultarían comparables con los positivos.

Las celdas en blanco representan que tales acciones no generan un impacto apreciable sobre los factores intersecados.

La Tabla 6.3 muestra la matriz de valoración impactos realizada.



Tabla 6.3: Matriz de valorización de Impactos Ambientales (Matriz de Leopold)

Factores ambientales		Aire				Suelo		Agua			Biodiversidad			Medio socioeconómico				Valor medio
		Emisión de gases	Material particulado	Generación de olores	Ruido	Calidad del suelo	Erosión	Calidad del agua superficial	Calidad del agua subterránea	Escurrimiento	Flora	Fauna	Paisaje	Generación de empleo	Calidad de vida	Salud y seguridad	Infraestructura de servicios	
Etapa de construcción	Acondicionamiento del terreno		-20								-24	-20	-19	+				-20,8
	Transporte de material de construcción		-22		-21									+				-21,5
	Excavación de zanjas e impermeabilización		-27		-21	-29	-23		-27	-29	-20	-20	-19	+			+	-23,9
	Construcción de sistema de lixiviados							+	+	+				+	+	+		+
	Construcción de planta de compost				-17	+	-17			-23				+			+	-19
	Siembra de cortina forestal										+	+	+	+	+			+
Etapa de operación	Descarga de residuos			-26	-28	-28			-27				-30					-27,8
	Funcionamiento de planta de compostaje	-27		-23		+								+	+	+	+	-25
	Generación de lixiviados	-24		-18					-27									-23
	Generación de gases	-36		-26							-24				-27	-26		-27,8
	Cobertura y compactación de relleno			+		-19	-23			-24								-22
	Mantenimiento del predio												+	+				+
Etapa de cierre y post-cierre	Cierre de relleno sanitario	-24		-24		+	+			+	+	+	+		+	+		-24
	Control y monitoreo post-cierre	+		+			+							+	+			+
	Reacondicionamiento y recuperación del terreno									+		+		+				+
Valor medio		-27,8	-23	-23,4	-21,8	-25,3	-21	+	-27	-25,3	-22	-21,3	-22,7	+	-27	-26	+	

Analizando la matriz, puede verse que los impactos negativos son causados fundamentalmente en las etapas de construcción y operación del relleno sanitario, mientras que el resultado neto de la etapa de cierre es positivo.

Es importante mencionar que incluso los impactos negativos más importantes del proyecto, se clasifican como impactos moderados, y con un margen representativo con respecto a generar un impacto negativo “severo”. Además, la mayoría de los impactos negativos entran en la categoría de “no significativo”.

Particularmente, la generación de gases y la descarga de residuos en el relleno son las operaciones que tienen un potencial mayor de impacto negativo. Es necesario prestar especial atención a estos dentro del plan de gestión ambiental.

## 6.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA)

El PGA es un plan que se ejecuta con el fin de minimizar los impactos ambientales potenciales del proyecto, en cada etapa del mismo.

Se compone de un plan de prevención, de manera de evitar o disminuir los efectos previstos del proyecto sobre el ambiente, y de un plan de mitigación, de forma tal de tener una preparación ante algún factor no contemplado o accidente.

### 6.8.1 Plan de prevención y mitigación

Antes de comenzar con la construcción del proyecto, se recomienda, más allá de la normativa, realizar una audiencia pública con el fin de involucrar a la sociedad en el proyecto y así encontrar el aval social sobre el mismo y escuchar sugerencias y potenciales mejoras para evaluar antes de la implementación.

El Plan de prevención y mitigación se compone de programas y planes específicos para prevenir situaciones riesgosas. En este proyecto no se desarrollarán estos programas específicos, sino que se darán lineamientos para realizarlos.

Durante la etapa de construcción del relleno sanitario se proponen las siguientes medidas de prevención:

- Realizar una capacitación a todo el personal (obligatoria) y los vecinos (opcional) que deseen participar sobre las normativas que deben cumplimentarse durante la obra. En el caso de que se busque objetivos más ambiciosos que los determinados por la normativa, explicitarlo durante la capacitación.
- Capacitar y controlar de forma exhaustiva todos los requisitos en materia de seguridad e higiene de la Ley de Riesgos de Trabajo (N°24.557) a todos los trabajadores de la etapa de construcción.
- Capacitar a los trabajadores en materia de lucha contra incendios y primeros auxilios.
- Realizar mantenimiento periódico a la maquinaria utilizada con el fin de emitir la menor cantidad de gases y material particulado posible.
- Al finalizar las tareas diarias, regar levemente la tierra removida de las excavaciones con el fin de evitar la generación de material particulado por el viento.
- Respetar los horarios estipulados y expuestos en la audiencia pública, a fin de no generar molestias en los domicilios cercanos.
- Minimizar lo máximo posible ruido y vibraciones.
- Colocar cartelería de todos los riesgos que existan tanto dentro de la obra como fuera de la misma.
- Acopio de tierra y materiales de forma tal que no se perjudiquen los drenajes de las aguas pluviales.
- Orden y limpieza constante durante la obra.

Para la etapa de operación del relleno sanitario, se proponen las siguientes iniciativas:

- Regar los caminos tanto externos como internos del predio del relleno a fin de evitar la generación de material particulado.
- Se realizará monitoreo de la velocidad de los camiones a fin de no generar accidente de tránsito.
- La zona de descarga de residuos a disponer en el relleno será rodeada por terraplenes de forma de minimizar que el viento propague los residuos de baja densidad a otras zonas.

- Para evitar olores generados en la planta de compostaje, se colocará a la salida de los gases del túnel un humidificador, que eliminará partículas que arrastren los gases, absorberá parte de los gases y los humedecerá para luego hacerlos pasar por un biofiltro. Allí los gases transitarán por un lecho de biomasa y los microorganismos depurarán los compuestos generadores de olor.
- Los gases emitidos por el relleno sanitario deberán utilizarse para la generación de energía, o mismo quemarse en antorcha con el fin de reducir el impacto de los gases de efecto invernadero.

En la etapa de cierre, deberá revegetarse la superficie utilizada, y procurar restaurar las condiciones iniciales del área.

### 6.8.2 Plan de contingencias

El Plan de Gestión Ambiental debe contar con un plan que cuente con respuestas delineadas ante eventuales emergencias o accidentes que puedan ocurrir bajo las condiciones y los procesos de cada etapa del proyecto.

Es por ello que se plantean las siguientes medidas:

- ✓ Ante un caso de incendio se desarrollará un plan especial de evacuación de todo el personal en el que deberán cumplirse los siguientes principios:
  - Se capacitará a todo el personal que participará en cada etapa del proyecto, incluyendo los choferes de los camiones ingresantes. Sin la firma de asistencia a esta capacitación, no se permitirá el acceso al predio. Se entregará una hoja de emergencias con el procedimiento a realizar a todas las personas que ingresen al predio del relleno sanitario a realizar tareas administrativas, académicas u otras visitas.
  - La persona que detecta la situación de incendio deberá automáticamente comunicarlo al jefe de brigadas- al administrador del proyecto en el caso de la fase de construcción; al ingeniero a cargo en el caso de la operación; y al jefe de monitoreo en el caso de ocurrir durante la etapa de cierre.

- Inmediatamente se dará voz a la alarma contra incendios, lo que anunciará la evacuación instantánea de todas las personas que se encuentren dentro del predio, sin importar las tareas que se encuentren desarrollando.
- Si la magnitud del incendio es menor (esto estará determinado en las capacitaciones), determinados brigadistas (personas del personal de trabajo que serán especialmente capacitadas para este tipo de emergencias) se encargarán de controlarlo y apagarlo con medios internos.
- En caso de que el incendio sea mayor, el jefe de brigadas será quien se comunique con el cuerpo de bomberos.
- Los brigadistas guiarán a todo el personal al punto de encuentro.
- Una vez apagado el incendio se vigilará el área del flagelo durante un tiempo prudencial a fin de controlar cualquier vestigio de reinicio del fuego. El control y evaluación permanente de los equipos de seguridad y los implementos de protección personal, gabinetes, extintores y sistema de detección de incendios estará a cargo de los propietarios los cuales realizarán controles mensuales.
- ✓ Ante un derrame de combustibles o químicos, se contará con un procedimiento específico que seguirá los siguientes lineamientos:
  - Aislar las áreas en las cuales exista presencia de combustible y/o químicos derramados, con cintas o estacas y colocar letreros de seguridad.
  - Análisis físico-químico del contaminante.
  - En base al análisis, se busca y se ejecuta la mejor manera de tratarlo.
- ✓ En caso de accidentes con lesiones humanas, se comunicará automáticamente con el servicio de emergencias contratado, cuyo médico a cargo determinará cómo proseguir con el lesionado. En el caso de que sea una lesión de primeros auxilios, podrá realizarse la curación por el médico de emergencias y el trabajador continuará trabajando normalmente. Pero siendo una lesión más grave, el lesionado se trasladará a un hospital donde se diagnosticará y tratará al paciente.
- ✓ También se desarrollará un plan específico para emergencias meteorológicas, siempre priorizando la seguridad de las personas y del medio ambiente.

Además, se contará con un sistema de monitoreo de los gases generados en el relleno, del suelo del predio, de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas, donde se realizará un

muestreo semestral y se enviarán las muestras a laboratorio con el fin de evaluar los parámetros específicos de contaminación en cada medio.

## 6.9 Conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental

Como conclusión del EsIA puede resumirse que el proyecto es viable y compatible con el ambiente. Los impactos potenciales sobre el ambiente son entre leves y moderados, y teniendo en cuenta la envergadura del proyecto de un relleno sanitario para una ciudad mediana como lo es Tandil, el escenario es positivo. Además, con respecto a la gestión del relleno sanitario actual, se verá una amplia mejoría en lo que respecta al funcionamiento, se hará funcionar una planta de compost que reducirá en gran proporción la tasa de los residuos dispuestos en relleno sanitario, y así se logrará una mejor eficiencia que la actual.

El Plan de Gestión Ambiental resulta imperioso para minimizar los potenciales impactos descritos y proporcionar una mejora significativa en la gestión de los residuos sólidos urbanos actual, sin perjudicar el ambiente del área donde el proyecto tiene influencia.



## 7. Presupuesto y análisis económico

En este apartado se expresan los costos del presente proyecto. Se enfatiza en que la administración de un presupuesto destinado a la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en Tandil debería concentrarse en un área gubernamental y no en diversas áreas como ocurre actualmente. Esto apunta a lograr una eficiencia mayor en el capital invertido.

Se divide el análisis económico realizado en el costo de la inversión inicial y en el costo de funcionamiento del sistema planteado, incluyendo las ventas de materiales reciclados y el compost generado en la planta de compostaje.

Los costos se establecen en dólares americanos (US\$) al precio del Banco de la Nación Argentina al día 28/10/2019: **US\$ 1 = AR\$65.**

### 7.1 Inversión inicial

A continuación se detalla el análisis económico realizado para la inversión inicial del proyecto (Tabla 7.1).

Los costos fueron consultados vía mail en algunos casos, tanto como extraídos de páginas web especializadas en calcular costos de determinadas operaciones y de trabajos actuales.

Se calcula un costo de inversión inicial total de USD 12.418.292. El máximo costo observado en el presupuesto proviene de la inversión en la planta de compostaje. Como se detalló en la sección 5.7 del proyecto, la implementación de esta planta basada en residuos sólidos domiciliarios separados en origen, con un producto de calidad agrícola, es un proyecto ambicioso y de la misma forma altamente costoso. Sin embargo, el mercado de compost está creciendo aceleradamente en Argentina, y realizando una buena comercialización del producto obtenido en la planta, el retorno de la inversión será alto, ya que la venta de compost producido generará amplios márgenes de ganancia, acortando el período de amortización de la inversión sobre la planta. Esto puede observarse en la Tabla 7.2 de Costos de funcionamiento.

