



**INTI** Instituto Nacional de Tecnología Industrial



Presidencia de la Nación

INDUSTRIA



## ESTUDIO DE CASO

Compostaje Domiciliario vs Enterramiento Sanitario.  
Comparación del impacto ambiental del destino de  
la fracción orgánica de los residuos domiciliarios

Estudio de Caso de una comuna de la Provincia de Córdoba

*Basado en la metodología de  
Análisis de Ciclo de Vida de Producto*

*Febrero 2014*

### ▲ CONTACTO

leticiat@inti.gov.ar  
Av. Vélez Sarsfield 1561 - Córdoba  
(351) 4698304 int. 152

### ▲ AUTORES

Leticia Tuninetti y Guillermo Garrido  
Área de Ecología Industrial  
INTI - Centro Regional Córdoba

## Resumen

Este estudio, realizado en la comuna serrana Villa La Serranita en el marco de un proyecto piloto del INTI, muestra las ventajas ambientales del “compostaje hogareño” de los residuos orgánicos frente al “enterramiento sanitario” establecido como práctica estándar. A través de una contabilidad ambiental, basada en la metodología de análisis de ciclo de vida, se comparó un modelo de gestión comunal en el que los vecinos reciclan en el hogar sus residuos con otro en el que los sacan a la calle para ser recolectados y vertidos en un enterramiento sanitario.

El promedio de residuos orgánicos, que cada vecino participante dispuso en la compostera, fue de 110 kg/año; casi la mitad del total de lo que generaba. Esta práctica de participación ciudadana permitió que cada vecino obtuviera 40 kg compost. Asumiendo una tasa de aplicación de 2,5 kg de compost/m<sup>2</sup> de superficie (jardín o huerta), en un hogar de tres personas se podría enriquecer hasta 50 m<sup>2</sup> de suelo con esta enmienda todos los años.

La alternativa con la que se contrastó, es la modalidad que venía sosteniendo la gestión Comunal anteriormente, es decir que el vecino embolse los residuos orgánicos junto con el resto, la Comuna los traslade en un tractor con tráiler (tres recolecciones por semana), los acopie transitoriamente, y luego una vez a la semana los cargue en un camión y traslade hasta el enterramiento sanitario a 50 km de distancia.

Se analizaron los impactos relacionados con calentamiento global, destrucción de capa de ozono, uso de minerales y de combustibles fósiles y degradación de suelos.

**Los resultados muestran que siempre hay reducción de impactos.**

- ✓ Para todas las categorías de impacto ambiental analizadas, **el “compostaje domiciliario” presenta mejor desempeño que el “enterramiento sanitario”**.
- ✓ A nivel individual u hogareño, las ventajas son contundentes; una iniciativa de este tipo siempre será positiva según se puede ver en el recuadro de abajo.
- ✓ A nivel de la GIRSU Comunal, a medida que se incrementa la cantidad de vecinos compostando, los impactos se reducen; desde 2% con el 16% de los hogares compostando, hasta 40% si se involucrara al 55% de los vecinos.

**El compostaje hogareño tiene que implementarse integradamente en una GIRSU.**

- ✓ Si los vecinos van a usar menos bolsas para sacar sus residuos, porque ahora los compostan, la gestión comunal tiene que desalentar su uso, de lo contrario no se utilizarán las bolsas para sacar residuos a la calle, pero se seguirán entregando a los vecinos cuando hagan sus compras domésticas.
- ✓ Si la gestión comunal quiere reducir el uso de recursos es conveniente poner foco en la recolección (optimizando frecuencias y recorridos) y el traslado (compactando y seleccionando lo que vaya a trasladarse, también compartiendo traslados con comunas cercanas).

**compostando 110 kg residuos por año, se evitan**

**Calentamiento  
Global**

600 km de un auto  
(naftero) - 120 kg CO<sub>2</sub>,eq



**Agotamiento de  
Combustibles fósiles**

45 MJ ó 1,2 litros  
de Petróleo crudo



**Degradación  
del Suelo**

½ m<sup>2</sup> degradado  
de suelo tipo bosque.



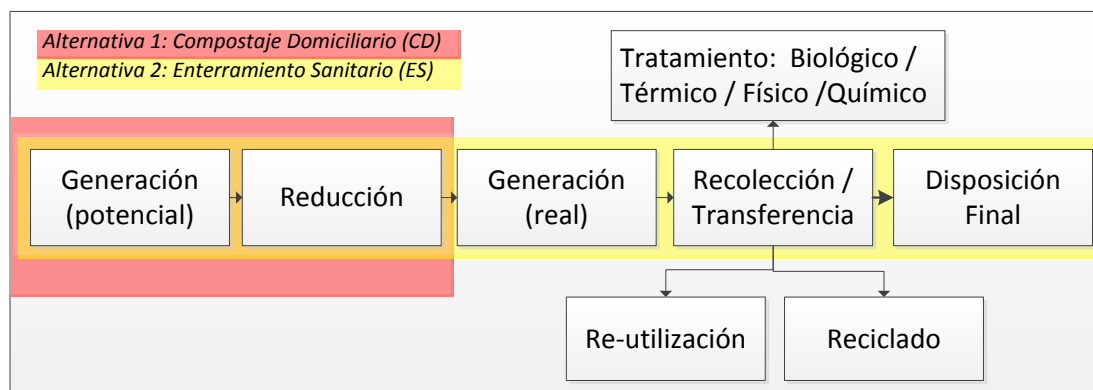
## Contenido

1	Introducción .....	1
2	El Compostaje domiciliario.....	3
3	El Enterramiento Sanitario .....	4
4	Descripción del sistema estudiado.....	5
4.1	La Comuna .....	5
4.2	Generación de RSU.....	5
4.3	Alternativa 1: Compostaje Domiciliario.....	6
4.3.1	Equipamiento e infraestructura .....	7
4.3.2	Asistencia de Técnicos .....	8
4.3.3	Manejo del proceso de compostaje .....	8
4.3.4	Cosecha y uso del compost.....	9
4.4	Alternativa 2: Enterramiento Sanitario.....	10
4.4.1	Equipamiento e Infraestructura .....	10
4.4.2	Recolección y acopio.....	11
4.4.3	Traslado hasta vertedero.....	11
4.4.4	Operación del vertedero .....	11
5	Definiciones metodológicas .....	12
5.1	Objetivos .....	12
5.2	Función y Unidad Funcional .....	12
5.3	Límites del sistema .....	12
5.4	Balances de masa .....	13
6	Construcción de inventarios ambientales.....	15
6.1	Alternativa 1: Compostaje domiciliario .....	15
6.2	Alternativa 2. Enterramiento Sanitario.....	19
7	Cálculo de impactos ambientales .....	23
7.1	Impactos analizados .....	23
7.2	Resultados .....	24
8	Análisis de Escenarios.....	27
9	Conclusiones .....	32
10	Recomendaciones .....	33
11	Anexos .....	34
11.1	Anexo I - Tasas de Compostaje Domiciliario.....	34
11.2	Anexo II – Enmiendas que puede sustituir el compost de casa.....	35
11.3	Anexo III – Categorías de impacto no analizadas. ....	35
11.4	Anexo IV - Valores asumidos para el inventario.....	38
12	Abreviaturas .....	40
13	Fuentes consultadas.....	40

## 1 Introducción

Los ejes centrales que configuran cualquier sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) son la “Generación y Clasificación”, la “Recolección”, la “Re-utilización” y el “Reciclado”, los “Tratamientos” y la “Disposición final”. Para operar en cada uno de los elementos del sistema, es necesario seleccionar una tecnología y una organización, esto es la “tecno-organización”.

Este término responde al uso combinado de un determinado conjunto de tecnologías y con un modo de organización. Un sistema como el que se muestra en la figura que se presenta a continuación, opera con una determinada tecnología y con una determinada manera de articularla y gestionarla.

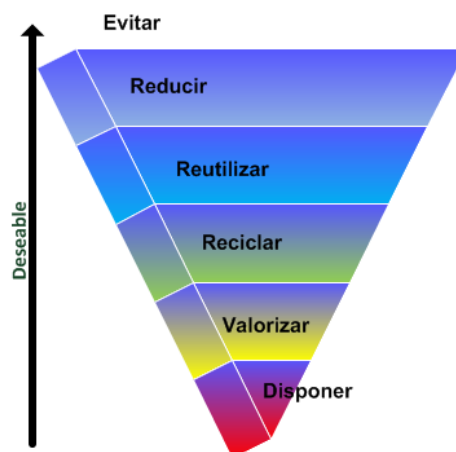


*Figura 1: elementos básicos de un sistema GIRSU municipal.*

En este marco, cada comuna o ciudad utiliza determinados criterios tecnológicos que se imponen y difunden como elementos básicos y definatorios en el sistema. En la siguiente sección se explican las características y las alternativas técnicas y organizativas, de cada uno de los elementos que conforman un sistema origen-destino de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

Las prioridades de un sistema GIRSU siguen la pauta de una pirámide invertida: lo deseable es no producir residuos, reducir su generación, reutilizar lo máximo posible en el sitio donde se generan, reciclar, generar energía y, como última instancia, la disposición final en condiciones ambientales controladas.

En todas las comunas y municipios del país, la fracción orgánica de los residuos domiciliarios participa en un orden cercano al 50% del total. A su vez es la fracción que se descompone más rápidamente, y si no es bien gestionada puede generar olores y lixiviados, además de un riesgo sanitario.



Esto motivó a que diversos espacios de trabajo del INTI-Córdoba empezaran a desarrollar, en el marco de un modelo GIRSU, capacidad técnica para asistir en la implementación masiva del Compostaje Domiciliario a escala municipal y comunal de los Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD).

Los RSOD tienen la particularidad de ser degradables ya que pueden convertirse, mediante procesos biológicos, en compuestos estables biológicamente y con propiedades que mejoran las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos. Esta transformación de los residuos, en un producto con valor agrícola, puede garantizarse si se aplica adecuadamente la técnica.

La bibliografía resalta los beneficios de compostar a nivel domiciliario (o en origen); se reducen los volúmenes a recolectar y enterrar, logrando disminuir las emisiones por transporte y su consecuente gasto energético, además de generar un producto de aplicación para el jardín, huertas y plantas en general; reduciendo el uso de insumos comerciales tanto artificiales como naturales.

Con el deseo de concientizar a la población sobre la oportunidad de implementar una técnica más limpia en términos ambientales, pero con incertidumbres sobre lo significativo del beneficio, nos propusimos realizar, mediante la metodología Análisis de Ciclo de Vida (ACV), una comparación de los impactos ambientales sobre dos alternativas de destino de los RSOD de la comuna de Villa La Serranita: Compostaje Domiciliarios Vs. Enterramiento Sanitario. Esto es una cuantificación de los beneficios ambientales del “compostaje domiciliario” en comparación con lo que la comuna venía sosteniendo desde hace tiempo, el “enterramiento sanitario”.

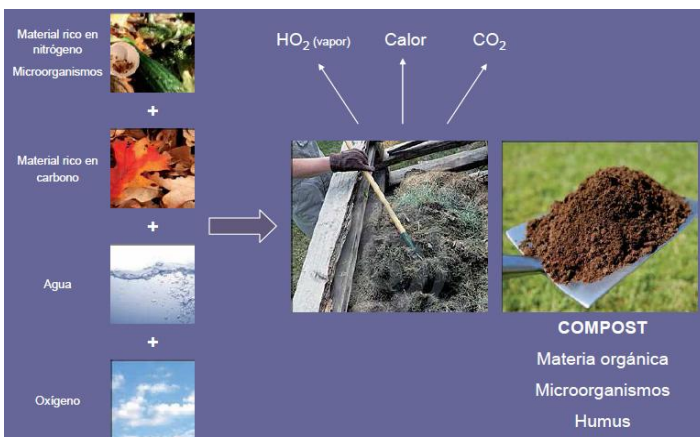
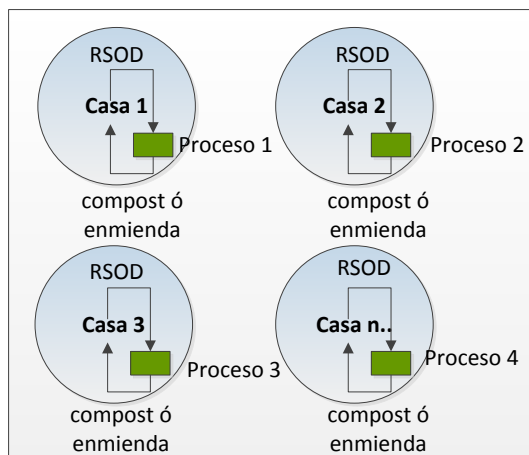
Para calcular el impacto ambiental de un producto usando la metodología ACV, es necesario en primer lugar definir algunos aspectos metodológicos del estudio, tales como objetivos del proyecto, límites del sistema, unidad de análisis (Unidad Funcional) y categorías de impacto ambiental que se quieren conocer.