Tabla 7.1: Costos de inversión inicial del proyecto de GIRSU en Tandil

Inversión inicial								
Rubro GIRSU	Rubro específico	Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Importe (USD)	Importe rubro (USD)
Generación, Separación en origen y Disposición inicial	Contenerización	1.1	Contenedores metálicos 3m3	Unidades	164	460	75440	75440
Recolección	Reciclables	2.1	Cajas Econovo p/camiones	Unidades	8	12300	98400	767960
		2.2	Brazo mecanizado Econovo	Unidades	8	3070	24560	
	Compostables y basura	2.3	Camiones Usimeca Angra II	Unidades	15	43000	645000	
Clasificación y tratamiento de Reciclables	Punto Limpio Sur	3.1	Compra de terreno	m2	6000	20	120000	420741
		3.2	Construcción de nave	m2	300	111	33231	
		3.3	Caminos internos	m2	200	50	10000	
	Maquinaria Puntos Limpios	3.4	Báscula camionera	Unidades	4	5100	20400	
		3.5	Tolva receptora	Unidades	4	3800	15200	
		3.6	Cinta de alimentación Residuos Di-3R Modelo Di3r.c.	Unidades	4	7660	30640	
		3.7	Abridor de bolsas Modelo Di3r.ab08 3t/h (PL Centro)	Unidades	1	7210	7210	
		3.8	Abridor de bolsas Modelo Di3r.ab08 2,5t/h (PL S, E y O)	Unidades	3	7100	21300	
		3.9	Cinta de clasificación Modelo Di3r.cc con plataforma y contenedores	Unidades	4	10030	40120	
		3.10	Contenedores final de clasificación	Unidades	12	300	3600	
		3.11	Pensas hidráulicas Modelo Di3r.com.m.	Unidades	12	9920	119040	
Compostaje y restos de poda	Restos de poda	4.1	Máquina chipeadora Econovo 150XP	Unidades	1	6000	6000	7391000
		4.2	Autoelevador con pala cargadora	Unidades	1	34000	34000	
	Compost	4.3	Construcción de nave	Unidades	1	7280000	7280000	
		4.4	Caminos internos					

		4.5	Oficina de control y vigilancia (con 2 baños y kichenette)					
		4.6	Báscula camionera					
		4.7	Hormigonado de zonas de descarga					
		4.8	Construcción de túneles					
		4.9	Acondicionamiento de terreno p/ pilas de maduración					
		4.10	Autoelevador con pala cargadora		1	40000	40000	
		4.11	Máquina de volteo modelo Gujer SG 4000		1	25000	25000	
		4.12	Trómel de afino de Bianna Recycling, modelo TR2055. 35m <sup>3</sup> /h		1	6000	6000	
Relleno sanitario	Emplazamiento	5.1	Compra de terreno	m2	324812	10	3248120	3719782
	Maquinaria RS	5.2	Tractor oruga	Unidades	1	23000	23000	
	Construcción del relleno	5.3	Alambrado perimetral	m2	2220	8	17760	
		5.4	Limpieza de terreno	m2	324812	0,2	74957	
		5.5	Caminos internos	m2	9720	17	165240	
		5.6	Excavación de 1er módulo	m3	3743	16	59888	
		5.7	Distribución y compactación 1er módulo	m2	14078	5	65625	
		5.8	Membrana PEAD 2mm	m2	17320	2,4	41568	
		5.9	Geotextil	m2	17320	0,5	8660	
		5.10	Piedra bola	m3	1470	1,2	1764	
		5.11	Tubo de HDPE (diámetro: 0,6m)	m	480	5	2400	
		5.12	Tubería de PVC de colección de lixiviados	m	2700	4	10800	
Ingeniería de proyectos y mano de obra de construcción	Ingeniería	6.1	Proyecto de ingeniería básica	gl	1	2000	2000	43370
		6.2	Ingeniería de detalle	gl	1	4000	4000	
		6.3	Estudio de factibilidad	gl	1	1500	1500	
		6.4	Planos y permisos de obra	gl	1	1200	1200	

Mano de obra de construcción	6.5	Operarios de construcción de relleno sanitario, planta de compost y puntos limpios	gl	36	420	15120	
	6.6	Personal técnico especializado	gl	1	2550	2550	
	6.7	Supervisores de obra	gl	4	1500	6000	
Capacitaciones	6.8	Capacitaciones de seguridad e higiene de obra	gl	6	1000	6000	
Varios	6.9	Varios	gl	1	5000	5000	
Costo total neto							USD 12.418.292

## 7.2 Costos de funcionamiento e ingresos por ventas de productos

En la Tabla 7.2 se muestran los costos de operación y funcionamiento de la gestión a implementar con el presente proyecto, como los ingresos por ventas generadas con los productos de las plantas construidas. En los costos se excluyen los impuestos y los montos expuestos en la tabla son anuales.

Puede observarse que las ventas, sobre todo la del compost, genera ganancias para el municipio capaces de solventar el gasto de funcionamiento de la gestión y además generar ganancias para el mismo. Para lograr esto es necesario trabajar arduamente sobre la comercialización del compost, debido a que es preciso comercializarlo en su totalidad para lograr estas ganancias mencionadas.

Tabla 7.2: Costos de operación y funcionamiento, y ventas de productos de los Puntos Limpios y de la Planta de Compostaje.

Costos de operación y funcionamiento - Ventas de productos						
Item	Rubro	Unidades	Cantidades	Costo unitario (USD/año)	Importe (USD/año)	Importe rubro (USD/año)
Personal						
1.1	Inspectores	Personas	4	6092	24369	763725
1.2	Administrativos (planta de compostaje y Punto Limpio Sur)	Personas	3	7300	21900	
1.3	Recolección y transporte					
1.3.1	Choferes	Personas	44	5500	242000	
1.3.2	Asistentes de recolección	Personas	40	4500	180000	
1.3.3	Mantenimiento camiones	Personas	6	4500	27000	
1.4	Personal de Puntos Limpios					
1.4.1	Operarios PL	Personas	36	3690	132840	
1.4.2	Supervisores PL	Personas	4	5538	22154	
1.4.3	Mantenimiento PL	Personas	4	4615	18462	
1.5	Personal relleno sanitario					
1.5.1	Supervisor de planta de compso	Personas	1	5538	5538	
1.5.2	Operarios de Planta de Compost	Personas	8	4615	36923	
1.5.3	Chofer maquinista	Personas	2	5500	11000	
1.5.4	Vigilancia	Personas	4	5077	20308	
1.5.5	Ingeniero civil RS	Personas	1	11077	11077	
1.5.6	Encargado del servicio	Personas	1	5538	5538	
1.5.7	Operario de relleno sanitario	Personas	1	4615	4615	
Insumos						
2.1	Bolsas de consorcio	Unidades	5760000	0,08	460800	914400
2.2	Bolsas biodegradables de PLA	Unidades	5040000	0,09	453600	
Consumo de combustible						
3.1	Recolección Reciclables	Litros de Diesel	4001	0,9	3601	47838



3.2	Recolección Basura y Compostables	Litros de Diesel	49152	0,9	44237	
Consumo de energía eléctrica						
4.1	Consumo en relleno sanitario	kWh	12000	0,06	720	61320
4.2	Consumo en planta de compost	kWh	960000	0,06	57600	
4.3	Consumo en Puntos Limpios	kWh	50000	0,06	3000	
Ventas						
5.1	Compost	m3	28272	-62	-1752864	-1817572
5.2	Tetra briks	kg	435000	-0,025	-10708	
5.3	Cuota mensual de retiro papel y cartón	Cuota	12	-2000	-24000	
5.4	Cuota mensual de retiro PET	Cuota	12	-2500	-30000	
Costo total operativo						-USD 30.289

### 7.3 Viabilidad y financiamiento

Como ya se ha mencionado a lo largo de la descripción del proyecto, se trata de un proyecto ambicioso, con un desarrollo potencial poco común en la República Argentina. Esto implica, como se ve en la Tabla 7.1, una gran inversión, la cual no podría realizarse con los fondos del municipio. Es por eso que se buscaron alternativas de financiamiento que hagan este proyecto viable económicamente.

En primer lugar, se cuenta con la alternativa de un financiamiento nacional que otorga el Estado argentino en forma de transferencia de fondos de carácter no reembolsable contra rendición de cuentas al municipio, la cual proviene de fondos del tesoro nacional directo.

El objetivo de este financiamiento, gestionado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable es brindar asistencia técnico financiera a municipios de todo el país a los fines de lograr una gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos, a través del desarrollo de proyectos en lo referente a:

- La elaboración y desarrollo de Planes Integrales de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos
- La ejecución de proyectos para la eliminación de basurales a cielo abierto.
- La construcción de rellenos sanitarios o la ampliación de rellenos existentes.
- El montaje de plantas de separación y reciclaje de residuos sólidos urbanos y la adquisición de equipamiento para la misma.
- La adquisición de vehículos destinados a la recolección de residuos y maquinaria asociada a la adecuada gestión de los mismos.
- El desarrollo y ejecución de programas de gestión y capacitación en materia de residuos.

El municipio es el encargado de ejecutar el Proyecto asumiendo las responsabilidades legales por el mismo, el cual deberá realizarse en un todo de acuerdo con la legislación local vigente. A su vez, el municipio debe rendir cuentas de los fondos invertidos en tiempo y forma, así como realizar informes parciales y finales de ejecución del proyecto según lo establecido en el convenio.

En segundo lugar, se plantea como opción de financiamiento un préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) denominado "Préstamo BID 1868/OC-AR Suprograma 1", exclusivo para la gestión de residuos sólidos urbanos en municipios turísticos de Argentina.

El objetivo de este préstamo es apoyar la sustentabilidad ambiental del turismo en municipios turísticos del país. Financiar los proyectos que implementen soluciones técnicas, económicas, ambientales y financieramente viables; que fortalezcan las capacidades de los municipios para que puedan ejercer efectivamente la gestión de RSU y que amplíen la conciencia y participación de las comunidades locales en esta materia.

Las obras y acciones de fortalecimiento que financia el Programa son las siguientes:

- Realización de Estudios de Factibilidad y Proyectos Ejecutivos.
- Construcción de Estaciones de Transferencia (ET) y/o Plantas de Separación de RSU (PS).
- Saneamiento de basurales a cielo abierto existentes.
- Construcción o ampliación de Rellenos Sanitarios (RS) para la Disposición Final de RSU.
- Acciones de Fortalecimiento Institucional y de Comunicación y Difusión Social.

Teniendo en cuenta estas opciones de financiamiento, se concluye que el proyecto es viable y dados los costos e ingresos de funcionamiento expresados previamente, también se considera sostenible en el tiempo. Es de suma importancia su ejecución para minimizar los impactos de los Residuos Sólidos Urbanos en el ambiente y en la sociedad.

## 8. Memoria de cálculo

### 8.1 Cálculo de proyección poblacional (Método: Tasa decreciente)

En este método, la tasa anual a emplear se define en base a un análisis de las tasas medias anuales de los últimos dos períodos intercensales, es decir, se toman como punto de partida los valores extraídos de los últimos tres censos del INDEC. Se describe con la siguiente ecuación (**Ecuación 13**):

*Ecuación 13*

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

$i$  es la tasa media de crecimiento anual durante el período de  $n$  años, mientras  $P_1$  es la población al comienzo de ese período intercensal y  $P_2$  la población al final del mismo.

Para estimar la población en el año  $n$ , se utiliza la **Ecuación 14**:

*Ecuación 14*

$$P_n = P_0(1 + i)^n$$

$P_0$  es la población base, la cual generalmente corresponde al último censo. Y para escoger la tasa media de crecimiento anual se calcula entre los dos períodos intercensales que se forman a partir de los datos de los últimos 3 censos. Es decir,  $i_1$  se calcula en base a las poblaciones de los censos de 1991 ( $P_1$ ) y 2001 ( $P_2$ ):

$$i_1 = \left( \sqrt[10]{\frac{108109}{101228}} - 1 \right) = 0,0066$$

$$i_2 = \left( \sqrt[9]{\frac{123343}{108109}} - 1 \right) = 0,0147$$

Luego, se comparan las tasas  $i_1$  y la tasa  $i_2$ . Si  $i_2$  es mayor a  $i_1$ , se toma el promedio de ambas. En el caso de que  $i_1$  sea mayor a  $i_2$  se adopta la tasa  $i_2$ . En este caso, se toma el promedio de ambas, es decir:  $i_{\text{promedio}} = 0,0107$ .