Luego se construyen los “inventarios ambientales”, relevando entradas y salidas de cada eslabón del sistema, que puedan aportar a algún impacto ambiental. La información se recolecta de fuentes primarias y secundarias, nacionales e internacionales. La etapa de “Procesamiento de datos” consiste en compilar y organizar los datos de los inventarios para calcular los impactos ambientales potenciales, que se lleva a cabo a través de un software. Finalmente se analizan los resultados, se sacan conclusiones y elaboran recomendaciones.

## 2 El Compostaje domiciliario<sup>1</sup>

Es un modelo descentralizado de tratamiento de residuos que de manera individual gestiona en el hogar los residuos orgánicos generados (RSOD)<sup>2</sup>. En este modelo los ciudadanos reciclan los residuos orgánicos obteniendo compost, mediante el uso de un artefacto sencillo llamado “compostera” que busca garantizar un compostaje eficiente (adecuada humedad, temperatura y aireación).

Existen distintas composteras (artesanales o comerciales) o sistemas de compostaje (abiertos, cerrados) y en algunos casos el compostaje se realiza directamente sobre el suelo.



La técnica del compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos de tipo aeróbico, bajo condiciones de humedad, temperatura y aireación controladas, que permiten la transformación de residuos orgánicos degradables en una enmienda orgánica.

Los residuos de cocina que se recomienda agregar a la compostera son restos de frutas y verduras crudas o cocidas (siempre que no estén fuertemente condimentadas), cáscaras de huevos, saquitos de té, yerba, café, servilletas y rollos de papel de cocina. Por otro lado, no se recomienda incluir pañuelos de papel, pañales ni toallas higiénicas; tampoco residuos lácteos, grasas, quesos y carnes, ni comidas elaboradas.



Los residuos de jardín que se recomienda agregar son: hojas secas y verdes, césped seco y verde, ramitas, arbustos, restos de plantas. También se recomienda disponer guanos de cabra, oveja, caballo, conejo y vaca. No se recomienda incluir excrementos de perros y gatos, guanos de cerdos y gallinas, residuos de malezas con semillas, ni plantas y maderas tratadas con químicos.

El compost o abono orgánico es el producto que se obtiene al finalizar el proceso de compostaje. Está constituido por materia orgánica estabilizada, con presencia de partículas más finas y oscuras. Es un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas (que puedan causar daño a las plantas).

<sup>1</sup> “Instructivo para la producción de compost domiciliario”. Disponible en [www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/formatoimpresion.pdf](http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/formatoimpresion.pdf)

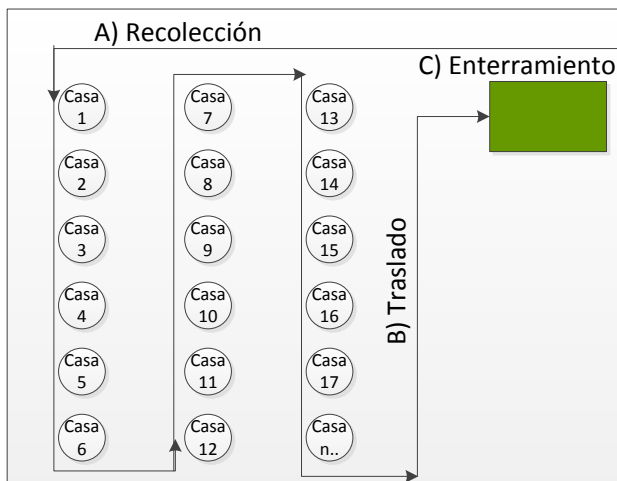
<sup>2</sup> “Manual de compostaje municipal. Indicaciones para diferentes usos del compost domiciliario”. Publicado en internet. Disponible en Página 38 de: [www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/compsmuni.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/compsmuni.pdf)

### 3 El Enterramiento Sanitario

Es un modelo centralizado de gestión llevado a cabo por el municipio, que puede coordinarse con terceros contratados. Los modelos de gestión para compostaje según el grado de centralización y de participación ciudadana, pueden clasificarse principalmente de diversos modos, en función de la cantidad de residuos a tratar, en los agentes implicados y en los recursos económicos invertidos.

La recolección de residuos puede ser mixta (secos y húmedos juntos) y/o diferenciada. La frecuencia suele ser de varias veces por semana.

En el caso de pequeños municipios y comunas, cuando no disponen de un sitio de disposición final, suelen acopiar los residuos durante un cierto tiempo, hasta que se dispone de un volumen que justifica el viaje de un camión. Estos, luego de cargarse, son transportados hasta un sitio donde se les da la disposición final



En el predio del relleno sanitario luego de la compactación y disposición de los residuos, los mismos se cubren con una capa de tierra para evitar los malos olores, la proliferación de vectores y la dispersión de elementos livianos.

Los enterramientos sanitarios requieren de una gran ocupación de terreno, por lo que es clave la compactación de los desechos para maximizar el aprovechamiento del área destinada.

Los residuos depositados son degradados por acciones físicas, químicas y biológicas; resultado de una actividad biológica intensa y de reacciones químicas entre los materiales y los líquidos lixiviados que circulan entre ellos

## 4 Descripción del sistema estudiado

### 4.1 La Comuna

El Análisis de Ciclo de Vida comparativo se situó en la comuna serrana “Villa La Serranita”<sup>3</sup>, que se encontraba implementando un proyecto piloto de compostaje descentralizado/domiciliario. La comuna se ubica sobre la Ruta Provincial N° 5, entre Alta Gracia y el Dique Los Molinos<sup>4</sup>, en el Valle de Paravachasca, en el centro del Departamento Santa María, al sur del Río Anizacate y a 50 km de la ciudad de Córdoba.

Se encuentra en una zona de variado relieve, con ondulaciones en toda la localidad. El trazado de calles es irregular. El centro de La Serranita se encuentra al norte de la Ruta Provincial y limita con Villa Los Aromos, La Rancherita y La Paisanita.

Es una pequeña villa fundada en el año 1932, cuya principal actividad económica es el turismo; sobre todo el proveniente de la ciudad de Córdoba. La particularidad de esta comuna es su geografía montañosa, y la gran



distancia entre viviendas, en lo que se denomina “el alto”, encontrando, en ocasiones, una vivienda por cuadra. Mientras que en el denominado “bajo” las casas se ubican a unos pocos metros unas de otras, pudiendo encontrar varias viviendas en una misma cuadra.

La población permanente, en número de habitantes, censada en la Villa fue de 405 (2008 DGEyC)<sup>5</sup> 417 (2001 INDEC) y 340 (1991 INDEC). Según el DGEyC (2008) existen 312 viviendas de cuales solo 119 tienen ocupación con hogares permanentes; el resto son viviendas de fin de semana, cabañas de veraneo, etc. Estos últimos datos, son los utilizados en el trabajo.

### 4.2 Generación de RSU

Según datos estimados con un promedio ponderado a partir de dos caracterizaciones de RSU realizadas en el año 2012 en la comuna Villa La Serranita<sup>6</sup>, y de datos de población del Censo 2008, la población permanente de la comuna genera un total de 0,55 [kg RSU /hab.día], participando la fracción orgánica en un 54[%]. Esta última fracción se distribuye en 35 [%] restos de comida, 19 [%] restos de jardín.

La fracción que denominamos Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (de aquí en adelante RSOD) solo incluye a los que se generan en el hogar; estos son restos de jardín o verdes (pastos, ramas, hojas, troncos, etc.) y restos de cocina (de la comida elaborada, del proceso de elaboración-cocción, de la comensalidad y de los vegetales que no se consumen). Los que aquí denominamos RSOD Compostables no incluyen a los a los fines prácticos restos de comidas procesadas, huesos, carnes ni lácteos.

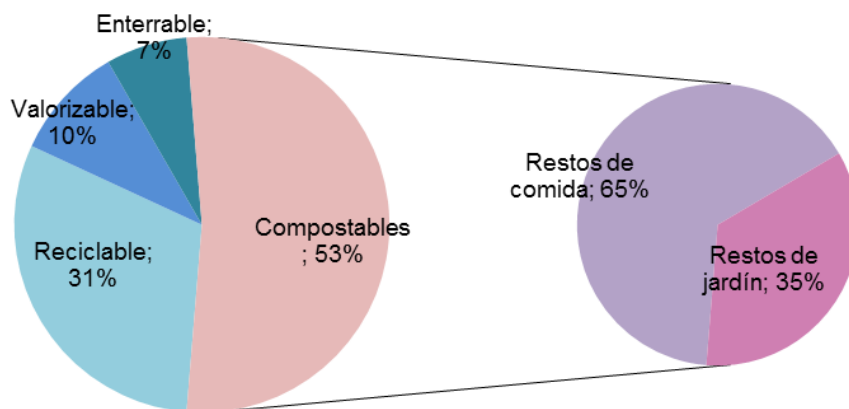
<sup>3</sup>Información disponible en [www.mininterior.gov.ar/municipios/](http://www.mininterior.gov.ar/municipios/) y [www.comunalaserranita.com.ar/](http://www.comunalaserranita.com.ar/).

<sup>4</sup>Ver mapa satelital de Villa La Serranita en <https://maps.google.com.ar/> bajo las coordenadas: -31.735686,-64.456615

<sup>5</sup>Censo 2008 de la Provincia de Córdoba. Dirección General de Estadísticas y Censos. Disponible en el sitio <http://estadistica.cba.gov.ar/>

<sup>6</sup>Más detalles en “Tasa generación RSU en Villa La Serranita”. Disponible en [www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/piloto.htm](http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/piloto.htm)



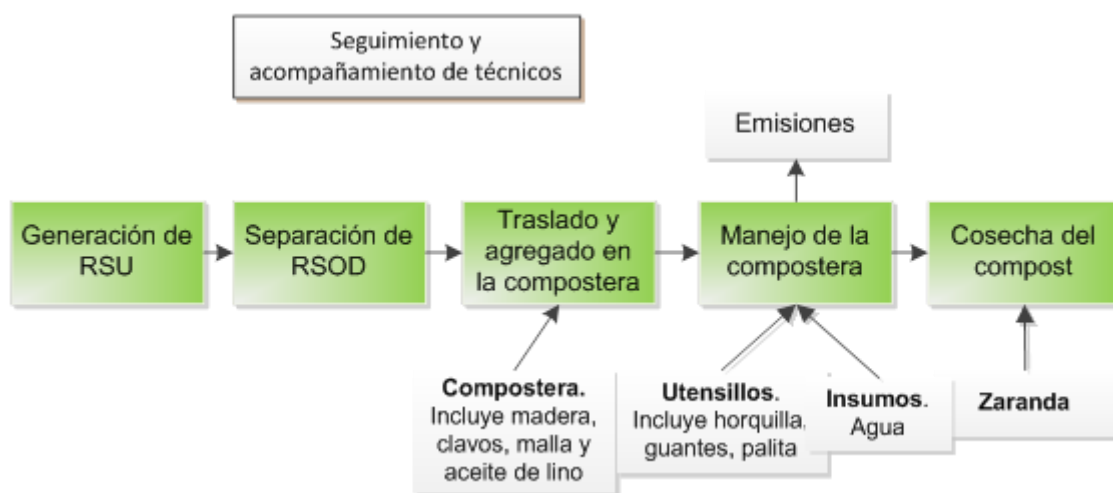


*Gráfico 1: composición de los RSU de la Comuna Villa La Serranita<sup>7</sup>.*

El equipo de trabajo del INTI-Córdoba estimó una tasa de generación<sup>8</sup> promedio de la comuna de 0,283 +/- 0,021 [kg/hab.día] de RSOD compostables. Pero además, durante los fines de semana, ingresa población eventual a la comuna ocupando parte de las 193 casas vacías que hay durante la semana. Según se pudo estimar, en función de la diferencia de RSU trasladados en el contenedor después de un fin de semana, se generan sábados y domingos un 33% adicional al de un día de semana. Esto podría estimarse en una contribución a la generación total dentro de la comuna adicional de 129,0 [kg RSU/semana].

### 4.3 Alternativa 1: Compostaje Domiciliario

El compostaje domiciliario es una práctica cotidiana de gestión de residuos que se lleva a cabo siguiendo una serie de pasos, más o menos comunes para todos los vecinos. Esto implica actividades comunes encaradas por la Comuna y los Técnicos que asesoran y acompañan, como individuales sostenidas por los vecinos. Para este estudio de caso se asumió un esquema de tareas como se muestra en la Figura 2.



*Figura 2: actividades necesarias en un sistema de "compostaje domiciliario".*

A continuación se describe cada operación incluyendo los criterios y suposiciones definidos para este estudio de caso.