De esta forma, se calcula por medio de la **Ecuación 14**, que la población estimada para el año 2039 es de **167.831 habitantes**.

A continuación, se muestra una tabla de proyección poblacional (Tabla 8.1):

*Tabla 8.1: Proyección de la población bajo el método de tasa decreciente.*

Año	Población (hab)
2019	135715
2020	137164
2021	138628
2022	140108
2023	141604
2024	143116
2025	144644
2026	146188
2027	147749
2028	149327
2029	150921
2030	152532
2031	154161
2032	155807
2033	157470
2034	159152
2035	160851
2036	162568
2037	164304
2038	166058
2039	167831
2040	169623
2041	171434

## 8.2 Rutas de Recolección

En las rutas de recolección de reciclables:

3 Rutas de recolección por zonas asignadas a cada Punto Limpio.

Para el la estimación del tiempo de cada ruta se realiza el siguiente cálculo:

*Ecuación 15*

$$**Tiempo total (hs) = Recorrido + Recolección contenedores + Descarga**$$

Para el recorrido se calcula la distancia (km)/velocidad (km/h).

La recolección de contenedores es

*Ecuación 16*

$$**t. de recolección = \frac{2 \text{ min}}{\text{contenedor}} \times \text{cantidad de cont.}**$$

Y el tiempo de descarga se toma como 30 minutos.

En la Tabla 8.2, que se muestra a continuación, se exponen los tiempos calculados para cada ruta de recolección de Reciclables:



Tabla 8.2: Tiempos de duración de las rutas de recolección para la corriente de Reciclables.

Rutas de recolección									
Punto Limpio	Ruta	Distancia (km)	Velocidad promedio (km/h)	Recorrido (min)	Tiempo de recolección por contenedor (min)	Cantidad de contenedores	Recolección de contenedores (min)	Tiempo de descarga (min)	Tiempo Total (min)
Punto Limpio Centro	Ruta 1 Centro	9,9	25	23,76	2	15	30	30	83,76
	Ruta 2 Centro	12,3	25	29,52		14	28		87,52
	Ruta 3 Centro	12,2	25	29,28		13	26		85,28
Punto Limpio Norte	Ruta Norte 1	13,4	30	26,8		16	32		88,8
	Ruta Norte 2	9,36	30	18,72		13	26		74,72
	Ruta Norte 3	22,9	40	34,35		14	28		92,35
Punto Limpio Oeste	Ruta Oeste 1	15,9	40	23,85		14	28		81,85
	Ruta Oeste 2	8,3	30	16,6		11	22		68,6
	Ruta Oeste 3	12,2	30	24,4		16	32		86,4
Punto Limpio Sur	Ruta Sur 1	13,1	30	26,2		16	32		88,2
	Ruta Sur 2	5,2	25	12,48	9	18	60,48		
	Ruta Sur 3	14,8	30	29,6	14	28	87,6		

### 8.3 Diseño de reactor de descomposición de compost

Para dimensionar el reactor en túneles de la fase de descomposición del compost, se calcula la cantidad de materia orgánica y restos de poda proyectada para el año 2039:

Proyección de habitantes a 2039: **167.831**

GPP: se asume que la generación por persona se mantiene en **1,1kg/persona.día**

Esto proyecta un total de generación de todo tipo de residuos de **184.614 kg/día**.

Además, se asume que la distribución en la generación de residuos también se mantiene constante:

- MO: 53,8% (**99.322 kg/día**)
- Restos de poda privados: 2,79% (**5.151 kg/día**)
- Restos de poda públicos (no se cuenta con datos, se estima el valor): **2000kg/día**

*Ecuación 17*

$$MO + RdPPr + RdPPub = 106,5tn/día$$

La densidad de los materiales ingresados al proceso de compostaje varía entre 450kg/m<sup>3</sup> al inicio de la descomposición hasta 700kg/m<sup>3</sup> al final de la misma. Para realizar los cálculos de dimensionamiento se toma el valor medio de **550kg/m<sup>3</sup>**, teniendo en cuenta que siempre se dejará un margen para un máximo de volumen. Con este dato, es posible calcular el volumen necesario para el reactor:

*Ecuación 18*

$$Volumen\ de\ pila = 106,5 \frac{tn}{día} \div 0,55 \frac{tn}{m^3} = 194m^3$$

En este punto se toma en cuenta una diferencia entre el alto (profundidad) de la pila, y el alto del reactor. Se toman valores estándar para el alto de los túneles (5m de altura) y para el alto de la pila (3m). Además, el ancho del túnel también tiene un valor estándar (5m), ajustando la longitud a la capacidad de cada planta (Garrido Ibáñez, 2015).

Entonces, se calcula la superficie necesaria para el reactor, tomando la altura de la pila.

*Ecuación 19*

$$Superficie = 194m^3 \div 3m = 64,5m^2$$

Las dimensiones de la pila y del reactor, serán las siguientes:

Tabla 8.3: Dimensiones del reactor de descomposición y de la pila.

Dimensiones	Medidas Reactor (m)	Medidas Pila (m)
Altura	5	3
Ancho	5	5
Largo	13	13

El túnel no se llena hasta el techo, sino que se deja un espacio vacío por encima de la pila, para colocar el sistema de rociado de agua y la captación de los gases del túnel.

Esta planta trabajará todos los días de la semana. El tiempo de residencia

- Tiempo de residencia: **14 días**
- Numero de túneles: **14** (1 por día)
- Período de carga/descarga del túnel: 1 túnel al día
- Material de construcción: hormigón.
- Puertas estancas y aisladas térmicamente, para no dejar salir la energía ni los gases.

## 8.4 Diseño del Relleno Sanitario

### 8.4.1 Dimensionamiento del Relleno Sanitario

El relleno sanitario que se diseña es bajo el método de trinchera o zanja.

Para este diseño se considera todo el municipio de Tandil, incluyendo poblados y caseríos rurales, fuera de las áreas periurbanas. Esto se debe a que el relleno tendrá una cobertura de todo el Municipio. Se consideran los siguientes residuos:

- Corriente de Basura de las áreas urbanas y periurbanas
- Rechazos de la Planta de clasificación de Reciclables
- Rechazos de la Planta de Compost

Lo primero que debe tenerse en cuenta es la proyección poblacional. Debido a que la utilización de esta nueva parte del relleno comienza a utilizarse en 2021, y su diseño es con una proyección a 20 años, se diseña hasta el año 2041 (observar Tabla 8.1).

Además, la recolección de estos residuos se realiza los 7 días de la semana, motivo por el cual la tasa de generación será igual a lo recibido diariamente en el relleno sanitario.

La Producción Diaria de Residuos (PDS) se calcula con la **Ecuación 20**:

*Ecuación 20*

$$PDS = PDS\ BAS + PDS\ COMP + PDS\ REC$$

Entonces, se calcula el PDS de cada corriente. Para ellos es necesario remarcar que:

- GPP Basura=0,2kg/día.hab
- GPP Reciclables=0,29kg/día.hab
- Rechazo Reciclables: El 20% de lo ingresado a las plantas, tomando esto como la totalidad de lo generado.
- Rechazo de Planta de Compostaje: El 20% de lo ingresado en la etapa de afino. Se calcula diferente a las otras dos corrientes debido a la masa que se pierde durante el proceso de compostaje.

Las siguientes ecuaciones muestran los cálculos para cada corriente:

*Ecuación 21*

$$PDS\ BAS \left( \frac{Kg}{día} \right) = GPP\ BAS \left( \frac{Kg}{hab. día} \right) \times Población(hab)$$

*Ecuación 22*

$$PDS\ REC \left( \frac{Kg}{día} \right) = GPP\ REC \left( \frac{Kg}{hab. día} \right) \times Población(hab) \times 0,2$$

*Ecuación 23*

$$PDS\ COMP \left( \frac{Kg}{día} \right) = Masa\ que\ ingresa\ al\ afino \left( \frac{kg}{día} \right) \times 0,2$$

Luego, la sumatoria de estos resultados se multiplica por 1,3 para estimar un margen máximo de aporte al relleno, dando como resultado el denominado AMD (Aporte Máximo Diario), y luego se calcula el AMA (Aporte Máximo Anual), que es el valor de AMD multiplicado por los 365 días del año.

De esta forma se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4: Cantidades de residuos a recibir en el Relleno Sanitario.

Año	Población (hab)	Generación Basura (kg/día)	Rechazo Compost (kg/día)	Rechazo Reciclables (kg/día)	Aporte Máximo Diario + 30% (t/día)	Aporte Máximo Anual (t/año)
		PDS BAS	PDS C	PDS REC	AMD	AMA
2021	138628	27725,6	12217	8040	62,4	22768
2022	140108	28021,6	12347	8126	63,0	23011
2023	141604	28320,8	12479	8213	63,7	23257
2024	143116	28623,2	12612	8301	64,4	23505
2025	144644	28928,8	12747	8389	65,1	23756
2026	146188	29237,6	12883	8479	65,8	24009
2027	147749	29549,8	13021	8569	66,5	24266
2028	149327	29865,4	13160	8661	67,2	24525
2029	150921	30184,2	13300	8753	67,9	24787
2030	152532	30506,4	13442	8847	68,6	25051
2031	154161	30832,2	13586	8941	69,4	25319
2032	155807	31161,4	13731	9037	70,1	25589
2033	157470	31494	13877	9133	70,9	25862
2034	159152	31830,4	14025	9231	71,6	26139
2035	160851	32170,2	14175	9329	72,4	26418
2036	162568	32513,6	14326	9429	73,1	26700
2037	164304	32860,8	14479	9530	73,9	26985
2038	166058	33211,6	14634	9631	74,7	27273
2039	167831	33566,2	14790	9734	75,5	27564
2040	169623	33924,6	14948	9838	76,3	27858
2041	171434	34286,8	15108	9943	77,1	28156



Luego, debe calcularse el volumen que se requiere anualmente para el relleno. Este es el cálculo fundamental para el diseño del mismo. Debido a la maquinaria avanzada que se plantea para este relleno y teniendo en cuenta el relevamiento realizado en el relleno sanitario actual, se toma una densidad de los residuos compactados de  $0,6t/m^3$ .

Entonces, se divide el AMA por la densidad tomada, para obtener el volumen a disponer anual necesario para los residuos (VD anual). Esto se ve en la **Ecuación 24**:

$$\text{Ecuación 24}$$
$$VD \text{ anual } \left( \frac{m^3}{año} \right) = \frac{AMA \left( \frac{tn}{año} \right)}{\rho \left( \frac{tn}{m^3} \right)}$$

Sin embargo, este volumen no contempla el material de cobertura del relleno, el cual se calculará como el 20% del VD anual. El resultado del VD anual con el incremento del material de cobertura es el Volumen por Año Requerido (VAR), mostrado en la Tabla 8.5.

Luego, se calcula el Área del Relleno Sanitario (ARS), tomando una profundidad de 4m, ya que se toma la profundidad del acuífero a 6m, que es la profundidad a la que se encuentra la napa superficial en Gardey. Esto cumple con la normativa e incluso aumenta el margen para evitar inconvenientes.

Para estimar el área total necesaria, se considera un 20% extra de terreno para construir las obras complementarias (comedor, instalaciones médicas, baños, instalaciones de vigilancia, balanzas para pesar los camiones entrantes, estacionamientos para la maquinaria pesada, plantas de tratamiento de lixiviados y planta de compostaje). Aunque algunas de estas instalaciones ya están construidas dentro del predio del relleno, se estima a nivel estándar este 20%.

Entonces,

$$\text{Ecuación 25}$$

$$\mathbf{ARS \text{ TOTAL} = 1.20 \text{ ARS}}$$

Los resultados se muestran en la Tabla 8.5:

Tabla 8.5: Volumen y área requeridos para el Relleno Sanitario.

	Población (hab)	Volumen final (m3)	Superficie (m2)	Superficie (has)	Superficie total (has)
		VAR	ARS	ARS	ARS Total
2021	138628	45536	11384	1,14	1,37
2022	140108	46022	11505	1,15	1,38
2023	141604	46513	11628	1,16	1,40
2024	143116	47010	11752	1,18	1,41
2025	144644	47512	11878	1,19	1,43
2026	146188	48019	12005	1,20	1,44
2027	147749	48532	12133	1,21	1,46
2028	149327	49050	12262	1,23	1,47
2029	150921	49574	12393	1,24	1,49
2030	152532	50103	12526	1,25	1,50
2031	154161	50638	12659	1,27	1,52
2032	155807	51178	12795	1,28	1,54
2033	157470	51725	12931	1,29	1,55
2034	159152	52277	13069	1,31	1,57
2035	160851	52835	13209	1,32	1,59
2036	162568	53399	13350	1,33	1,60
2037	164304	53969	13492	1,35	1,62
2038	166058	54546	13636	1,36	1,64
2039	167831	55128	13782	1,38	1,65
2040	169623	55717	13929	1,39	1,67
2041	171434	56312	14078	1,41	1,69
Total		1065593		Total	32

Para finalizar el dimensionamiento, se diseñarán las zanjas y las celdas.

La vida útil de la zanja (t) debe ser de 30 a 90 días. A efectos de calendario, consideramos más fácil de monitorear las zanjas definiendo una vida útil de estas de 30 días (1 mes), y así generar 12 zanjas por año.

Conociendo entonces cuantos residuos llegan al relleno al día (AMD) y la vida útil de las zanjas, definimos el volumen de estas como:

Ecuación 26

$$V_{ZANJA} = \frac{t * AMD * MC}{\rho}$$

Donde:

$V$  zanja: Volumen de la zanja ( $m^3/mes$ )

$t$ : Vida útil de la zanja (30 días)

AMD: Aporte máximo diario de desechos sólidos ( $kg/día$ )

MC: Material de cobertura definido anteriormente como el 20% del volumen de desechos sólidos compactados.

$\rho$ : Densidad de residuos sólidos recién compactados ( $kg/m^3$ ).

Conocida la Profundidad de zanja y para evitar el acarreo a larga distancia de los desechos y el material de cobertura, se debe define un ancho de zanja de 6m, tomando en cuenta el ancho de los equipos a utilizar en el relleno (camiones de descarga, retroexcavadores), lo que implica buenos rendimientos de trabajo, de tal manera que puede ser planificada la operación dejando un espacio para la acumulación de la tierra y otro para la descarga de los residuos sólidos.

Entonces, conociendo el volumen, la altura y el ancho de la zanja se calcula el largo y el área de la misma. Esto se observa en la Tabla 8.6:

Tabla 8.6: Dimensionamiento de las zanjas del RS.

	Población (hab)	Volumen de zanja ( $m^3/mes$ )	Superficie zanja ( $m^2$ )	Ancho de zanja (m)	Largo de zanja (m)
		Vzanja	Areazanja	Azanja	Lzanja
2021	138628	3743	936	6	156
2022	140108	3783	946	6	158
2023	141604	3823	956	6	159
2024	143116	3864	966	6	161
2025	144644	3905	976	6	163
2026	146188	3947	987	6	164
2027	147749	3989	997	6	166
2028	149327	4032	1008	6	168
2029	150921	4075	1019	6	170
2030	152532	4118	1030	6	172

2031	154161	4162	1041	6	173
2032	155807	4206	1052	6	175
2033	157470	4251	1063	6	177
2034	159152	4297	1074	6	179
2035	160851	4343	1086	6	181
2036	162568	4389	1097	6	183
2037	164304	4436	1109	6	185
2038	166058	4483	1121	6	187
2039	167831	4531	1133	6	189
2040	169623	4579	1145	6	191
2041	171434	4628	1157	6	193

En cuanto al dimensionamiento de las celdas, se calcula el volumen necesario de la siguiente manera:

*Ecuación 27*

$$V_{celda} = \frac{AMD}{\rho_{DSRC}} * MC$$

Donde:

*V<sub>celda</sub>*: Volumen de la celda diaria (m<sup>3</sup>/día)

*AMD*: Aporte máximo diario (kg/día)

*MC*: Material de cobertura definido anteriormente como el 20% del volumen de desechos sólidos compactados.

*ρ<sub>DSRC</sub>*: Densidad de residuos sólidos recién compactados (600kg/m<sup>3</sup>).

El área de la celda diaria viene dada por:

*Ecuación 28*

$$A_{celda} = \frac{V_{celda}}{h_{celda}}$$

La altura de la celda ( $h_{celda}$ ) recomendada en rellenos mecanizados no debe ser mayor a 3 metros. En este caso se toma 1m de altura de la celda, con celdas escalonadas

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

*Ecuación 29*

$$l_{celda} = \frac{A_{celda}}{a_{celda}}$$

Donde:

$a_{celda}$ : Definido anteriormente en el ancho de zanja, que depende de los equipos utilizados.

Los resultados de estos valores pueden observarse en la Tabla 8.7:

*Tabla 8.7: Dimensiones de las celdas del RS.*

Año	Población (hab)	Volumen de celda (m3/día)	Área de la celda (m2)	Largo de la celda (m)	Volumen Rectificado (m3)
		Vcelda	Acelda	Lcelda	Vrealcelda
2021	138628	125	125	20,8	153
2022	140108	126	126	21,0	154
2023	141604	127	127	21,2	156
2024	143116	129	129	21,5	157
2025	144644	130	130	21,7	159
2026	146188	132	132	21,9	161
2027	147749	133	133	22,2	162
2028	149327	134	134	22,4	164
2029	150921	136	136	22,6	166
2030	152532	137	137	22,9	167
2031	154161	139	139	23,1	169
2032	155807	140	140	23,4	171
2033	157470	142	142	23,6	172
2034	159152	143	143	23,9	174
2035	160851	145	145	24,1	176
2036	162568	146	146	24,4	178
2037	164304	148	148	24,6	180
2038	166058	149	149	24,9	181
2039	167831	151	151	25,2	183
2040	169623	153	153	25,4	185
2041	171434	154	154	25,7	187

La última columna hace referencia a que debe rectificarse el volumen real de las celdas, ya que este es mayor al calculado con forma de prisma.

De la formula del Volumen de una pirámide truncada (**Ecuación 30**), se calcula el volumen de la celda:

*Ecuación 30*

$$V = (A1 \times b + A2 \times c + \sqrt{A1 \times b \times A2 \times c}) \frac{h}{3}$$

Donde:

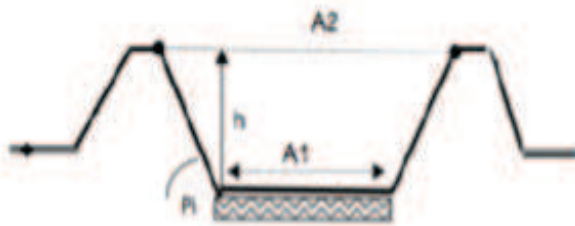
h= altura de las celdas (1m)

Pi= pendiente interna (45°)

A1= Ancho interno de la base (6m)

A2= Ancho (calculado trigonométricamente) = 8m

b y c= largo de las celdas corregido.



*Figura 8.1: Esquema de celda. Fuente: Cátedra de Residuos Sólidos Urbanos, UNSAM, 2018.*

#### 8.4.2 Generación de lixiviados

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSM.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido (Jaramillo, 2002).

En este caso se utiliza el método Suizo que permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

*Ecuación 31*

$$Q = \frac{1}{t} * P * A * K$$

Donde

*Q: Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)*

*P: Precipitación media anual (mm/año)*

*A: Área superficial del relleno (m<sup>2</sup>)*

*t: Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)*

*K: Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:*



*Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 400 a 700 kg/m<sup>3</sup>, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% ( $k = 0,25$  a  $0,50$ ) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.*

*Para rellenos fuertemente compactados con peso específico  $> 700$  kg/m<sup>3</sup>, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% ( $k = 0,15$  a  $0,25$ ) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.*

*En este caso, con una compactación de 600kg/m<sup>3</sup>, se tomará un coeficiente de 0,5.*

Según datos de la organización Climate Data, la precipitación media anual en Tandil es de 847mm.

Esto da como resultado un caudal **Q= 4,29L/s (=370 m<sup>3</sup>/día=11.120m<sup>3</sup>/mes).**

Se diseñó un sistema de recolección de lixiviados con bermas en forma de espina de pescado, de forma tal que la pendiente de los afluentes de dren principal sea de 3%, mientras que la pendiente del dren principal será de 2%.

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

En las tuberías de impulsión de aguas residuales, la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. La velocidad máxima para tuberías de PVC es de 5 m/s, aunque generalmente se adopta un coeficiente de seguridad que lleva a fijar una velocidad media máxima admisible de 3 m/s o menor (Mahiques, 2019).

Además, la relación de tirante  $Y/d$  debe oscilar en el rango de 0,20-0,75.

A través del programa HCANALES se diseñaron las tuberías para obtener una velocidad y un tirante que se encuentren dentro de estos parámetros. Se diagrama con un tubo de PVC cuya rugosidad  $n$  es igual a 0,014, y se evalúan los diámetros típicos de los mismos para lograr los valores deseados.

En base al caudal calculado, a un diámetro de 4 pulgadas, una rugosidad de 0,014 y la pendiente establecida de 2%, se obtienen los siguientes resultados (Figura 8.2):

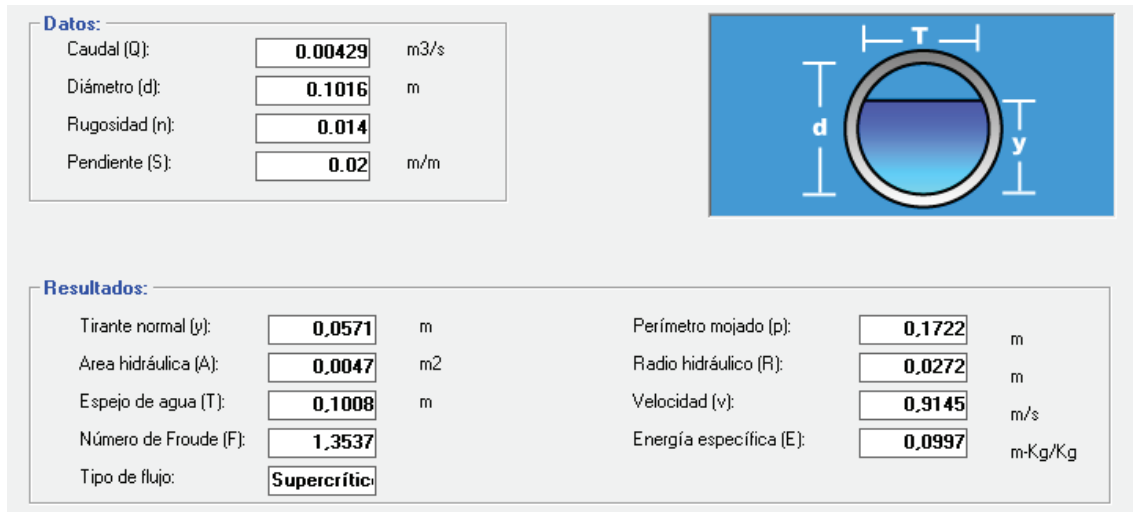


Figura 8.2: Imagen del programa HCanales para las tuberías de drenaje de lixiviados. Fuente: HCanales.

Se observa que la velocidad media es igual a 0,91 m/s y está dentro del rango buscado, mientras que la relación  $Y/d$  es igual a 0,56, también dentro del rango permitido.

Este lixiviado será bombeado por una bomba hidráulica hasta la planta de tratamiento.

### 8.4.3 Sistema de drenaje de gases

Para el diseño del sistema de drenaje de gases lo primero que se realizó fue la utilización del programa LandGEM (Landfill Gas Emission Model) de la EPA (Environment Protection Agency), de Estados Unidos. Este programa utiliza la ecuación de primer orden que se muestra a continuación (**Ecuación 32**) para calcular las emisiones de la descomposición de los residuos de un relleno sanitario. El modelo en el que se basa este programa está basado en información recopilada de rellenos sanitarios de Estados Unidos.