<sup>7</sup> Los residuos reciclables incluyen plásticos, celulósicos, metales, vidrios y textiles. Los valorizables incluyen huesos y madera, residuos de la construcción, voluminosos y sanitarios. Los residuos para enterrar incluyen a los patógenos, los peligrosos y otros.

<sup>8</sup> Para más detalles ver Generación de RSU en Villa La Serranita. Una suposición a través de tres tipos de medición. Publicado en Internet, disponible: [www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/piloto/DTLS9.pdf](http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/piloto/DTLS9.pdf)

### 4.3.1 Equipamiento e infraestructura

#### 4.3.1.1 Compostera

##### Materiales utilizados

Cada casa posee una compostera que pueden ser de elaboración propia o provista por el municipio. Se puede usar una gran diversidad de materiales para la construcción de la misma, y el diseño final dependerá de la disponibilidad de materiales del lugar. En este caso se propuso una compostera fabricada a partir de tablas de madera provenientes de restos de costaneros de los aserraderos de la zona<sup>9</sup>. En la estructura también se utilizaron parantes de madera, clavos y una malla metálica



También se agregó una tapa para evitar el ingreso de agua de lluvia. Esta tapa y el tabique separador que ayuda a seccionar las pilas de compostaje<sup>10</sup> pueden fabricarse de distintos materiales, tales como madera de pallets descartados, de rollos de cables, o de cajones de fruta. Para los cálculos requeridos por el ACV se asumió que los vecinos usaron costaneros, el mismo material que para el resto de la estructura de la compostera.

Se construyeron tres modelos de composteras de diferentes tamaños según el número de integrantes por hogar. Para una generación de 500 g RSODC/hab.día, si se considera que el 35% es residuo de jardín (en peso) y el 65% es residuo de cocina, se estimaron las siguientes dimensiones, con tres tablas horizontales en cada lado y 0,5 metros de altura

Compostera	Hogares	Dimensiones
pequeña	hasta 3 personas	0,7m x 0,8 m x 0,5 m
mediana	hasta 5 personas	0,7m x 1,2 m x 0,5 m
grande	hasta 7 personas	0,7m x 1,5 m x 0,5 m

*Tabla 1: Dimensiones de composteras según cantidad integrantes en el hogar*

##### Tratamiento superficial

Para prolongar la vida útil de la compostera es conveniente aplicar algún tipo de cobertor sobre la madera. Puede ser usando un recubrimiento con productos:

- *naturales*, tal como aceite de lino, grasa animal, cera o resina de pino.
- *sintéticos*, tales como protectores comerciales o acrílico, que aunque es más caro, aparentemente tiene muy buenas propiedades para mantener la madera.

<sup>9</sup> En la zona existen aserraderos que procesan alrededor de 225.000 t/año de masa forestal “en pie”, de los cuales, aproximadamente el 15% se convierte en material residual, siendo una proporción importante la de los “costaneros” (sobrantes de cuadrar los troncos cilíndricos), los cuales se encuentran en las mismas zonas forestadas o en zonas urbanas próximas, con un inminente peligro de incendio.

<sup>10</sup> El separador cumple la función de seccionar la compostera, separando porciones de residuos en distintos estadios de maduración.

#### 4.3.1.2 Utensilios de manejo

Para el “manejo de la compostera” se recomienda el uso de guantes (de algodón o cuero), una herramienta para mezclar (pala o rastrillo de mano), un regador que puede ser un balde u otro similar disponible en el hogar y agua de pozo o red. También se requiere una zaranda para cosechar el compost terminado. Esta criba sirve para separar el material fino (ya compostado) del grueso (lignificado) que tarda más en compostarse. Dentro de la zaranda quedan los granzones gruesos y cae el material a utilizar como compost.



#### 4.3.2 Asistencia de Técnicos<sup>11</sup>

Para instalar el compostaje domiciliario a nivel comunal/municipal se requiere el seguimiento y acompañamiento de un cuerpo de técnicos especializados en la materia, que guíen las actividades, al menos durante el primer año de ejecución. Para esto es necesario de charlas de sensibilización destinadas a los vecinos; acompañamiento en la fabricación de composteras, seguimiento a los vecinos durante la implementación, con visitas al domicilio, evaluación de la experiencia y presentación de resultados.

#### 4.3.3 Manejo del proceso de compostaje<sup>12</sup>

Se inicia al momento que el vecino genera los residuos en el hogar y separa los RSOD compostables del resto, colocándolos provisoriamente en un recipiente o bolsa ubicada dentro de la cocina. Este residuo diferenciado, aunque es putrefactible, puede ser acopiado unos días en la cocina o trasladado directamente a la compostera. Una vez depositados los RSOD compostables en la compostera, se le deben dar las condiciones adecuadas de humedad, temperatura y aireación, siguiendo ciertas indicaciones:



- **Ubicación de la compostera:** Debe ser de fácil acceso desde la cocina del hogar; preferiblemente ubicada en un lugar con sombra en verano y sol en invierno (bajo un árbol o arbusto de hojas caducas). Además es conveniente encontrar un lugar elevado que ayuda a evitar anegamientos en caso de lluvia, y que no tenga el suelo impermeabilizado.
- **Control de humedad:** se recomienda regar cada 15 días en invierno y cada 7 en verano. Una técnica sencilla para saber si la humedad es la correcta, es tomar un puñado de material y apretarlo. Si se produce un goteo de agua entre los dedos, podemos establecer que su contenido en humedad es cercano al 40% y es correcto. En caso de exceso de humedad agregar material seco (trozos de cartón, papel, pasto y hojas secas). Es necesario que la compostera tenga una tapa para evitar en verano la desecación del material y el exceso de humedad en época lluviosa.

<sup>11</sup> Disponible en [www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/municipios](http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/municipios)

<sup>12</sup> Es posible el agregado de lombrices a la compostera, lo que ayudaría a la aireación de la pila y una mayor rapidez de degradación de la materia orgánica. Ver “Instructivo para la producción de Compost Domiciliario”, disponible en [www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/vecinos.htm](http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/vecinos.htm)

- **Control de la aireación:** se lleva a cabo mediante el volteo del material que aumenta la actividad microbiana dependiente del oxígeno y facilita la disminución del tamaño de las partículas, ayudando a eliminar exceso de agua y calor. Si existe presencia de malos olores una de las causas puede ser que el material está muy compactado y no alcanza a ingresar aire, en cuyo caso deberá voltearse con palas, horquillas, azada, etc., mezclando el material apelmazado con residuos de mayor tamaño (trozos de madera, ramitas, corteza de árbol, etc.).



#### 4.3.4 Cosecha y uso del compost

El compost está listo para utilizarse en el suelo cuando no se pueda identificar el origen de los materiales, se encuentre a temperatura ambiente, tenga olor a tierra mojada, color oscuro y tenga aspecto homogéneo. Se obtienen unos 30 kg de compost por cada 100 kg de RSOD compostables<sup>13</sup>.

##### 4.3.4.1 Tamizado

Se lleva a cabo para separar el material fino del grueso, y de aquel que necesita volver a la compostera para terminar su proceso de degradación. Se requiere de un artefacto llamado zaranda o tamiz, el cual se compone de un cajón de madera y una malla que permite el paso del compost con las medidas adecuadas y retiene todo aquel otro material que no se adecua a las condiciones del compost.



##### 4.3.4.2 Aplicación

El compost producido es utilizado por los propios vecinos como enmienda para el suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas y biológicas. Para esto es importante que el compost presente una calidad agrícola aceptable<sup>14</sup>.

Los posibles usos incluyen aplicaciones en sitios degradados y/o con poca materia orgánica, aplicaciones superficiales, incorporaciones en el terreno, como co-sustrato o sustrato de plántulas.

##### 4.3.4.3 Ahorro de "mantillo"

Para este trabajo se asumió el ahorro del mantillo; equivalente al compost que el vecino podría agregar como enmienda al suelo de su jardín. En el mercado local, existe variedad de enmiendas orgánicas, que se comercializan en distintos tamaños y variedades. El mantillo o un producto extraído directamente de los suelos, sería la enmienda con mayor similitud en sus características.

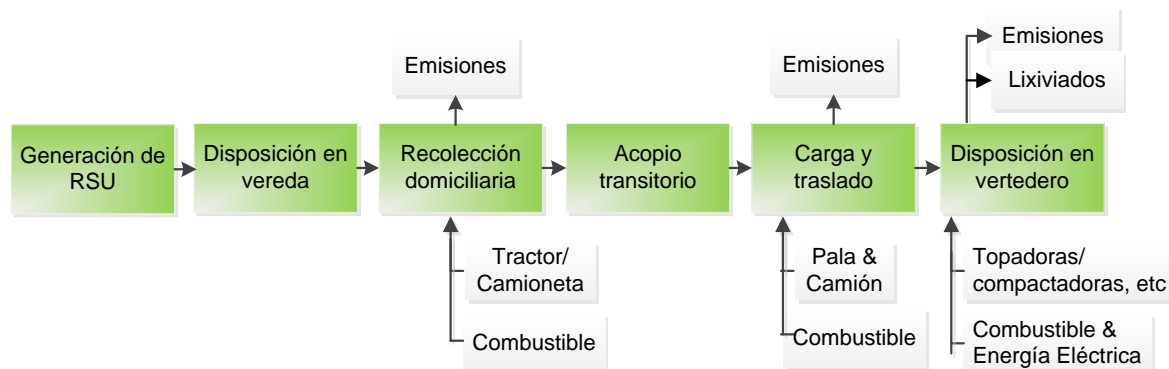


<sup>13</sup> María Fernanda Suárez (FRC-UTN). Ecuación construida en base a datos relevados en el Caso Piloto durante 2012/2013.

<sup>14</sup> Los compost de calidad agrícola tienen valores de Carbono Orgánico Total (COT) no inferiores al 20% y relaciones Carbono/Nitrógeno(C/N) menores a 20%. El software "Compost Predictor" desarrollado por Paola Campitelli, es un facilitador para determinar la calidad.

#### 4.4 Alternativa 2: Enterramiento Sanitario

Es la técnica implementada en la comuna de Villa La Serranita, para darle una disposición a los RSU generados en el hogar. El vecino embolsa todos los residuos que genera, y cuatro veces a la semana, los saca a la puerta para que personal de la Comuna los recoja. Luego los RSU son acopiados y llevados a un enterramiento sanitario de la ciudad de Córdoba. Estos pasos fueron modelados y se muestran en la Figura 3.



*Figura 3: actividades en un sistema recolección y disposición tradicional de RSU.*

A continuación se describe cada operación, incluyendo los criterios y suposiciones definidos para este estudio.

##### 4.4.1 Equipamiento e Infraestructura

###### 4.4.1.1 Tractor y camioneta recolectores

La recolección es realizada por el personal de la Comuna con un tractor o con una camioneta, los cuales se detallan a continuación.

Tractor con potencia de 25 HP que consume combustible diésel. Tracciona un acoplado con capacidad hasta 1,5 m<sup>3</sup> de RSU. Se usa para recolectar residuos de poda, aunque ocasionalmente también puede recolectar RSU.



Camioneta Ford F100 con caja, que funciona con Gas Natural Comprimido (GNC). Se usa para recolectar RSU domiciliarios, aunque ocasionalmente también puede recolectar residuos de poda.



###### 4.4.1.2 Pala de carga y camión de traslado

Para el movimiento y carga de los RSU se usa una pala mecánica con potencia de 72 HP, cargadora con retroexcavadora.

Para trasladar los RSU generados durante la semana desde la comuna hasta el lugar de la disposición final se usa un camión que funciona con combustible diésel, es de caja abierta (doble eje).



#### 4.4.1.3 Equipamiento en vertedero

Las maquinas usadas en el vertedero son topadoras que desplazan la tierra, una compactadora pesada, retroexcavadoras utilizadas para el movimiento de tierras, una moto pala para nivelar por encima de los residuos y suelo compactado y camiones para transportar la carga.

Además el vertedero posee un sistema de captación de lixiviados, mediante trampas y conductos recostados sobre el talud de la fosa y chimeneas de venteo de gases que se conectan a las trampas de gases.



#### 4.4.2 Recolección y acopio

Los vecinos generan los residuos y los colocan en un canasto o soporte fuera de la casa, en inmediaciones de la calle, a la espera de ser recogidos por los vehículos municipales. Una vez que se completó el recorrido, los vehículos descargan los residuos en un predio municipal de forma transitoria, hasta que se cuente con una cantidad tal que se justifique el traslado hasta vertedero.

Los residuos de jardín<sup>15</sup> se recolectan de manera diferenciada y no se trasladan al enterramiento; son vertidos en un espacio destinado a tal fin en terrenos de la Comuna.