*Ecuación 32*

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k \cdot L_0 \cdot \left[ \frac{M_i}{10} \right] \cdot e^{-ktij}$$

Donde:

$Q_{CH_4}$ : Generación anual de metano en el año en cuestión ( $m^3/year$ )

i: Incremento de 1 año.

n: Año en cuestión – año inicial

j: Incremento de 0,1 año.

k: Tasa de generación de metano (1/año)

$L_0$ : Capacidad potencial de generación de metano ( $m^3/Mg$ )

$M_i$ : Masa de residuos a recibir en el año i (Mg)

$t_{ij}$ : antigüedad de la sección j de la masa de residuos  $M_i$  recibidos en el año i (años).

El programa requiere de ciertas especificaciones que el usuario debe calcular previamente o contar con la información para poder brindar al programa. Entre estas especificaciones se encuentran:

- Un nombre de identificación para el relleno sanitario;
- Año de apertura del relleno sanitario;
- Año de cierre del relleno sanitario ó, caso contrario, el programa calcula dicho valor;
- Capacidad del relleno sanitario.

Para evaluar la cantidad de gas de relleno sanitario, el cual está compuesto por una mezcla de gases generados por los procesos de descomposición dentro del mismo, se utilizaron algunos

valores estándar en el programa. En primer lugar, se tomó como la tasa de generación de metano (k) un valor estándar de 0,05 tomado de un artículo de la EPA del año 2016 (Figura 8.3). También se adoptó un valor típico de la capacidad potencial de generación de metano ( $L_0$ ) de  $170\text{m}^3/\text{t}$ .

Parámetros del modelo	Valor
$K$	0,050 por año
$L_0$	$170\text{m}^3/\text{ton}$

Fuente: (EPA, 2016).

Figura 8.3: Valores típicos de  $k$  y  $L_0$  de la EPA, año 2016.

Luego se colocaron como input las cantidades calculadas de recepción de residuos en el relleno en cada año de su vida útil, detallando esta utilidad hasta el año 2041.

Los resultados generados por el programa pueden verse en el gráfico siguiente (Figura 8.4):

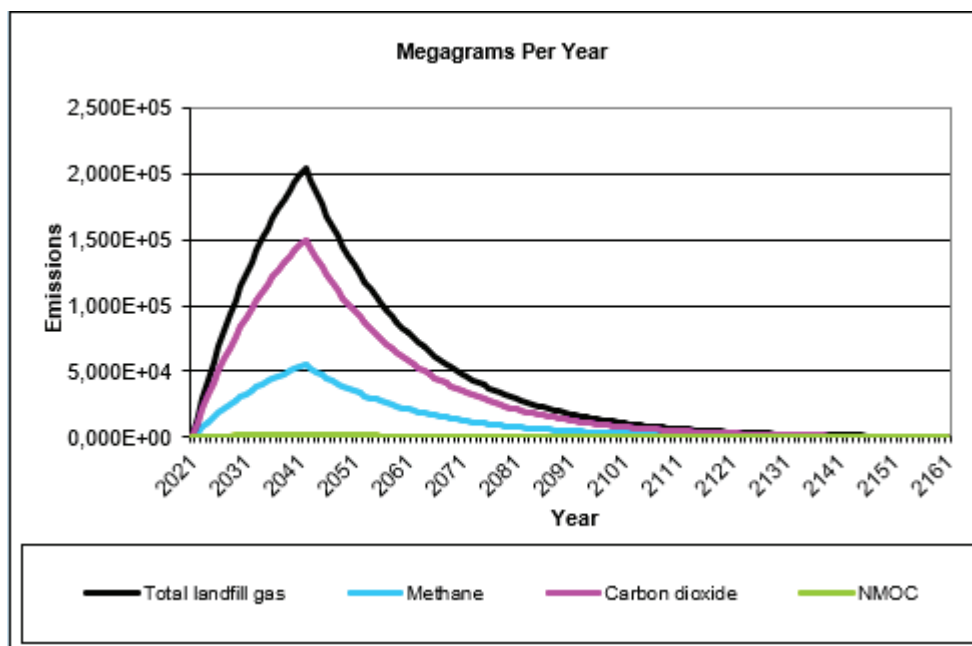


Figura 8.4: Gases generados en el relleno sanitario expresados en t/año, calculados a través del programa LandGEM. Fuente: Elaboración propia a través de LandGEM.

En el gráfico pueden verse las toneladas por año de emisión de 4 tipos de gases:

- Gas de relleno sanitario
- Metano
- Dióxido de Carbono
- NMOC

Este último hace referencia a los compuestos orgánicos volátiles que no son metano.

Estos gases sin un sistema de drenaje o venteo pueden causar un serio problema en el relleno sanitario y los alrededores, como por ejemplo una explosión dentro del mismo por una alta presión ejercida sobre los mismos.

Por lo tanto, se diseña un sistema de drenaje pasivo de gases con chimeneas aprovechando la difusión horizontal de los gases en el interior del relleno. El gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y por consecuencia queda muy baja la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero por la superficie del cuerpo de basura sí (Röben, 2002).

El sistema diseñado consiste en entre 6 y 8 chimeneas por zanja (dependiendo del largo de cada zanja), ubicadas en el centro de cada una a lo ancho, es decir, a 3m de un lado y 3m del otro, y a 25m de separación a lo largo. Su diámetro será de 0,6m y el material será de HDPE (polietileno de alta densidad). El caño será perforado de forma tal de que el 10% de la superficie total del mismo sean orificios de 1cm de diámetro, y estará relleno de grava con piedras de un diámetro < 16 cm. Dentro del relleno, pero fuera de la chimenea también se colocará grava con la misma granulometría. Esto evitará obstrucciones causadas por residuos en la difusión de gases. Puede verse esta estructura de forma esquemática en la Figura 8.5:

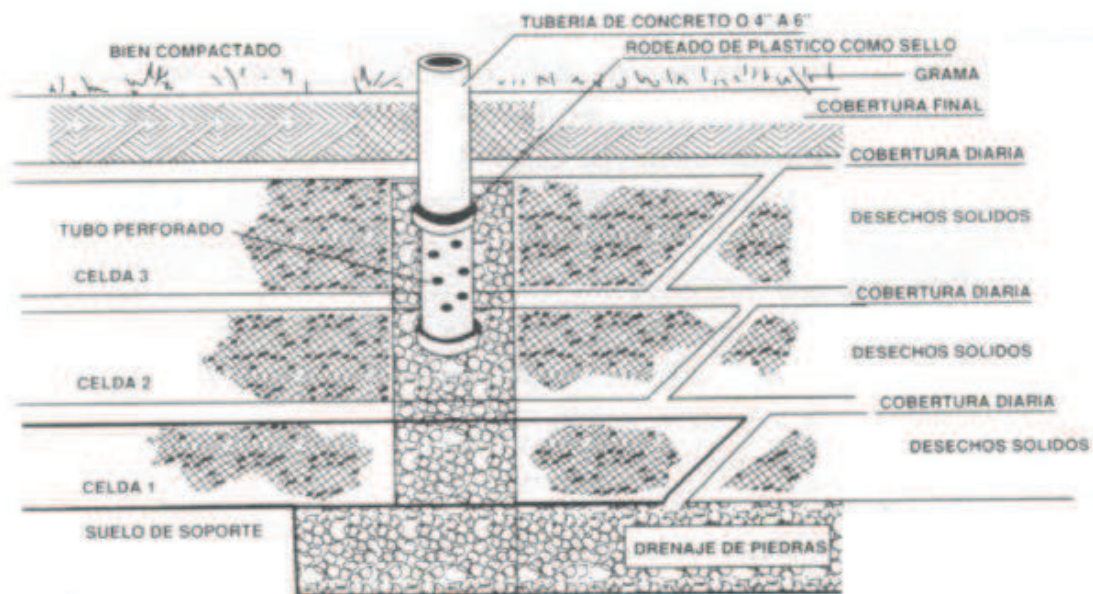


Figura 8.5: Modelo de chimenea de drenaje de gases. Fuente: Röben, 2002.

## 9. Conclusiones técnicas finales

El diagnóstico realizado sobre la situación actual de recolección de residuos permitió conocer en detalle la gestión actual, identificando los puntos fuertes y puntos débiles de la misma. El diseño del sistema de gestión planteado en el proyecto tomó estos puntos como base buscando el aprovechamiento de las instalaciones y procesos actuales que resulten útiles, y el diseño de procesos e instalaciones que mejoren los actualmente deficientes.

Se propone una separación en origen junto con una recolección diferenciada, algo que demandará grandes esfuerzos de concientización y capacitación, pero que sin duda resultará beneficioso para lograr reintroducir residuos en el circuito industrial y comercial, tomando la iniciativa hacia una economía circular, donde se disponga la menor cantidad de residuos posible, y revalorizando una gran proporción de los mismos.

El tratamiento de las corrientes tanto de Reciclables, en los Puntos Limpios, como de Compostables, en la Planta de compostaje, permitirá reducir la cantidad de residuos enviada a disposición final, minimizando el impacto ambiental y alargando la vida útil del relleno sanitario, que además es optimizado con el diseño planteado. Debe resaltarse el alto costo de inversión de la planta de compostaje, aunque analizándolo con una perspectiva más amplia, puede identificarse que el compost de alta calidad producido en la misma, permitirá generar ganancias significativas mediante la comercialización a sectores agrícolas-ganaderos, abundantes en la región.

El enfoque de este proyecto es integral, contemplando factores ambientales, como socioeconómicos. La valoración de estos impactos se observa en el Estudio de Impacto Ambiental, destacando como principales beneficios la generación de empleo y la mejora en la calidad de vida de los ciudadanos, tanto como la minimización de la contaminación de aguas, suelos y aire. Es luego de este análisis global, que se recomienda enfáticamente la implementación del proyecto.

## 10. Conclusiones personales

La realización del Proyecto Final Integral fue uno de los mayores desafíos que tuve durante mi carrera universitaria. Fue un proceso de 8 meses dedicado casi exclusivamente a este trabajo, en el que asimilé muchos nuevos conceptos, tanto técnicos como personales.

Entre los conocimientos técnicos adquiridos durante el proceso, se encuentran los necesarios para la elaboración de casi la totalidad del proyecto, dado que al iniciar no contaba con los conceptos principales para el diseño de rutas de recolección, plantas de clasificación, ni plantas de compostaje, y tenía nociones poco profundas sobre el diseño de un relleno sanitario. Cada apartado del proyecto tuvo tres etapas para su realización: investigación, esquematización (o diseño) y redacción. Ninguna de ellas fue sencilla y el hecho de haberlas recorrido creo que forjó en mí un capital técnico significativo en materia de gestión de residuos.

Además, opino que un proyecto particularmente sobre la temática de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, profesionalmente tiene una gran ventaja por sobre proyectos más específicos, que es el manejo de una enorme cantidad de variables que deben ensamblarse dentro de un sistema general.

En cuanto a lo personal, este trabajo me presentó gran variedad de dificultades. Sin embargo, una vez resueltas creo que se convierten en fortalezas. La interacción con funcionarios políticos, ciudadanos descontentos, el lidiar con frustraciones, entre otras cosas, creo que dejan herramientas en mi persona, útiles para resolver problemas en la vida profesional como Ingeniero Ambiental.

También considero que este trabajo debería realizarse en equipo, lo que crearía sinergia y métodos de trabajo conjunto, que también son muy importantes en la vida profesional y personal.



## 11. Referencias y bibliografía

- Abasolo, M. J. (2019). Resumen ejecutivo – Asociación Civil Punto Limpio.
- Agüero, E. M. (2014). *Lineamientos para una Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Frías, Santiago del Estero*. 130. Retrieved from [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1543/Proyecto Integrador - Agüero Eugenia.pdf;sequence=1](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1543/Proyecto%20Integrador%20-%20Agüero%20Eugenia.pdf;sequence=1)
- Argentina Ambiental (2019). Resolución Conjunta 1/19 – Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost.
- Banda Noriega, R. (2017). *Análisis de las oportunidades de desarrollo del Cooperativismo y de la Economía Social y Solidaria en el marco de la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad de Tandil. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*.
- CEAMSE. (2012). *Diseño de un relleno sanitario*.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (1993). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*.
- Diario de Tandil. (2018). Residuos: cuánto genera un Tandilense y cuánto termina en un Punto Limpio.
- Díaz, M. (2018). *Gestión Integral de Residuos en Aluminé y Villa Pehuena-Moquehue, provincia de Neuquén*. Proyecto Final Integrador. Ingeniería Ambiental, UNSAM.
- Falasca, Silvia (2002). Rasgos fisiográficos y edáficos del área aledaña a la Ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires.
- Food and Agriculture Organization (1991). *Manejo de suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*.
- Garrido Ibáñez, A. (2015). *Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles*.
- Giaconi, L. M. (2008). *Aspectos geoambientales de tandil – vulnerabilidad del acuífero freático y sus implicancias ambientales*.
- González, G. L. (2010). *RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ARGENTINA - TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL. SITUACIÓN ACTUAL Y ALTERNATIVAS*
- Guerrero, E. M. (2013). El crecimiento urbano de la ciudad de Tandil entre 1966-2012 y sus

relaciones con el ambiente. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Ingeniero Ambiental (2005). Tandil: Descripción de las características del relleno sanitario. Recuperado de [www.ingenieroambiental.com](http://www.ingenieroambiental.com).

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*.

Lehmann, L. (2019). *Economía Circular, el cambio cultural*.

Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B., & Balsley, J. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*.

Mahiques, O. (2019). *Diseño de Complejo Ambiental para tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos en Villa María*.

Máñez, C. A. (2018). *Diseño de una Planta de Valorización de Residuos Urbanos para el Área de Gestión A6 de la Comunitat Valenciana*.

Marti, L. S. (2014). *IMPACTOS AMBIENTALES EN UN TAMBO DE TAMAÑO MEDIANO EN TANDIL, PROVINCIA*.

McDougall, F., White, P., Franke, M., & Hindle, P. (1994). *Integrated Solid Waste Management - a Life Cycle Inventory*.

Memon, M. (2010). Integrated Solid Waste Management Based on the 3R App. *Sustainable Solid Waste Management*, 133–149. <https://doi.org/10.1201/b13116-10>

Ministerio de medio ambiente, P. (2015). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de un relleno sanitario manual*.

Miranda del Fresno, M. C. (2009). *Cambios del uso del suelo y problemas ambientales en el sudeste de la Ciudad de Tandil*.

Ormaza Salamea, E. L. (2015). *Diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos para la Empresa Pública Municipal Mancomunada del Pueblo Cañari de los cantones: Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal en el año 2014*.

Picone, N., & Campo de Ferreras, A. M. (2010). *Análisis anual de las precipitaciones en la ciudad Tandil (noviembre 2008 - octubre 2009)*.

Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente (2000). *Plan Nacional de valorización de residuos. Secretaría de desarrollo sustentable y política ambiental*.

(Población por zona. Dirección de Estadística Local. Municipio de Tandil, s.f.)

Reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos: Aproximación a un Modelo de Gestión. (2011).

Municipio de Tandil.

Röben, E. (2002). *Diseño , Construcción , Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*.

Ruiz de Galarreta, A., Varni, M., Banda Noriega, R., & Barranquero, R. (2007). *Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del arroyo langueyú, partido de tandil, buenos aires*. (September 2017).

Tchobanoglous, G., & Theissen, H. (1982). *DESECHOS SÓLIDOS - PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN*.

The World Bank. (2012). *What a Waste: A global review of Solid Waste Management*.

Tisnés, A. (2017). *ANÁLISIS ESPACIAL DE LA MORBILIDAD URBANA EN ADULTOS MAYORES, TANDIL 2011-2014*.

Vásquez, Patricia y Vignolles, Milagros. (2015). *Establecimiento agroproductivo ecológico vs. Agricultura convencional: Partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires*.

Verellén, M. C., Miranda del Fresno, M. C. y Creparula, H. (2019). *Materiales recuperados en los Puntos Limpios de Tandil*. Dirección de Medio Ambiente, Municipio de Tandil.

Villalba, L. (2016). *Indicadores de metabolismo urbano aplicados a la gestión de los RSU en la ciudad de Tandil* ,. (September)

Zafra Mejía, A. C. (2009). *Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación : sistemas de caja fija ( SCF )*. 29(2), 119–126.

## 12. Anexo

### 12.1 Requisitos de un compost (Según Res 1/19)

#### ANEXO III

De acuerdo con el artículo 3° del Anexo I, los materiales a ser tratados mediante compostaje deben ser previamente separados en origen y recogidos mediante recolección diferenciada, de forma que no estén en contacto con ningún material o compuesto que se encuentre fuera de la lista positiva provista a continuación:

1. Materiales exclusivamente vegetales (sin subproductos animales o carne);

1.1. Provenientes de parques, jardines u otras parquizaciones o zonas de recreo.

1.1.1. Restos de poda, pasto cortado, malezas, flores, hojas.

1.1.2. Cortezas. Especificaciones: cortezas no tratadas con insecticidas derivados de halogenuros de alquilo, ejemplo Gamexane.

1.2. Provenientes de la preparación y consumo de comidas y bebidas

1.2.1. Cereales, frutas y vegetales.

1.2.2. Restos de infusiones

1.2.3. Masa y levaduras de panificación.

1.2.4. Residuos de especias y hierbas.

1.2.5. Alimentos caducos.

1.2.6. Restos vegetales provenientes de cocinas domésticas, comedores, restaurantes y servicios de catering.

1.3. Provenientes de la comercialización, industrialización y venta de productos agrícolas y forestales.

1.3.1. Restos de cosecha, pastura y ensilado.

1.3.2. Polvo de granos y cereales.

1.3.3. Restos de poda.

1.3.4. Restos de producción, procesado o envasado de alimentos y bebidas.

1.3.5. Alimentos y restos de alimentos no aptos para consumo.

1.3.6. Fibras vegetales de rechazo

1.4. Otros residuos de origen vegetal

1.4.1. Plantas acuáticas y subacuáticas

1.4.2. Envases biodegradables y bioplásticos que cumplan con la norma EN 13432.

1.4.3. Residuos de empaquetado: rellenos, absorbentes, protectores.

1.4.4. Papel y cartón.

2. Materiales provenientes de fuentes animales o que tengan sustancias de origen animal 2.1. Provenientes de la preparación y consumo de comidas y bebidas

2.1.1. Restos de cocinas domésticas, restaurantes, comedores o servicios de catering

2.1.2. Alimentos caducos no aptos para consumo

2.2. Provenientes de la comercialización, industrialización y venta de productos agrícolas y forestales (esta sección incluye camas, deyecciones y orina)

2.2.1. Lodos procedentes de la industria de alimentos

2.2.2. Restos de cuerno, pezuña, pelo, lana, plumas y cama de animales

2.2.3. Restos de frigoríficos y mataderos

2.2.4. Estiércol sólido y líquido (se excluyen excretas humanas)

3. FORSU separada en origen y proveniente de una recolección diferenciada

4. Provenientes del tratamiento de residuos que se encuentren en la lista positiva

4.1. Subproductos de la digestión anaeróbica (digerido).

4.2. Restos del proceso de compostaje (Cribado de compost, lixiviado de proceso de compostaje, material que no cumple con el proceso)

## **ANEXO IV**

### **LÍMITES Y PARÁMETROS DE CALIDAD**

#### **Tabla N° 1**

Nivel de patógenos

Parámetro	Proceso	Valor Limite
I. Coliformes fecales	Sistemas abiertos ≥55°C, 15 días con al menos 5 volteos	<1000 NMP por gramo de compost, en base seca;
II. <i>Salmonella sp.</i>	≥ 55°C, 3 días consecutivos con cobertura que asegure temperatura en la superficie de la pila	<1 NMP/ 4 gramos de compost en base seca;
III. <i>Ascaris lumbricoides</i>	Sistemas cerrados ≥ 60°, 7 días	< 1 huevo viable de <i>Ascaris</i> en 4g de compost en base seca

NMP = Numero Más Probable  
Para los compost donde se puede certificar el proceso se exige que se cumpla con I) ó con II) y no se exige III).  
Para el caso de los compost donde no se pueda certificar el proceso se exige que se cumpla con I), II) y III).

Tabla N° 2

Indicadores de estabilidad y madurez

Indicadores de estabilidad		
(Deberán medirse, al menos, un indicador de cada grupo)		
INDICADOR		VALOR
Grupo I	C soluble en agua (CSA)	< 10 g/kg
	CSA/N total	≤ 0,7
Grupo II	Producción de CO <sub>2</sub>	< 120 mg de CO <sub>2</sub> /kg.h
	Test Solvita	≥ 5 para CO <sub>2</sub>
	Índice Respirométrico Estático ( IRE)	≤ 0,5 mg O <sub>2</sub> /g MO.h
	Índice Respirométrico Dinámico (IRD)	≤ 1 mg O <sub>2</sub> /g MO.h
Indicadores de madurez		
(Deberán medirse, al menos, dos indicadores, uno de los cuales debe ser el índice de germinación)		
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )		< 400 mg N-NH <sub>4</sub> /kg
Relación amonio: nitrato (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N-NO <sub>3</sub> )		< 0,3
Índice de germinación utilizando dos especies		> 60% (ryegrass perenne ó anual, tomate, rabanito cebada, trigo, lechuga o berro ( <i>Lepidium sativum</i> ))
Test Solvita		≥ 4 para NH <sub>3</sub>

MO = Materia Orgánica

Tabla N° 3

Parámetros de calidad

MS -Materia Seca

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

MS –Materia Seca

Tabla N° 4

Cantidad de materias inertes < 16mm permitida en compost

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% MS)
Plásticos flexibles y/o películas	>4	≤5
Piedras y/o terrones de tierra	>4	≤5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	≥2	≤0,5

- a) No se permiten materias inertes de un tamaño mayor a 16mm, determinado en su mayor dimensión, en ninguna clase de compost.  
b) Para todas las clases de compost, la tolerancia de impurezas de tamaño menor o igual a 16 mm no debe superar los valores indicados en la Tabla N° 4.

Tabla N° 5

Valores límites recomendados para las cantidades de EPT que se podrán introducir en suelos anualmente (kg/ha.año) y carga máxima admitida en 10 años (kg/ha)



Elementos potencialmente tóxicos	Valor límite (kg/ha.año)	Carga máxima admitida kg/ha
Cadmio	0,15	0,5
Cobre	12	40
Cromo	3	10
Mercurio	0,1	0,3
Níquel	3	10
Plomo	15	50
Zinc	30	100
Arsénico	0,5	1,8

La DOSIS ANUAL DE CARGA DE EPT a añadir a un suelo se calcula en función de la concentración de EPT en compost y del valor límite de EPT (Tabla N°6), según el siguiente procedimiento:

- a) Se analiza el contenido de EPT en el compost a aplicar;
- b) Se calcula la DOSIS ANUAL DE CARGA DE EPT a añadir para cada uno de los elementos aplicando la siguiente fórmula:

*Ecuación 33*

$$DACE = (VL \times 1.000) / C$$

Dónde:

DACE: Dosis Anual de Carga de EPT sobre la base de peso seco expresado en t/ha.año VL (valor límite): Cantidad de EPT para el compuesto "n" expresado en kg/ha.año (Tabla N°6) C: Concentración del elemento "n" en el compost expresado en mg/kg (base materia seca) 1.000: Factor de conversión

- c) La DOSIS ANUAL DE CARGA DE EPT a aplicar es la menor de las calculadas en la etapa anterior;
- d) Para calcular la DOSIS REAL DE COMPOST (a su humedad natural) a aplicar, se debe convertir la DOSIS ANUAL DE CARGA DE EPT en base seca considerando el contenido de humedad del compost a emplear conforme la siguiente fórmula:

*Ecuación 34*

$$DRC = (DACE \times 100) / MS$$

Dónde:

DRC: Dosis Real de Compost en t/ha.año

DACE: Dosis Anual de Carga de EPT base peso seco

MS: Porcentaje de materia seca en el compost a emplear

## 12.2 Metodología de valoración de Impactos Ambientales

La metodología utilizada se basó en la metodología de Vicente Conesa Fernández-Vítora publicada en su libro "GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL" donde las interacciones entre acciones impactantes y factores impactados dan como resultado la identificación de los impactos, a los cuales se les realiza un análisis. Luego se seleccionan aquellos con algún nivel de significancia para someterlos a un análisis más detallado para su posterior evaluación con la finalidad de poder emitir las conclusiones respectivas.