#### 4.4.3 Traslado hasta vertedero

Los residuos acopiados son cargados en camión y trasladados hasta el Enterramiento Sanitario (ES) "Piedras Blancas" del gran Córdoba una vez por semana en época normal o fuera de temporada estival<sup>16</sup>.

#### 4.4.4 Operación del vertedero

La disposición final de los residuos de la ciudad de Córdoba y de más de 18 municipios, entre ellos Villa La Serranita, se lleva a cabo en el enterramiento "Piedras Blancas" que cuenta con una superficie de 60 hectáreas y está ubicado junto a la ruta 36, a unos 7 km del sur de la ciudad de Córdoba, donde funcionó un viejo basural de la ciudad. Recibe un promedio de 740.000 t RSU/año.

La actual fosa en operación tiene 180 m de ancho, con disponibilidad para ocupar 450 m de largo, 14 m de profundidad y 2 metros de altura de talud. La capacidad de la fosa es de 1.134.000 m<sup>3</sup>, que alcanza para enterrar la misma cantidad de toneladas de residuos, a una densidad, luego de la compactación<sup>17</sup> de 1 t/m<sup>3</sup> (Nieto & Passadore; 2012).

Las operaciones dentro del predio se inician con el pesaje de los camiones que ingresan, para continuar con el recorrido hacia la descarga. La tapada diaria se ejecuta con el material extraído de la propia excavación, en capas de 20 cm sobre capas de hasta 1,5 m de RSU. Los lixiviados recolectados mediante el sistema de captación se bombean a camiones cisterna y se transportan para su tratamiento. También se ventea el gas de vertedero para disminuir su potencial contaminante.

<sup>15</sup> Se incluyen en esta categoría los verdes (pasto+ hojas+ plantas) y la poda (troncos+ ramas). En la caracterización solo se incluyeron los verdes; los de poda no se cuantificaron.

<sup>16</sup> Según indicó el jefe comunal en el verano hay más generación por la afluencia de turistas. El cálculo se hizo en base a 10 viajes del 01-01-13 al 08-02-13.

<sup>17</sup> Base de datos EcoInvent. Perfil "Sanitary landfill facility".

## 5 Definiciones metodológicas

### 5.1 Objetivos

El objetivo principal del estudio es evaluar el impacto ambiental de dos alternativas de gestión para la fracción orgánica compostable (fácilmente biodegradable) de los residuos sólidos urbanos, compostaje domiciliario y enterramiento sanitario, que generan los habitantes de la comuna de Villa La Serranita, en la Provincia de Córdoba. Además se pretende determinar la contribución en términos ambientales, de distintas cantidades de vecinos sosteniendo la práctica del compostaje domiciliario descentralizado de los RSOD, a la GRSU de la comuna.

### 5.2 Función y Unidad Funcional

Para este estudio se analiza la Función “disponer los residuos sólidos orgánicos domiciliarios (RSOD) compostables generados en los hogares de Villa La Serranita”. Mientras que la Unidad Funcional<sup>18</sup> asumida son “103 kg de RSOD compostables”, cantidad de residuos que genera una persona promedio de la comuna durante un año.

### 5.3 Límites del sistema

En este punto se precisan las actividades que se incluyen y las que quedan excluidas del sistema analizado.

#### 5.3.1 Límites “a lo largo”

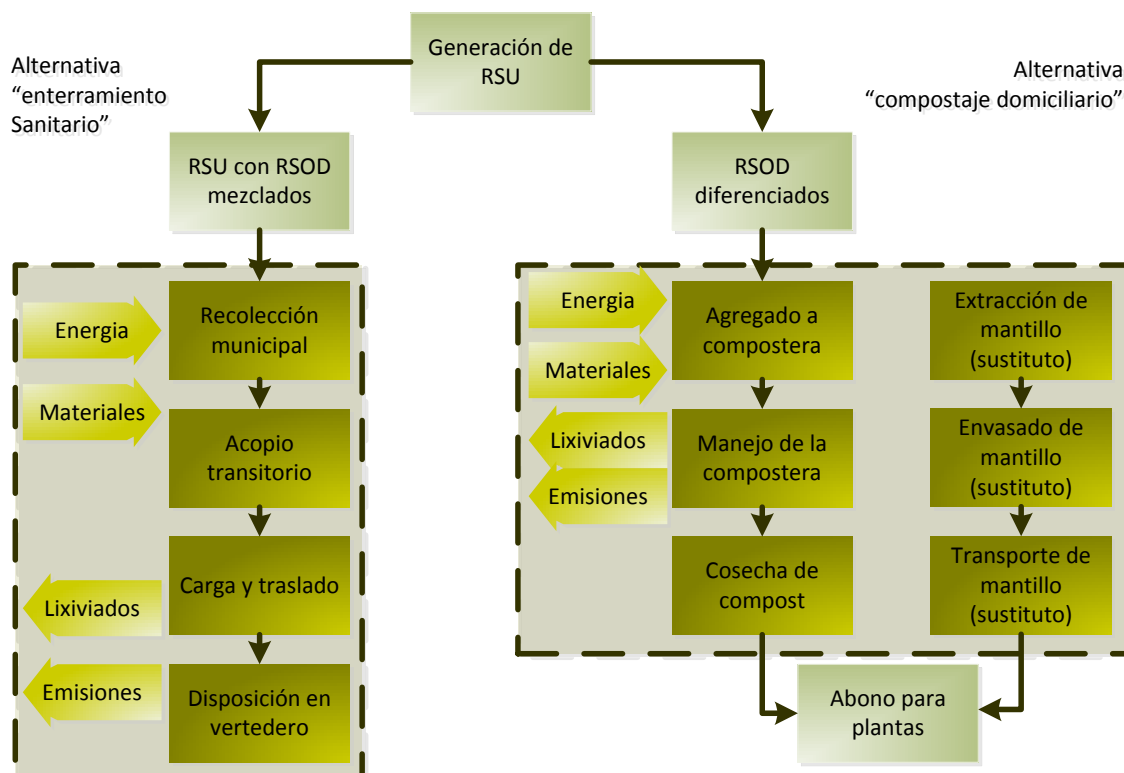


Figura 4: Límites a lo largo asumidos para las dos alternativas. Los eslabones dentro del recuadro son los incluidos.

Eslabones incluidos: Desde que los RSOD compostables son generados en el hogar, hasta el fin de cada proceso; cuando se cosecha el compost en el caso de la Alternativa 1, y hasta que los residuos son dispuestos, sin mayores interacciones con el ambiente y sin valor o posibilidad de uso, en el caso de la Alternativa 2.

<sup>18</sup> La unidad funcional refiere a la cantidad de producto necesario para cumplir una función determinada. Se la utiliza para asociar los flujos de materiales y energía que ingresan y egresan del sistema y debe ser elegida de modo que resulte práctica para la recolección de información.

Eslabones excluidos: Se deja fuera de los límites del estudio las operaciones previas a la generación de los residuos, esto es la compra de los productos (alimentos, *packaging*) y su separación. Al final de la cadena, en el caso del compostaje, se excluye el traslado del compost (si hubiera) y su uso.

Producto evitado: la cadena del mantillo se analiza desde la extracción de las capas de suelo, hasta el transporte del producto para su venta en el mercado local. También se incluye el envase.

Transporte entre eslabones. Se incluye no solo las distancias recorridas entre ciudades, sino también los medios más frecuentemente utilizados.

### 5.3.2 Límites “a lo ancho”

Para el caso del enterramiento sanitario, se incluye el uso de vehículos y maquinarias para llevar a cabo las actividades y también su depreciación. Se dejan fuera de los límites, las actividades y construcción de espacios administrativos y de mantenimiento, como así también las operaciones de cierre del vertedero. Si fueron incluidos el uso del suelo y las membranas requeridas para la construcción del vertedero controlado.

Para el caso del compostaje domiciliario se incluyeron los materiales que componen la compostera, las herramientas y utensilios<sup>19</sup> requeridos para manejo de la compostera, y las bolsas de consorcio que el vecino ahorra de comprar, debido a que mantiene los residuos dentro de su hogar.

Otros utensilios requeridos para el manejo de los residuos en el hogar, como tachos y elementos para regar no fueron tenidos en cuenta ya que se considera que se utilizan también en otros procesos. Tampoco se incluyó el canasto o “soporte” que pueden tener las viviendas en su vereda para el sosten transitorio de los residuos, previa recolección.

### 5.3.3 Límites “en profundidad”

Cada material o producto incluido en este estudio tomado de base de datos, tiene asociado todo el impacto derivado de su producción, es decir de su cadena de valor, considerando los consumos (materiales y energía) y emisiones (al aire, agua y suelo), desde la extracción de la materia prima, industrialización, traslados, etc.

### 5.3.4 Límites “geográficos”

El compostaje domiciliario (alternativa 1), se localiza en la comuna de Villa la Serranita, provincia de Córdoba. La alternativa 2, enterramiento sanitario, se inicia también en Villa la Serranita, pero incluye además a la ciudad de Córdoba Capital, donde se localiza el vertedero. Por otro lado, los perfiles complementarios utilizados, tomados de la base de datos Ecolnvent, corresponden en su mayoría a casos de Europa regionalizados para Argentina.

### 5.3.5 Límites “temporales”

Los datos relevados (primarios) corresponden a los años 2012 y 2013. Mientras que otros datos tomados de bases de datos corresponden a años previos.

## 5.4 Balances de masa

A continuación se muestran en forma gráfica los balances de masa de las dos alternativas estudiadas. Los valores están expresados para la unidad funcional, es decir la cantidad de residuos generada por una persona promedio de la comuna durante un año.

---

<sup>19</sup>Estos elementos se consideraron con sus materiales constitutivos (como plástico, metales, algodón, etc) sin tener en cuenta los procesos de producción, ni su transporte hasta el lugar donde se usan, ni su fin de vida.



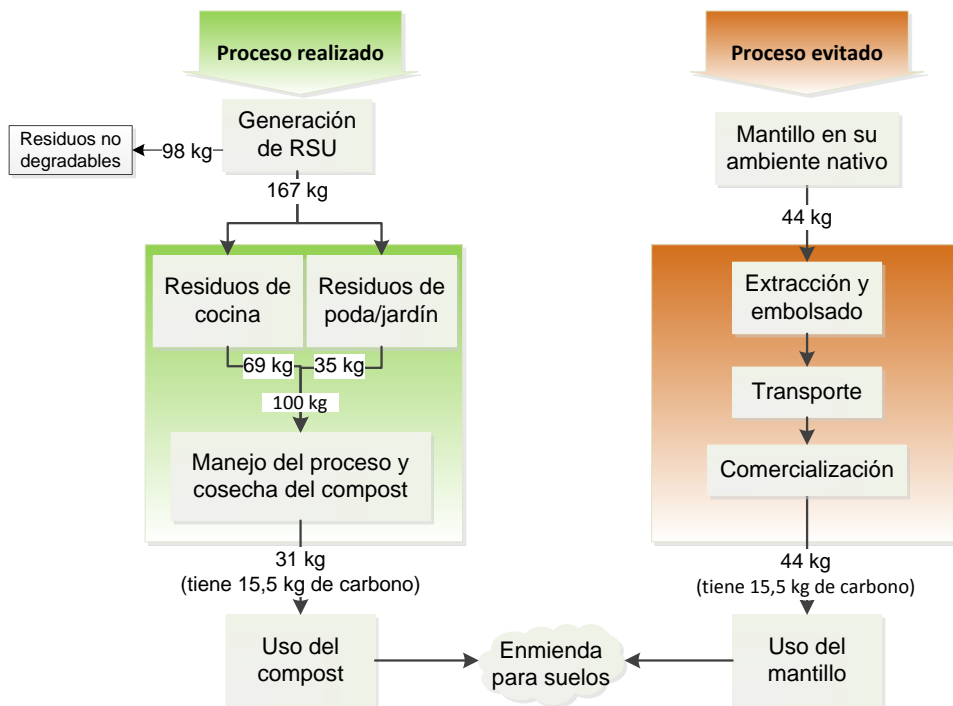


Figura 5: balance de masa para la alternativa "compostaje domiciliario (CD)".

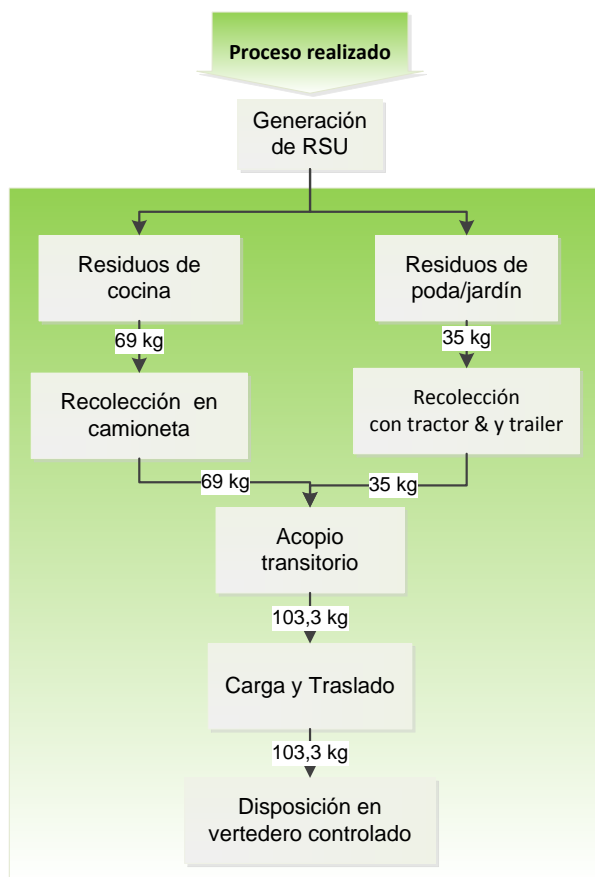


Figura 6: balance de masa para la alternativa "enterramiento sanitario (ES)".

## 6 Construcción de inventarios ambientales

Los inventarios ambientales de ambas alternativas se elaboraron con datos de diversos orígenes. Por un lado, la información referida al “compostaje domiciliario” fue relevada directamente durante la ejecución del Caso Piloto; mientras que la del “enterramiento sanitario” se tomó principalmente de un estudio previo del INTI (Nieto & Passadore Denis, 2012) que describe en forma detallada el vertedero de la ciudad de Córdoba.

También se consultaron otras publicaciones y la base de datos EcoInvent de Simapro, por ejemplo para estimar las emisiones del compostaje domiciliario, las emisiones asociadas a la generación y transporte de energía eléctrica, producción y consumo de diésel, entre otros. A continuación se describen los datos asumidos y su justificación en cada caso.

### 6.1 Alternativa 1: Compostaje domiciliario

#### 6.1.1 Construcción de la compostera

Para la estructura se asumió el uso de “lampazos”, que son la fracción de descarte de la madera de los pinos talados y trabajados en los aserraderos de la zona. Además se asumió el uso de un puñado de clavos, una malla metálica de contención y parantes de madera para formar la estructura.

Se asumió una tapa tipo ciega, es decir sin intersticios, con madera tipo lampazo (ídem a la estructura) con grosor de 2 cm y un ancho de 10-15 cm. El mismo tipo de material se asumió para la tabla o tabique divisorio interno.

Se asumió el uso de aceite de lino para el recubrimiento<sup>20</sup>, aplicado en forma diluida en aguarrás (o *tinner*). Las proporciones serían de 2/3 de aceite y 1/3 de aguarrás. Para tratar la madera de la compostera, con dos o tres manos de recubrimiento, sería necesario un litro de solución (en el caso de la compostera mediana, de 5 personas) y duraría unos 4 (cuatro) años, momento en el que habría que hacer un repaso de mantenimiento. Considerando que la compostera tendría una vida útil de 8 (ocho) años, se asumieron las siguientes cantidades:

- 1,33 litros de aceite de lino: (2 aplicaciones de 0,67 litros).
- 0,67 litros de aguarrás o *tinner*: (2 aplicaciones de 0,33 litros).

Debido a que no se realizaron mediciones en campo y no se dispone de datos de terceros, no se consideraron las posibles emisiones que se darían durante la aplicación del recubrimiento. A continuación se presenta un resumen de los datos asumidos:

Materiales	Unidad	Pequeña	Mediana	Grande
Lampazo <sup>21</sup> (estructura, parante, tapa y divisorio)	m <sup>3</sup>	0,06	0,07	0,08
Acero bajo carbono (clavos, malla)	kg	0,50	0,62	0,71
Aceite vegetal <sup>22</sup>	kg	0,99	1,25	1,45
Diluyentes (aguarrás o <i>tinner</i> )	kg	0,42	0,53	0,62

*Tabla 2: Materias primas que componen la compostera. Valores expresados para una compostera.*

<sup>20</sup>Entrevista a Sergio Brizuela, técnico carpintero, co-autor del diseño de las composteras. 07-01-2013.

<sup>21</sup> Se asumió la fracción de menor valor comercial de la madera. El perfil se toma de la base de datos EcoInvent y considera una madera secada al natural.

<sup>22</sup> Se consideró aceite de colza debido a que EcoInvent no se dispone de un perfil de aceite de lino.

Se asumió el uso de las herramientas en base a la experiencia de Villa La Serranita y se completó con información de terceros. También se tuvieron en cuenta las bolsas de consorcio que el vecino evita comprar, para sacar los residuos a la calle, debido a que los mantiene dentro de su hogar. Como las herramientas no son necesariamente de uso exclusivo de la compostera, se hizo una “asignación” del porcentaje del impacto por la producción del utensilio le corresponde a la operatoria del compostaje domiciliario.

Elemento	Material <sup>23</sup>	Vida útil <sup>24</sup>	Peso (kg)	Asignación al compostaje <sup>25</sup>
Guantes	Algodón/Cuero	6 años	0,26	50%
Rastrillo/ pala de mano	Metal	12 años	0,95	50%
Zaranda	Madera y metal	12 años	4,5 (Madera) 0,12 (Malla)	100%
Bolsas de consorcio <sup>26</sup>	Polietileno de alta densidad (PEAD)	1 uso	0,093 kg	-100%

*Tabla 3: Utensilios usados en el manejo de la compostera.*

Se determinó no considerar tachos de separación de RSOD compostables en la cocina. Estos tachos serían de helado o pintura de segunda mano, mientras que las bolsas de acarreo serían reutilizadas. No se considera regadera, ya que se riega con balde, o manguera ya disponibles en el hogar.

### 6.1.2 Manejo de la compostera

Durante el manejo de la compostera, existe un consumo de agua, que se usa para el riego, que se asumió en 30 litros por persona por año<sup>27</sup>.

Mientras los residuos se van descomponiendo, ocurren emisiones de sustancias a la atmósfera. De las publicaciones revisadas se pudo saber que a- las emisiones de gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) son importantes, b-se incrementan en la medida que más se remueve la compostera (Andersen & otros, 2011), y c- las emisiones están condicionadas centralmente por la humedad, la relación Carbono/Nitrógeno, la disponibilidad de O<sub>2</sub>, y la temperatura.

Aunque estas emisiones no fueron medidas en las composteras de la experiencia del Caso Piloto, fueron asumidos valores de Martínez-Blanco & otros (2010) para el caso base y de la base de datos de Ecolnvent<sup>28</sup> en uno de los escenarios.

Los lixiviados del compostaje son una posible fuente de pérdidas de nitrógeno en la forma de amoníaco, que se asocia al fenómeno de eutrofización<sup>29</sup>. Varios estudios encontraron importantes pérdidas de nutrientes (en especial nitrógeno) en lixiviados cuando se compostaba estiércol. Existen pocas referencias de generación de lixiviados en residuos de cocina y poda, ya que por lo general estos son mínimos si se riega de acuerdo a la necesidad de la masa a compostar (Colon & otros, 2010).

<sup>23</sup>En el inventario de los utensilios y de la bolsa, se consideran solo los materiales constitutivos, pero no los recursos y las emisiones asociadas a los procesos de fabricación.

<sup>24</sup>Los datos de material, vida útil y peso de los guantes y la herramienta de mano se extrajeron de Martínez-Blanco y otros, 2010. Datos de la zaranda estimados. Los datos de las bolsas de consorcio se tomaron de Edwards & Meyhoff Fry, 2011.

<sup>25</sup>Definido en reunión de revisión del grupo de trabajo 08/04/2013

<sup>26</sup>Las bolsas tienen una capacidad de 29,3 L ó 5,9 kg de residuos.

<sup>27</sup>Definido en reunión de revisión del grupo de trabajo 08/04/2013

<sup>28</sup>Perfil sueco de compostaje a gran escala.

<sup>29</sup>Ver detalles de esta categoría de impacto ambiental en Anexo III.

Otros autores detectaron cantidades que varían de 3 a 40 L/t de RSOD compostado. Andersen & otros (2011) indican que la cantidad de lixiviado generado es de 130 L/t de RSOD; los metales pesados lixiviados son despreciables y las pérdidas de C y N son muy bajas (0.3–0.6% de las pérdidas totales de C y 1.3–3.0% de las emisiones totales de N).

Arrigoni (2011) señala que una ventaja del compostaje descentralizado frente al centralizado es la disminución de los lixiviados. En los prototipos de composteras que se elaboran en el estudio, se incluye la aplicación de un mecanismo de recolección y contención de lixiviados.

De acuerdo a lo que señala la bibliografía, se desestimaron los lixiviados producidos durante el compostaje domiciliario.

### 6.1.3 Extracción y transporte del mantillo evitado

Como el carbono es el nutriente más importante del compost, en este estudio se utilizó este parámetro para la comparación con producto evitado. Se asumió que el compost obtenido en el hogar (30 kg cada 100 kg de RSOD) contiene un 50% de carbono para una humedad del 40%, mientras que el mantillo presenta un contenido de carbono que se encuentra en valores alrededor del 30-40% con una densidad que ronda los 0,63 ton/m<sup>3</sup> y una humedad menor a 50%.<sup>30</sup>

Como la extracción del mantillo suele realizarse hasta una profundidad de 0,20 m de suelo<sup>31</sup>, se asumió que para extraer una tonelada se degradan casi 8 m<sup>2</sup> de superficie, transformando el suelo del tipo “bosque” a un suelo de tipo de “cultivos permanentes”<sup>32</sup>. Se consideró el uso de una máquina retroexcavadora hidráulica para llevar a cabo la extracción del suelo, cuyo perfil se tomó de la base de datos de Ecolnvent y se adaptó para Argentina.

Por otro lado se asumió que el mantillo se comercializa en una bolsa de PEAD y que pesa 0,015 kg, con una capacidad de 5 litros ó 3,15 kg de mantillo<sup>33</sup>.

Finalmente, como se encontró que buen parte del Mantillo y otras enmiendas, que se venden en la provincia de Córdoba, se embolsan en la provincia de Buenos Aires, se asumió que el mantillo es transportado en camión hasta los centros de distribución y venta al público, una distancia de 700 km.

### 6.1.4 Asistencia de Técnicos

Como llevar adelante una intervención a escala municipal de compostaje domiciliario requiere del asesoramiento y la capacitación de personal especializado, se asumió que dos técnicos deberían viajar hasta el lugar de la experiencia. El total de viajes a realizar en el año se asumió en 10 (diez), considerando charlas de sensibilización, fabricación de composteras, visitas de seguimiento y presentación de resultados<sup>34</sup>.

Este asesoramiento se considera suficiente para que los vecinos sean capaces de comenzar y continuar con la técnica de compostaje durante unos 10 años, momento en el cual, se debería volver a asesorar a nuevos vecinos. En base a estos supuestos, los viajes de los técnicos se distribuyen en el total de residuos que los vecinos generan y compostan durante diez años.

---

<sup>30</sup> Información extraída del sitio web de la firma Landiner. Para más información consultar el sitio [www.landiner.com.ar/productos/2.html](http://www.landiner.com.ar/productos/2.html)

<sup>31</sup> Dra. Paola Campitelli. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

<sup>32</sup> Categorías de transformación en el tipo de suelo mencionadas en el método de análisis de impacto ambiental Ecolndicator 99.

<sup>33</sup> Polietileno de alta densidad granulado. Se consideró solo la materia prima del envase, pero no se incluyeron las actividades de la fabricación del envase.

<sup>34</sup> Ing. Violeta Silbert, INTI Centro Regional Córdoba.

Consideramos que este transporte se realiza en automóvil con capacidad para 4 ó 5 personas, y que la distancia a recorrer en cada viaje es de unos 50 km. En total se cuentan 40 viajes al año (contando ida y vuelta de dos técnicos) por lo que se estarían recorriendo unos 2.000 km, para atender a los vecinos que actualmente compostan<sup>35</sup>.

#### 6.1.5 Consolidado de Alternativa 1

Las entradas y salidas de que se muestran en la siguiente tabla tienen asociados, otros procesos previos que también implican entradas y salidas de energía y materiales, los cuales no se exponen en este resumen. Además algunos de estos procesos tienen asociado el uso de equipos (vehículos, maquinaria) e instalaciones que tampoco se exponen aquí, aunque fueron considerados en el inventario.