Los parámetros que se evalúan por sobre el impacto que puede generar cada actividad sobre cada factor ambiental expuesto en la matriz son los siguientes:

- Valor del impacto: El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
- Intensidad (In): Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa.
- Extensión (Ex): Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.
- Magnitud temporal (Mo): El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción ( $t_0$ ) y el comienzo del efecto ( $t_i$ ) sobre el factor del medio considerado.
- Persistencia (Pe): Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto a partir de su aparición.
- Reversibilidad (Rv): Refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado como consecuencia de la acción acometida, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales.
- Recuperabilidad (Rc): posibilidad que el factor retorne a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (aplicación de medidas correctoras o de remediación).

- Efecto (Ef): relación causa-efecto, la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
- Periodicidad (Pr): regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular) o constante en el tiempo (efecto continuo).
- Magnitud del impacto (importancia)(I): se representa finalmente por un número que se deduce aplicando los valores anteriormente descritos (aplicados a cada interacción) al siguiente polinomio:

*Ecuación 35*

$$I = \pm(3In + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Rc + Ef + Pr)$$

Cada uno de estos parámetros tiene valores asignados a los potenciales impactos, y se demuestran en la Tabla 12.1:

*Tabla 12.1: Valoración de los impactos.*

Valor del impacto	+	Positivo
	-	Negativo
Intensidad	1	Baja: Se adjudica a una afectación mínima
	2	Media
	4	Alta
	8	Muy alta
	12	Total: Destrucción total del factor en el área que se produce el efecto
Extensión	1	Puntual: Efecto muy localizado
	2	Parcial
	4	Extenso
	8	Total: Efecto de influencia generalizada en toda el área de influencia del proyecto
Magnitud temporal	1	Largo plazo: El efecto se manifiesta luego de 5 o más años.
	2	Medio plazo: El efecto se manifiesta en un período de entre 1 y 5 años
	4	Inmediato: El efecto se manifiesta dentro del primer año
Persistencia	1	Fugaz: Duración menor a un año
	2	Temporal: Duración entre 1 y 10 años
	4	Permanente: Duración de más de 10 años
Reversibilidad	1	Corto plazo
	2	Mediano plazo
	4	Irreversible
Recuperabilidad	1	Inmediata

	2	Mediano plazo
	4	Mitigable
	8	Irrecuperable
Efecto	1	Indirecto
	4	Directo
Periodicidad	1	Irregular o discontinuo
	2	Periódico
	4	Continuo

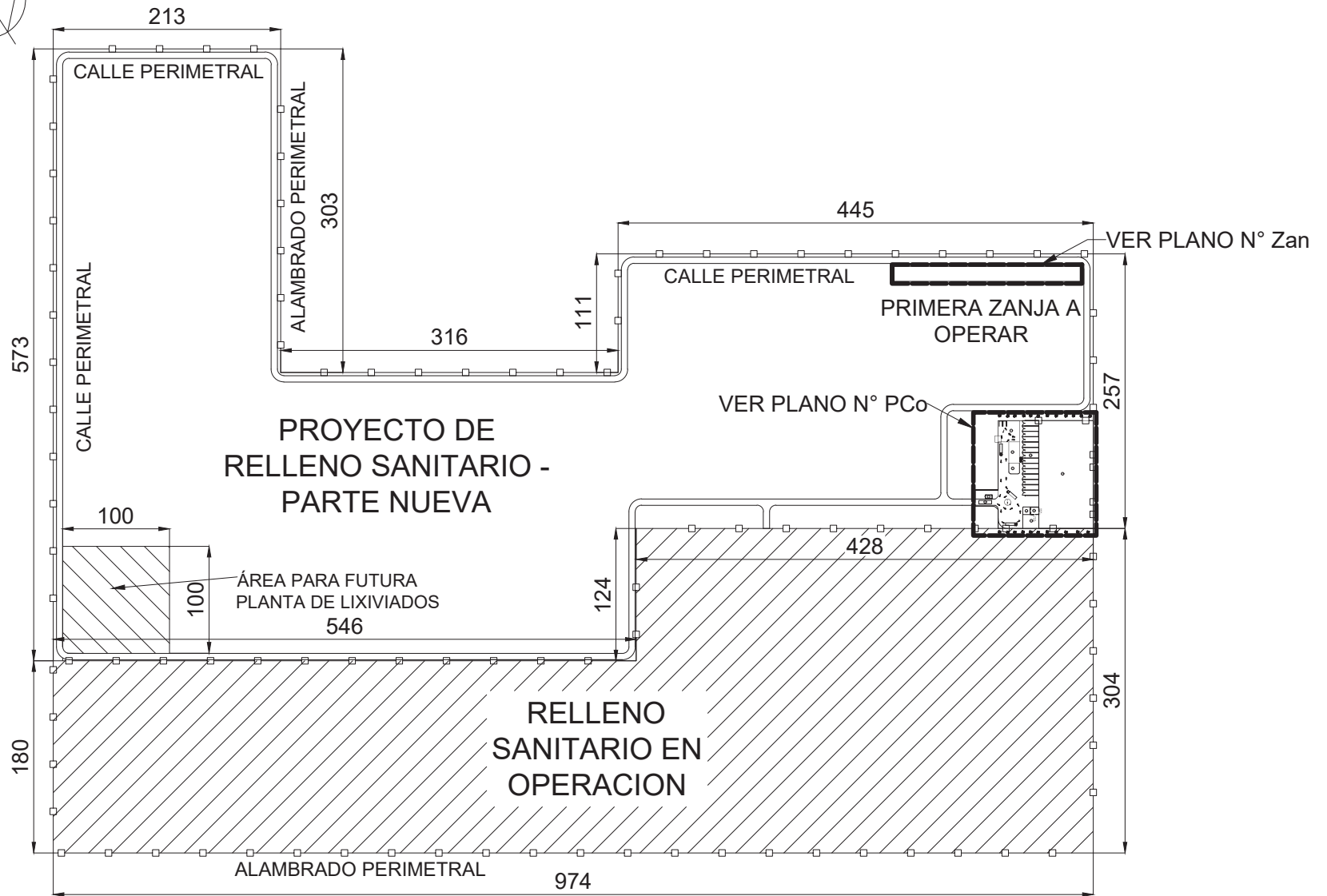
La Magnitud del impacto (I) puede tomar los valores expuestos en la Tabla 12.2:

*Tabla 12.2: Magnitud de los impactos valorizados en la matriz de impactos ambientales. Fuente: Vicente Conesa Fernández-Vítora, 1993.*

Impacto	Valor
Positivos	Mayor a 0
No significativo	$\leq -25$
Moderado	Entre -25 y -50
Severo	Entre -50 y -75
Crítico	$\leq -75$

### 12.3 Planos

A continuación, se presentan los planos correspondientes a las instalaciones diseñadas para el proyecto:




**NOTAS**

1. Todas las unidades se encuentran expresadas en mts.

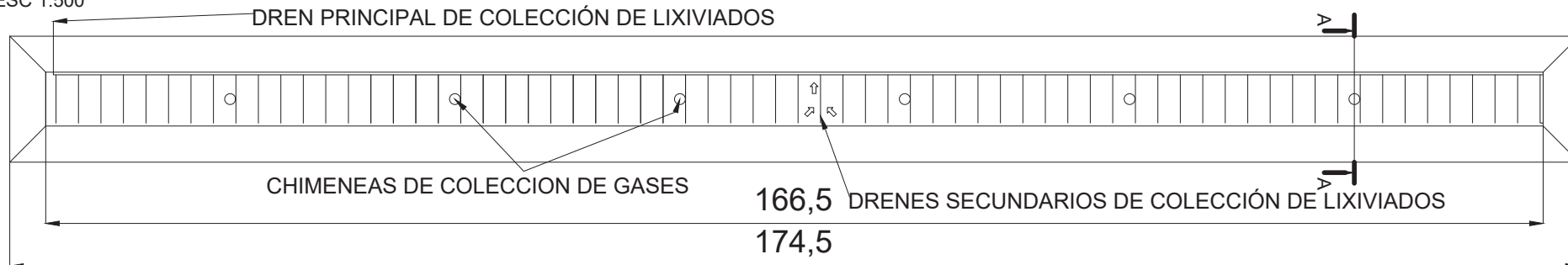
**PLANOS DE REFERENCIA**

- PCo Planta de compostaje
- Zan Detalle zanja - Relleno Sanitario

Fecha		Nombre		Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad de Tandil
Dibujo				
Reviso				
Aprobo				
Escala:		1:4000		
Plano N°:		PRS		
<b>PREDIO DE RELLENO SANITARIO</b>				 Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
				Alumno: Francisco Javier Calise
				Carrera: Ingeniería Ambiental

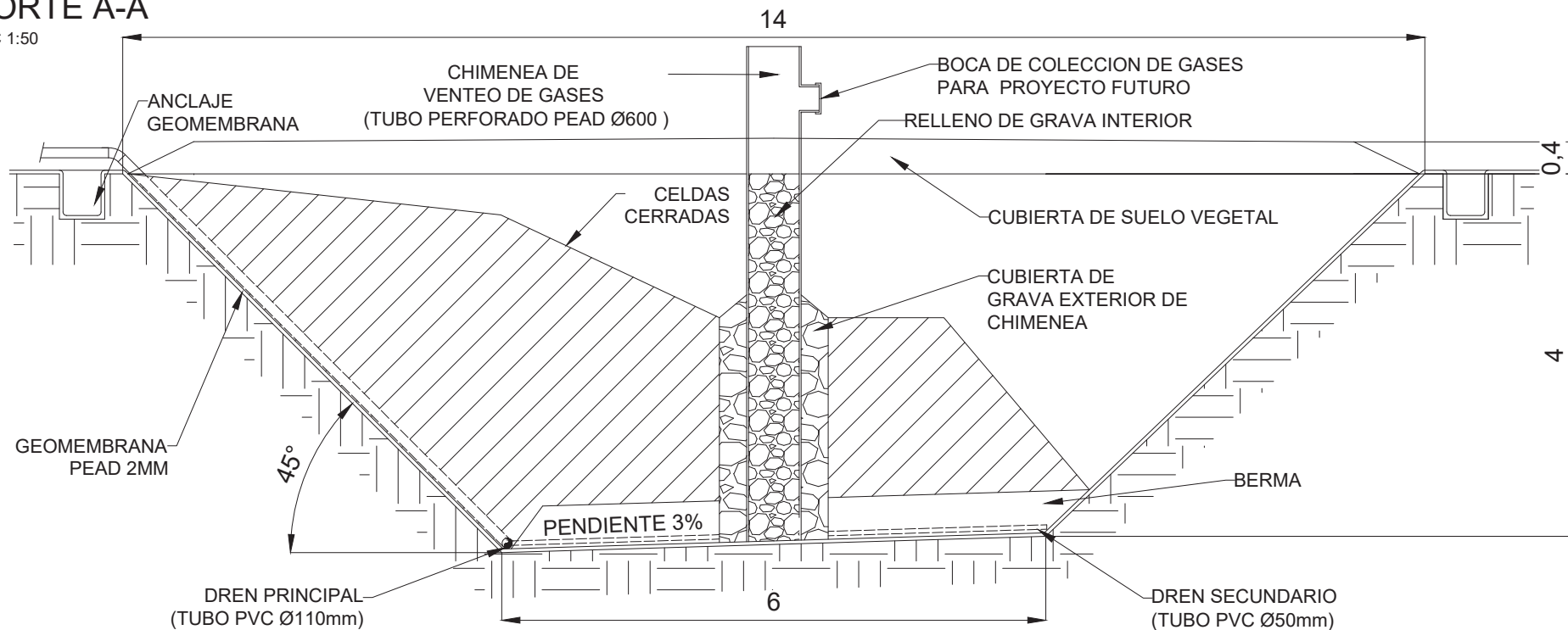
# VISTA SUPERIOR ZANJA - RELLENO SANITARIO