	<b>Entradas</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Comentario</b>
Construcción de la compostera	Estructura compostera	Madera	0,002	m <sup>3</sup>	
	Clavos, malla	Acero	0,021	kg	
	Aceite vegetal	Aceite de lino	0,041	kg	
	Solvente	Solvente	0,421	kg	
Manejo de la compostera	Guantes	Algodón/Cuero	0,004	kg	
	Rastrillo/ pala de mano	Metal	0,007	kg	
	Zaranda	Metal	0,003	kg	
		Madera	0,0003	m <sup>3</sup>	
	Bolsas de consorcio	PEAD	-0,164	kg	ahorro
Agua	Agua	30	litros		
Asistencia técnica	Traslado de técnicos	Combustible diésel	0,117	kg	3,54 km/persona.año
Ahorro de mantillo	Transformación del suelo	Suelo	-0,351	m <sup>2</sup>	
	Extracción de mantillo	Combustible diésel	-0,0085	kg	
	Transporte de mantillo	Combustible diésel	-1,740	kg	700 km
	Envase mantillo	PEAD	-1,054	kg	
	<b>Salidas</b>	<b>Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Comentario</b>
Manejo de la compostera	Emisión atmosférica	CH <sub>4</sub>	0,031	kg	
		NH <sub>3</sub>	0,003	kg	
		N <sub>2</sub> O	0,021	kg	
		VOCs	0,033	kg	

*Tabla 4: Inventario ambiental "compostaje domiciliario" para la Unidad Funcional (103 kg de RSOD compostados).*

<sup>35</sup>Son unas 56 personas distribuidas en 18 hogares.

## 6.2 Alternativa 2. Enterramiento Sanitario

### 6.2.1 Recolección y acopio

#### 6.2.1.1 Tractor con tráiler

Este vehículo realiza tres recorridos por semana en época normal (en verano realiza más viajes), consumiendo unos 5 litros de diésel por recorrido que abarca unos 60 km<sup>36</sup>, lo que significa un total de 15 litros por semana.

Recolecta residuos de poda principalmente. Como la cantidad de residuos generada en la comuna es de 269 kg/semana, se asume que en cada recorrido se recolectan 90 kg con un tráiler o acoplado. Esto significa que se consumen 0,93 litros diésel/tkm.

También se incluyen en el inventario el uso y depreciación del tractor y el tráiler. El primero se considera que tiene una vida útil de 7000 hs y pesa 3000 kg, mientras que el tráiler tiene una vida útil de 1200 hs y pesa 1500 kg.

#### 6.2.1.2 Camioneta

La camioneta realiza tres recorridos por semana, al igual que el tractor, pero en este caso recolecta los residuos domiciliarios, sin incluir los de poda que los recolecta el tractor.

El combustible que usa es GNC. Con una carga completa de los dos tubos de 16 m<sup>3</sup> c/u se pueden hacer dos recorridos, con un total de 150 km, teniendo en cuenta los recorridos internos en la comuna y los viajes de ida y vuelta a Alta Gracia para cargar el combustible<sup>37</sup>. En base a estos datos se asumió que un recorrido comprende 75 km, de los cuales 60 km se recorren dentro de la comuna y 15 km para llegar a Alta Gracia.

Los residuos que recolecta son domiciliarios (de la población residente, más el excedente de fines de semana), sin incluir la poda, y suman 1.224 kg/semana, significan un total de 408 kg/recorrido. Se consumen entonces, unos 0,52 m<sup>3</sup> de GNC/tkm recorrido ó 0,21 m<sup>3</sup> de GNC/km. De acuerdo al valor de densidad del GNC<sup>38</sup> corresponden 0,16 kg de GNC/km.

#### 6.2.1.3 Acopio transitorio

Los residuos son acopiados durante aproximadamente una semana, a la espera de su traslado hasta su destino final, en un predio cercano a la zona residencial.

### 6.2.2 Carga y Traslado

#### 6.2.2.1 Carga

La carga de los residuos en el camión que los traslada, se realiza una vez por semana con una pala cargadora. Para poder realizar esta operación no solo hace falta cargar, sino también trasladar el equipo de la pala desde las inmediaciones hasta el sector de acopio transitorio<sup>39</sup>. Se estimaron los siguientes tiempos de uso de la pala<sup>40</sup>:

- Carga de residuos: 5 min/m<sup>3</sup> RSU
- Viaje de ida y vuelta hasta acopio: 30 minutos/operación.

<sup>36</sup> Entrevista a empleados de la Comuna Villa La Serranita. Febrero de 2013.

<sup>37</sup> Entrevista personal con empleados comunales usuarios de la camioneta. Carlos Guzmán, presidente comunal, había informado un gasto aproximado de \$50/día en GNC. Si se tiene en cuenta el costo del GNC que ronda los \$91/32 m<sup>3</sup>, es decir unos 45 \$/día (para los 16 m<sup>3</sup> usados por día) se estaría en el mismo valor de consumo, considerando otros recorridos adicionales que hace el vehículo.

<sup>38</sup> Base de datos Ecolnvent, densidad del gas natural comprimido (GNC) 0,76 kg/m<sup>3</sup>

<sup>39</sup> Se tomó un perfil de Ecolnvent, que considera la quema de combustible diésel en la operación del equipo y el uso de aceite lubricante, adaptado a las condiciones productivas de Argentina.

<sup>40</sup> Estimación propia de acuerdo a comentarios de los responsables de la tarea y conocimiento de la actividad.

### 6.2.2.2 Traslado

Actualmente, los residuos son llevados al relleno “Piedras Blancas” en el gran Córdoba, a unos 45 km de la comuna. El recorrido que se realiza una vez por semana se hace con un camión de caja abierta (doble eje) con capacidad de carga de 9 m<sup>3</sup> ó 6500 kg<sup>41</sup>.

En cada viaje semanal, se trasladan unos 1.224 kg de residuos (domiciliarios sin la poda). El consumo de combustible se tomó de la Asociación Argentina de propietarios de camiones<sup>42</sup>. Además se consideró el lavado del camión usando unos 50 L de agua<sup>43</sup>.

### 6.2.3 Disposición final

#### 6.2.3.1 Características del predio y construcción de la fosa

Como la disposición final de los residuos se realiza en un predio donde antes funcionaba un basural a cielo abierto (BCA), no se consideró la transformación del suelo que implica un enterramiento sanitario. En cambio se tuvo en cuenta la ocupación del suelo, que según el volumen de residuos que puede contener la fosa, estaría usando 3,18 ha/año para el total de residuos recibidos.

Se asumió que la impermeabilización artificial del fondo de la fosa se realiza con membranas flexibles de polietileno de alta densidad (PEAD), con espesor de 1,4 mm y densidad<sup>44</sup> de 940 kg/m<sup>3</sup>. También el uso de membrana geotextil<sup>45</sup> de 3 mm que le da la protección mecánica necesaria y el recubrimiento de todo esto con una capa de tierra compactada de mínimo 40 cm. De acuerdo a la densidad y el peso de los polímeros, y de la cantidad de superficie a cubrir, se calculó la cantidad de estos materiales utilizados..

#### 6.2.3.2 Gases generados

Los enterramientos sanitarios actúan como reactores anaerobios, transformando la materia orgánica fermentable en biogás. Este biogás, que depende (en cantidad y calidad) de la composición y antigüedad de los residuos, está compuesto por CH<sub>4</sub> en más de un 50%, CO<sub>2</sub>, y los gases trazas, que se encuentran en proporciones muy pequeñas, como NH<sub>3</sub>, CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y compuestos orgánicos volátiles (COV). Éstos últimos son tóxicos y son responsables de la generación de olores.

El gas se produce únicamente a partir de las fracciones biodegradables tales como alimentos, jardín, papel, cartón y textiles orgánicos. La descomposición se da en períodos cortos que van desde días y hasta los 5 años, y en largos como gomas, cueros, textiles, etc., que demoran entre 5 y 50 años. Se asignó la totalidad de los gases generados a la fracción orgánica, con una tasa promedio de 250 Nm<sup>3</sup>/ton de RSOD ingresados<sup>46</sup>.

Como el gas del vertedero se ventea con una eficiencia de captación que varía de 30% a 70% de lo que se genera, se asumió para el de la ciudad de Córdoba una

<sup>41</sup> Promedio camión cola de pato y camión compactador. Se usan indistintamente uno o el otro.

<sup>42</sup> Guillermo Tomasoni, Gerente AAPC. El perfil de Ecolnvent que se usó es el de camiones que transportan entre 3,5 a 7,5 toneladas. También se incluye el viaje de ida del camión vacío.

<sup>43</sup> Estimación propia en base al análisis de estudios donde se menciona el lavado de camiones.

<sup>44</sup> Son membranas flexibles de polietileno de alta densidad, que controlan con su baja permeabilidad la migración de líquidos y gases a los suelos inferiores. Información disponible en el sitio [www.mlingenieria.com/pdf/geomembrana/Ficha\\_Tecnica\\_Geomembrana\\_HDPE\\_60.pdf](http://www.mlingenieria.com/pdf/geomembrana/Ficha_Tecnica_Geomembrana_HDPE_60.pdf)

<sup>45</sup> Un peso de 0,350 kg/m<sup>2</sup> corresponde a un geotextil de 3,3 mm de espesor. Otro geotextil de 2,8 mm presenta una peso de 0,27 g/m<sup>2</sup>. Información disponible en internet, en el sitio [www.polimeros.com](http://www.polimeros.com).

<sup>46</sup> En Nieto & Passadore Denis, 2012 citan un tabla con datos de McDaugall (2001) donde se muestra que tanto para papel, orgánicos y textil, el gas generado son 250 Nm<sup>3</sup>/tonelada de residuos. Afirman que el dato también es coherente con el valor de 150 Nm<sup>3</sup> que se obtiene en un proceso de biogasificación, ya que en el enterramiento el proceso no es acelerado y se produce en períodos prolongados, es lógico que se produzca la descomposición completa y se obtenga una tasa mayor.

eficiencia en la captación del 67% del total. Las cantidades y tipos de gases finales emitidos a la atmósfera luego del venteo se tomaron de Nieto & Passadore Denis, 2012. Ver Anexo IV.

#### 6.2.3.3 Lixiviados<sup>47</sup>

-Sobre el volumen, está principalmente determinado por el contenido inicial de humedad en los RSU, por las características de “sellado” del vertedero y por los niveles de precipitaciones del área. El “agua” actúa sobre la fracción fermentable y los residuos, disolviendo muchos de ellos y produciendo la hidrólisis de otros. Los lixiviados producidos de RSU mezcla tienen normalmente una carga orgánica muy alta (DBO y DQO), lo cual produce daños en la flora y fauna y en los alrededores en caso de que se produzcan un drenaje del mismo. Para este caso se asumió que por cada tonelada de residuo enterrado se producen 150 litros de lixiviados, produciendo 5 litros/t.año durante 30 años.

-Sobre la captación, a pesar de que los rellenos son construidos con geomembranas y, en algunos casos, sobre una capa de arcilla compactada, está generalmente aceptado que tarde o temprano los revestimientos de las fosas de los vertederos terminarán por ceder y, si los lixiviados no son recolectados, existe el riesgo de que se produzcan filtraciones que alcancen a los estratos rocosos y a las napas. Sin embargo, es difícil estimar la cantidad que efectivamente puede recuperarse, y la que se fuga hacia el suelo, sobre todo teniendo en cuenta que el valor de generación depende de muchos factores. Se asumió que se recolecta el 70% de los lixiviados, quedando un 30% que puede filtrar al suelo.

-Sobre el tratamiento de lixiviados, involucra una serie de procesos físicos (neutralización, evaporación, secado, etc.) y biológicos (digestión anaerobia, bio-oxidación) que permite que los líquidos resultantes puedan ser incorporados a cursos de agua. Se asumió que la porción recuperada de lixiviados se trata con una eficiencia del proceso del 90%, para los que son trasladados hasta dos destinos posibles<sup>48</sup>: la Planta de Cloacales de Bajo Grande, distante a 20 km y la planta de tratamiento de lixiviados del antiguo relleno sanitario de Bouwer, a 5,9 km.

La única energía eléctrica utilizada en la disposición final de los residuos, es la que insume el tratamiento de lixiviados, que ronda los 2 kWh/m<sup>3</sup>; por lo que si se generan 15 litros/t RSU, se consumen 0,3 KWh/ t RSU<sup>49</sup>. Se asumió que los residuos sólidos generados luego del tratamiento son 15 kg/m<sup>3</sup> ó 2,25 kg/t RSU y son tóxicos<sup>63</sup>.

-Respecto al origen de los lixiviados, reconociendo que *no se dispone de información* precisa que permita individualizar los procesos bioquímicos involucrados con respecto a cada una de las fracciones de RSU enterradas, con excepción de la relación DBO/DQO, que se deriva de la fracción biodegradable, para las sustancias que regularmente se encuentran en un lixiviado se realizó una asignación para los RSOD de 0%, 51% ó 100% según se muestra en el Anexo IV

-Sobre la composición del lixiviado luego del tratamiento, se asumieron valores típicos promedios, que se muestran junto a los valores de asignación, en el Anexo IV.

#### 6.2.3.4 Consumos de energía

El consumo de combustible diésel global en la operatoria del Enterramiento Sanitario oscila entre 53 y 60 mil litros por mes. Lo que corresponde al consumo de las máquinas y equipos usados en el predio. Si se asumen unos 60 mil litros mensuales, equivale a 1 litro de diésel por tonelada enterrada.

<sup>47</sup> Los supuestos se tomaron de Nieto & Passadore Denis, 2012.

<sup>48</sup> En el inventario ambiental se definió usar una distancia promedio de ambos valores.

<sup>49</sup> Nieto & Passadore Denis, 2012.



## 6.2.4 Consolidado de Alternativa 2

	<b>Entrada: material/energía</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Recolección	Recolección RSU	Combustible GNC	3,083	kg
	Recolección poda	Combustible diésel	1,721	kg
Carga y traslado hasta vertedero	Carga (retroexcavadora)	Combustible diésel	1,372	kg
	Traslado (camión)	Combustible diésel	1,226	kg
	Lavado de camiones	Agua	4,219	litros
Construcción y operación del vertedero	Geomembrana	PEAD	0,012	kg
	Membrana Geotextil	PP	0,003	kg
	Tratamiento Lixiviados	Energía Eléctrica	0,031	kwh
	Operación de vehículos	Diésel	0,103	litros
	<b>Salidas</b>	<b>Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Operación en vertedero (venteo de gases)	Emisión atmosférica	Particulado	1,8E-04	kg
		CO	0,011	kg
		CO <sub>2</sub>	28,687	kg
		CH <sub>4</sub> (no captado)	2,288	kg
		NOx	0,007	kg
		N <sub>2</sub> O	1,2E-07	kg
		SOx	0,001	kg
		HCl	0,001	kg
		HF	7,7E-05	kg
		H <sub>2</sub> S	0,001	kg
		HC totales	0,012	kg
		HC clorados	3,2E-04	kg
		Dioxinas y furanos	9,5E-12	kg
		Amoníaco	6,0E-09	kg
Metales pesados	5,19E-07	kg		
Quema de combustibles en motores (Diésel y Gas Natural)	Emisión atmosférica	CO	0,030	kg
		CO <sub>2</sub>	10,405	kg
		NOx	0,107	kg
		CH <sub>4</sub>	1,12E-03	kg
		N <sub>2</sub> O	3,19E-04	kg
		SO <sub>2</sub>	1,68E-03	kg
		Benzeno	3,47E-05	kg
		PAH	6,09E-06	kg
		NMVOC	3,00E-03	kg
		Tolueno	8,87E-05	kg
		Xileno	8,88E-05	kg
		NH <sub>3</sub>	5,89E-04	kg
		Particulado	0,009	kg
		Metales pesados	2,89E-05	kg
		Benzo(a)pyrene	3,00E-08	kg
		Selenio	1,60E-08	kg
		Butadieno	6,50E-07	kg
		Acetaldehído	1,28E-05	kg
		Acrolein	1,54E-06	kg
		Formaldehido	1,97E-05	kg
Propano	4,29E-05	kg		
VOCs	1,35E-03	kg		
Ethane, tetrafluoro, HFC-134a	1,42E-05	kg		

Tabla 5: Inventario ambiental "enterramiento sanitario", para la Unidad Funcional (103 kg de RSOD compostados).

## 7 Cálculo de impactos ambientales

Para el análisis de los datos relevados en el inventario y el cálculo de resultados, se llevan a cabo una serie de pasos:

- *Clasificación*: consiste en agrupar los valores e información relevados en el inventario ambiental, en función de las categorías de impacto ambiental a las que aporten.
- *Caracterización*: consiste en calcular en qué cantidad contribuye cada sustancia a cada categoría de impacto ambiental, de acuerdo a fórmulas preestablecidas, o a través de factores de disponibilidad global de los recursos.

Luego se suman los aportes de cada sustancia y se calculan las contribuciones totales para cada categoría de impacto de cada etapa y de cada alternativa.

Para llevar a cabo estos pasos se empleó el método de cálculo EDIP 2003, de origen danés. Para incluir otras categorías de impacto, de interés en este estudio en particular, y que no se encuentran presentes en el método EDIP 2003, se tomaron criterios y valores de caracterización del método EcoIndicator 99. Ambos métodos se encuentran disponibles en el software de análisis SimaPro 7.3.2, de origen holandés, creado y distribuido por PRE Consultants<sup>50</sup>.

### 7.1 Impactos analizados

A los fines de conocer el impacto de las dos alternativas de destino de la fracción orgánica compostable de los residuos domiciliarios (RSOD) de la comuna de Villa La Serranita, se definió estudiar las siguientes categorías de impactos en el ambiente.

Categorías de impacto	Alcance	Método de análisis
* Calentamiento global	Global	EDIP 2003
* Destrucción de la capa de O <sub>3</sub>		
* Agotamiento de recursos no renovables (minerales)		EcoIndicator 99
* Agotamiento de combustibles fósiles (combustibles)		
* Uso de suelo y degradación de suelos <sup>51</sup>	Local	

El “*Calentamiento global potencial*”<sup>52</sup> refiere al aumento de la temperatura media global de la atmósfera terrestre y de los océanos. Deriva del “efecto invernadero” causado por la absorción de ciertos gases atmosféricos, de parte de la energía que el suelo emite, como consecuencia de haber sido calentado por la radiación solar. Aportan a este impacto: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Hidrocarburos Halogenados y N<sub>2</sub>O. Los valores se expresan en cantidad equivalente de Dióxido de Carbono emitido [kg CO<sub>2</sub> equiv]

La “*Destrucción de la capa de O<sub>3</sub>*”<sup>53</sup> refiere a la reducción del ozono estratosférico, lo que provoca mayores niveles de radiación solar nociva (rayos ultravioleta) sobre la superficie de la tierra. Implica una amenaza a la diversidad biológica y también influye en la regulación del clima. En las personas, puede provocar daños a la piel y a la visión.

<sup>50</sup> El software es utilizado en la industria, institutos de investigación y consultoría en más de 80 países. Más información en el sitio [www.pre-sustainability.com/content/about-pre](http://www.pre-sustainability.com/content/about-pre)

<sup>51</sup> Los cortaderos de ladrillos y la extracción de tierra negra para parques y jardines, es un problema ambiental mencionado en la publicación de Kopta, 1999.

<sup>52</sup> Se basa en el reporte de estatus del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC).

<sup>53</sup> Se basa en los valores del reporte de estado del “Proyecto Global de Investigación sobre el Ozono”, para los años 1992-1995.

La principal causa del debilitamiento de la capa de ozono, es el uso y emisión de sustancias químicas denominadas Hidrocarburos Halogenados. Los valores son llevados a cantidad equivalente de sustancias Clorofluorocarbonadas emitidas [kg CFC-11equiv].

El “*agotamiento de recursos no renovables*” (materiales y combustibles) refiere al uso de recursos proporcionados por la naturaleza y que no pueden ser producidos, cultivados, regenerados o reutilizados a una escala tal que pueda sostener su tasa de consumo. Estos recursos frecuentemente existen en cantidades fijas ya que la naturaleza no puede recrearlos en periodos geológicos cortos.

El impacto ambiental se cuantifica mediante la suma ponderada de diferentes recursos escasos y se mide a través de la energía extra que sería necesario emplear para extraer los recursos, debido a su menor calidad futura. Esta apreciación se basa en la suposición de que la humanidad siempre extrae los mejores recursos primero, dejando los de menor calidad para generaciones futuras, quienes deberán realizar un mayor esfuerzo para extraer los remanentes. El impacto se mide como la energía extra requerida por unidad de recurso extraído [MJ energía extra/kg de recurso].

El “*uso y degradación de suelos*” es un impacto que afecta la diversidad de las especies. Refleja los daños ocasionados por modificaciones en el uso y por tipo de ocupación del suelo, sobre la diversidad de especies. Los valores se expresan como la fracción potencialmente desaparecida por área y por año [PDF\*m<sup>2</sup>yr]

## 7.2 Resultados

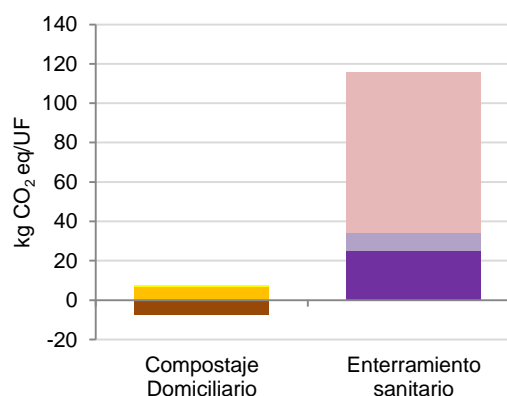
A continuación se presentan los valores obtenidos para cada categoría de impacto en la tabla 5 con los y luego en los gráficos, que los muestran con mayor claridad.

Categoría Impacto	Unidad	Aparato Compostera	Manejo residuos	Sustituto Mantillo	Asistencia técnica	Recolección municipal	Carga y traslado	Operación en vertedero
		Compostaje domiciliario				Enterramiento Sanitario		
Calent. Global	kg CO <sub>2</sub> eq	0,19	6,57	-7,57	0,52	26,47	9,08	81,34
Adelg. capa de O <sub>3</sub>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,7E-7	4,1E-9	-1,5E-6	9,2E-8	2,7E-6	2,1E-6	8,9E-8
Uso del Suelo	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,46	0,06	-10,20	0,00	0,17	0,05	0,01
Uso de Minerales	MJ surplus	0,03	0,01	-0,08	0,01	2,90	0,12	0,01
Uso de Comb. fósiles	MJ surplus	0,19	-0,87	-14,59	0,58	31,65	12,33	0,63

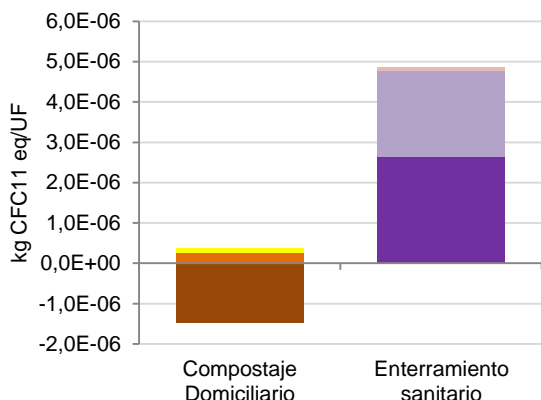
Tabla 6: impactos ambientales de las alternativas estudiadas. Valores caracterizados.

### Calentamiento global

Se aprecia un mayor aporte de emisiones para la alternativa ES, que superan 18 veces a las del CD. Las emisiones del ES se deben principalmente al venteo del gas del vertedero (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>). En el caso del CD, se observan pocas emisiones, destacándose las evitadas por no extraer mantillo (emisiones de CO<sub>2</sub> por el transporte) y también, algunas emisiones en el manejo de las compostera (N<sub>2</sub>O; CH<sub>4</sub>).



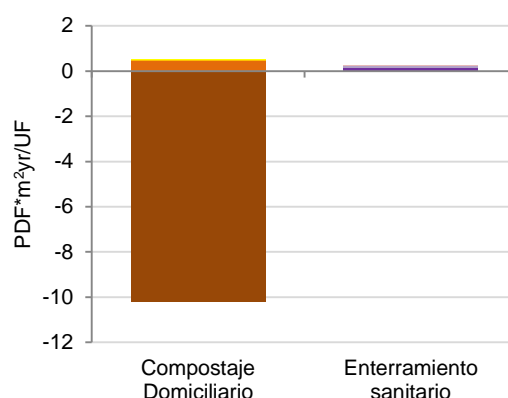
## Adelgazamiento de la capa de Ozono



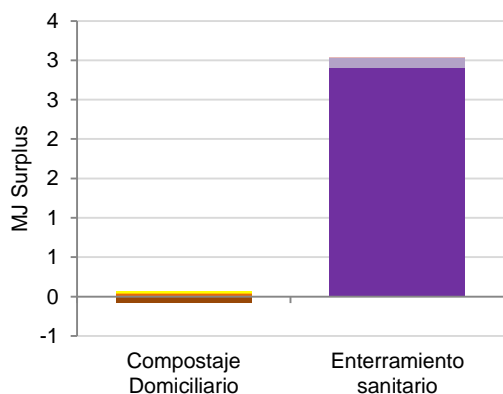
Se aprecia un mayor aporte de emisiones para la alternativa ES, que supera 18 veces a las del CD. En el primer caso son ocasionadas en forma casi equivalente por la recolección y por la carga y traslado de residuos. En ambos casos se trata de emisiones debido al uso de combustible diésel. Por el lado de la alternativa CD, se observan pocas emisiones, destacándose las evitadas por no extraer y transportar mantillo y el consecuente ahorro de combustible diésel.