ESC 1:500



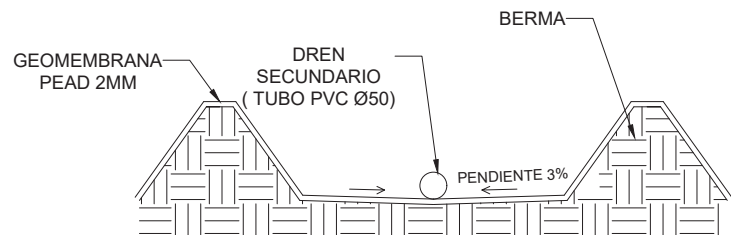
## CORTE A-A

ESC 1:50




## DETALLE DE BERMAS

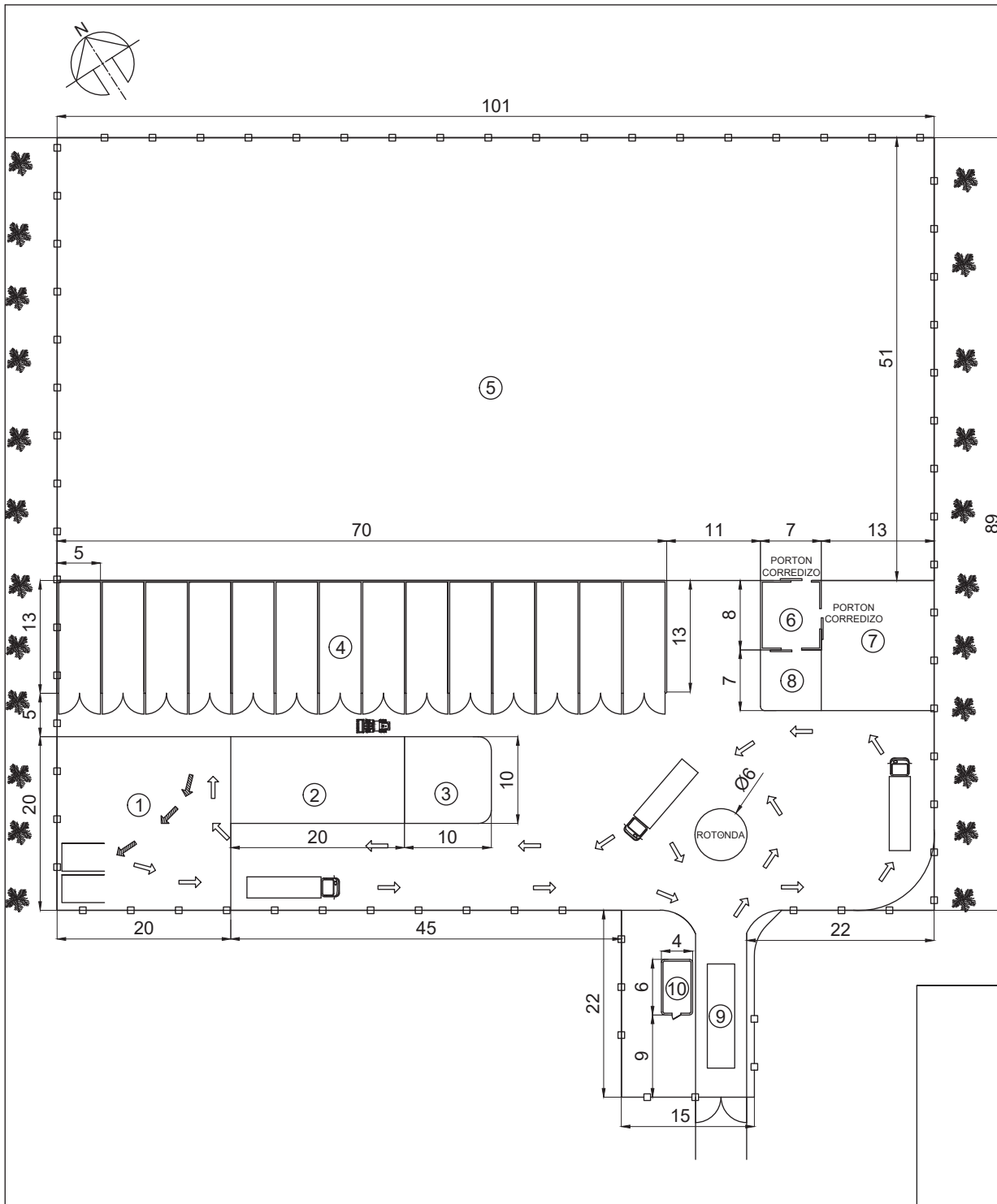
ESC 1:20



### NOTAS

1. Todas las unidades se encuentran expresadas en mts.

Dibujo	Fecha	Nombre	Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad de Tandil	 Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Reviso				
Aprobo				
Escala:	1:500 1:50 1:20			Alumno: Francisco Javier Calise Carrera: Ingeniería Ambiental
Plano N°:	Zan			
<h2>DETALLE ZANJA - RELLENO SANITARIO</h2>				



## REFERENCIAS

- SENTIDO DE CIRCULACIÓN
- CIRCULACIÓN REVERSA
- ALAMBRADO
- ① ZONA DE DESCARGA COMPOSTABLES
- ② ZONA DE DESCARGA DE RESTOS DE PODA
- ③ ZONA DE ACOPIO TRANSITORIO DE CHIPS DE PODA
- ④ ZONA DE REACTOR DE DESCOMPOSICIÓN (TÚNELES)
- ⑤ ÁREA DE MADURACIÓN
- ⑥ ZONA DE AFINO
- ⑦ ZONA DE ACOPIO COMPOST FINAL
- ⑧ ZONA DE ACOPIO TRANSITORIO RECHAZOS DE AFINO
- ⑨ BÁSCULA CAMIONERA
- ⑩ CASETA DE CONTROL Y VIGILANCIA

## NOTAS

1. Todas las unidades se encuentran expresadas en mts.

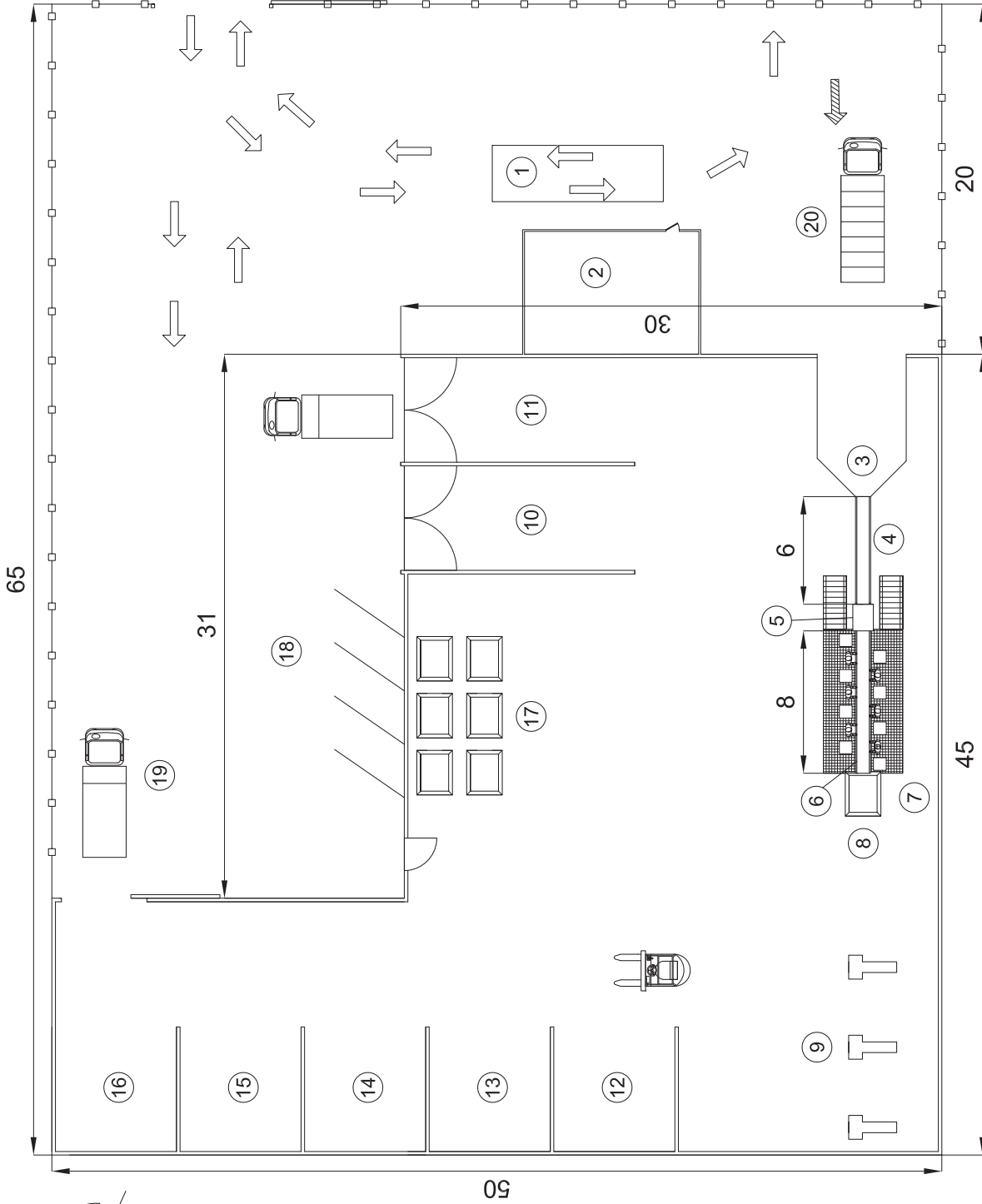
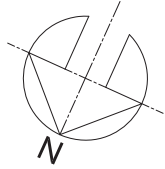
	Fecha	Nombre	Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad de Tandil
Dibujo			
Reviso			
Aprobo			
Escala:	1:500		
Plano N°:	PCo		

# Planta de compostaje



Alumno: Francisco Javier Calise  
Carrera: Ingeniería Ambiental





## REFERENCIAS

- SENTIDO DE CIRCULACIÓN
- ↔ CIRCULACIÓN REVERSA
- ALAMBRADO
- ① BÁSCULA CAMIONERA
- ② CASETA DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL
- ③ TOLVA RECEPTORA
- ④ CINTA DE ALIMENTACIÓN
- ⑤ ABRIDOR DE BOLSAS 3T/H
- ⑥ CINTA DE CLASIFICACIÓN
- ⑦ PLATAFORMA EN ALTURA
- ⑧ CONTENEDOR DE RECHAZOS
- ⑨ PRENSAS HIDRÁULICAS
- ⑩ BOX ACOPIO PET Y OTROS PLÁSTICOS
- ⑪ BOX ACOPIO PAPEL Y CARTÓN
- ⑫ BOX ACOPIO TELGOPOR
- ⑬ BOX ACOPIO TETRA BRIKS
- ⑭ BOX ACOPIO METALES
- ⑮ BOX ACOPIO VIDRIO
- ⑯ BOX ACOPIO PILAS
- ⑰ CONTENEDORES ACOPIO DE RECHAZOS
- ⑱ ESTACIONAMIENTO VEHICULAR
- ⑳ PLAYA DE CARGA
- ㉑ PLAYA DE DESCARGA

## NOTAS

1. Todas las unidades se encuentran expresadas en mts.
2. Puntos Limpios Norte, Sur y Oeste varían únicamente maquinaria, según lo descripto en el proyecto.

Fecha		Nombre		Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad de Tandil
Dibujo				
Revisión				
Aprobación				PUNTO LIMPIO CENTRO - NORTE - SUR - OESTE
Escala:		1:250		
Plano N°:		PL		


**UNSAM**  
**3iA**  
 Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental

Alumno: Francisco Javier Calise  
 Carrera: Ingeniería Ambiental