## Uso del Suelo

La mayor incidencia para esta categoría de impacto ocurre para la alternativa CD, en particular se observa un gran ahorro en la transformación de un tipo de suelo, derivado de la no extracción del mantillo. Esta actividad evitada, tiene un alto impacto sobre los suelos del tipo bosque, ya que lo que se extrae es la capa superior con alto contenido de nutrientes, dejando al suelo desprovisto de los mismos, y con menor protección. El ahorro observado en el CD es más de 20 veces superior al uso efectivo de suelo de la misma alternativa.



## Agotamiento de recursos no renovables (materiales)



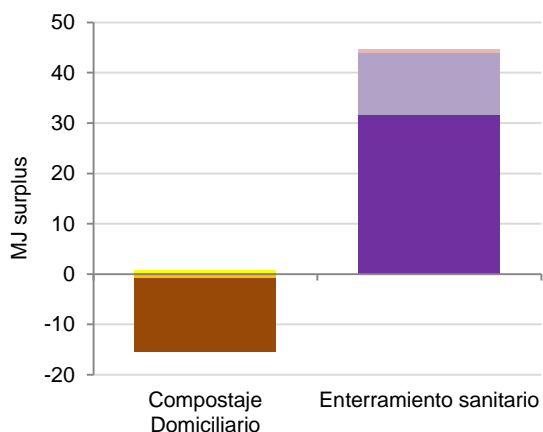
Se observa que los mayores consumos aparecen en la alternativa ES principalmente por la recolección municipal de residuos que utiliza vehículos fabricados con distintos metales escasos<sup>54</sup>. Por el lado del CD, existen algunos consumos para la fabricación de las herramientas usadas en el manejo de la compostera y ahorros en el uso de vehículos fabricados con metales escasos, derivados de la no extracción de mantillo. Los consumos del ES superan unas 90 veces a los consumos del CD.

## Agotamiento de Combustibles fósiles

Los mayores consumos corresponden a la alternativa ES, que supera a los consumos del CD alrededor de 68 veces. En el primer caso se trata de consumos debidos a la recolección municipal, son consumos de diésel para el movimiento del tractor y tráiler, y de GNC para la camioneta. También se aprecia un consumo relevante en la carga y traslado de los residuos hasta el vertedero, por el uso de combustible diésel en la pala mecánica que hace la carga y en el camión que hace el traslado.

<sup>54</sup> El otro método de análisis citado aquí, EDIP 2003, muestra la misma tendencia en cuanto al uso de recursos en la cadena del enterramiento sanitario, arrojando los mismos resultados que se muestran con el método Eco Indicator 99.

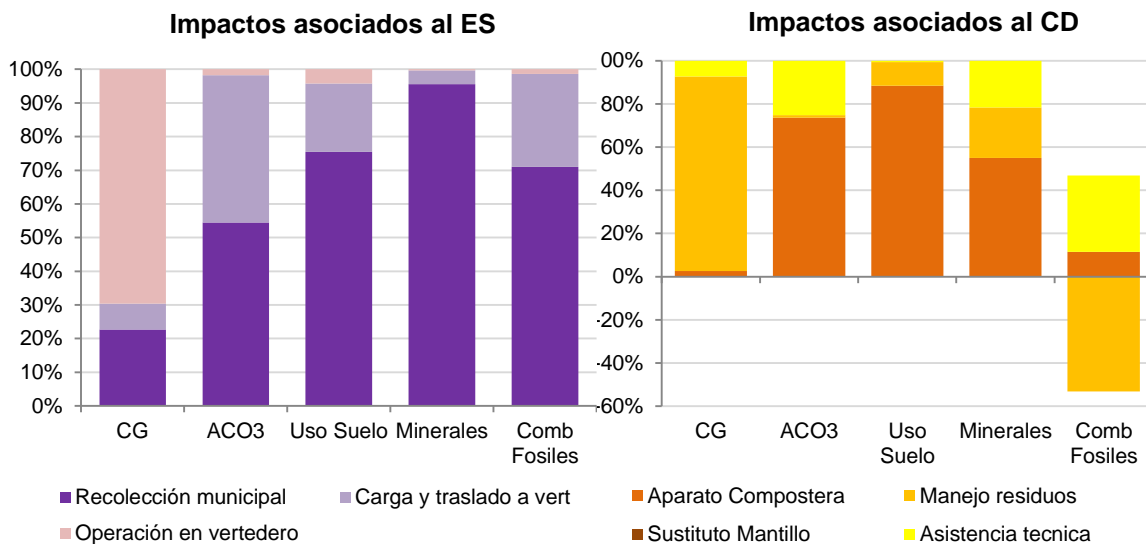
Para el CD se destaca el ahorro en el consumo de combustibles, evitados por no extraer y transportar el mantillo hasta los centros de consumo. También se puede destacar el ahorro en la producción de bolsas de PE, que se usan para envasar el mantillo y para sacar los residuos a la calle, acción que en el CD no sucede.



### Impactos en porcentaje del total

En forma porcentual puede apreciarse a continuación, el aporte de cada etapa a cada categoría de impacto. Para el ES se destaca la operación de recolección municipal en la mayoría de los impactos, a excepción del calentamiento global, donde las emisiones del vertedero pasan a tener un mayor aporte. La carga y traslado hasta vertedero también tiene su influencia, en especial en las categorías de impacto adelgazamiento de la capa de O<sub>3</sub> y consumo de combustibles fósiles.

En el caso del CD, se muestran las operaciones del propio compostaje sin tener en cuenta los ahorros del mantillo. Se aprecia un importante aporte para tres de las categorías de impacto analizadas, para la operación de fabricación del aparato "compostera". Se pueden destacar también las emisiones en el manejo de la compostera que aportan al calentamiento global y los ahorros en combustibles fósiles por el no uso de bolsas para sacar los residuos a la calle. La asistencia técnica tiene algunos aportes de interés en especial en el consumo de combustibles fósiles.



*Gráficos 2: Aportes relativos de cada operación a las categorías de impacto ambiental.*

## 8 Análisis de Escenarios

Los resultados obtenidos en la sección anterior brindan información para los vecinos interesados en conocer el aporte de su gestión diferenciada de RSOD compostables, al beneficio ambiente que los rodea. Además de esta mirada “individual”, resulta interesante conocer de qué manera la gestión diferenciada y el compostaje en distintos tamaños de grupos de participación, pueden colaborar a descomprimir un sistema de recolección, traslado y disposición final de RSU en vertedero, con desempeño ambiental negativo.

### 8.1 Escenarios respecto a la GIRSU

Para llevar a cabo la simulación de los escenarios se planteó una nueva unidad funcional, que analiza la cantidad de residuos generados más allá de un hogar en particular, modelando lo que sucedería con el total de RSOD generados en la Comuna si distintas cantidades de hogares se sumaran a la práctica del compostaje domiciliario.

Escenario	Descripción	Suposiciones
Esc1: de mínima	<b>16%</b> de los RSOD generados diariamente en la comuna estarían siendo desviados de la recolección y disposición tradicional. Es la situación de partida del Caso Piloto llevado a cabo en Villa La Serranita.	La cantidad de residuos que se desvían del sistema tradicional hacia el compostaje, no justifica la modificación en la frecuencia de recolección y traslado de los RSU hasta el vertedero.
Esc2: esperable	<b>25%</b> de los vecinos compostando, es el valor al que se espera llegar en la segunda etapa de sensibilización en la comuna. Se debería conseguir que <u>30 hogares</u> incorporen y sostengan la práctica de separación y compostaje en el hogar.	Debido al incremento de los residuos que se desvían del sistema tradicional, se asume una disminución del 20% (un recorrido semanal menos) en la recolección, mientras que el traslado hasta vertedero se mantiene igual.
Esc3: relevante	<b>40%</b> es el valor que varios de los documentos relevados y la experiencia propia indican como factibles. Para llegar a este nivel de participación debería haber <u>48 hogares</u> compostando.	
Esc4: de máxima	Varios de los estudios señalan como factible alcanzar un valor de participación en el compostaje del <b>55%</b> . Para llegar a esto se requieren dentro de la comuna <u>65 hogares</u> participando activamente del compostaje domiciliario.	Debido al incremento de los residuos que se desvían del sistema tradicional, se asume una disminución del 40% (2 recorridos semanales menos) en la recolección, y 50% en el traslado hasta vertedero (pasando de 1 viaje por semana, a 1 viaje cada 2 semanas)

#### 8.1.1 Resultados con escenarios para la GIRSU

Con el objeto de analizar las categorías de impacto a través de una unidad de medida única, se “normalizan” los resultados. La normalización consiste en comparar los resultados obtenidos en la caracterización con un valor de referencia o “normal”. Los resultados son divididos por el valor de referencia, que en general es el promedio de impacto ambiental anual de un país, dividido por su número de habitantes<sup>55</sup>. Para este estudio se tomó el valor de normalización del método EDIP 2003, que se calcula para una persona de Europa y se llevó a personas de Argentina, comparando el impacto de un habitante de cada región. El resultado arroja que una persona de nuestro país genera el 48% del impacto de un europeo.

<sup>55</sup> La referencia puede ser elegida libremente; también podría elegir la carga ambiental de la iluminación de una lámpara de 60W durante una hora, ó 100 km de transporte en coche o la producción de 1 litro de leche.

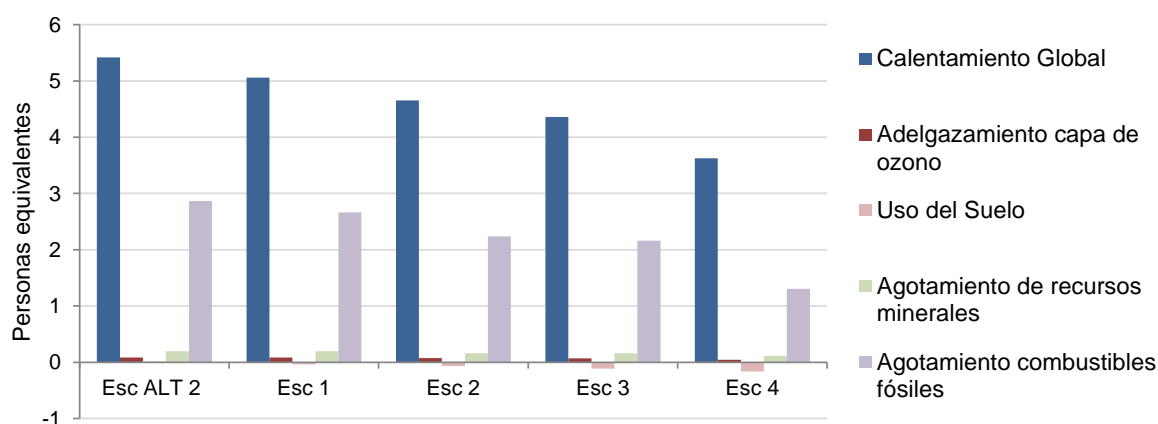
La normalización es útil para comunicar los resultados a personas no expertas en ACV, como referencia del resultado del estudio, en relación a algún parámetro fácilmente imaginable. Después de la normalización todas las categorías de impacto presentan la misma unidad de medida, lo que hace que sea más fácil compararlas.

A continuación se muestra la tabla de valores obtenidos para cada escenario, en comparación con la alternativa que todos los residuos (compostables o no) sean enviados al vertedero (ALT2). Los resultados se muestran normalizados, por lo que se expresan en la unidad “personas equivalentes”

	Esc1	Esc2	Esc3	Esc4	ALT2
Calentamiento Global	5,06	4,65	4,36	3,62	5,42
Adelgazamiento capa de ozono	0,08	0,07	0,07	0,04	0,09
Uso del Suelo	-0,04	-0,07	-0,11	-0,16	0,01
Agotamiento de recursos minerales	0,20	0,16	0,16	0,12	0,20
Agotamiento combustibles fósiles	2,66	2,24	2,16	1,31	2,87

*Tabla 7: Impactos ambientales de los escenarios planteados para la GIRSU. Valores normalizados.*

Gráficamente se pueden apreciar los impactos de cada escenario, en relación al caso base “enterramiento sanitario”, donde la totalidad de los residuos son enviados a este destino.



*Gráfico 3: impactos ambientales de los escenarios de la GIRSU – valores normalizados.*

A medida que se incrementa la cantidad de vecinos compostando, los impactos ambientales de la GIRSU en la Comuna se reducen, desde una disminución mínima (menor al 2% promedio) en Esc1 frente al ALT2 (ES) de la totalidad de los RSU, hasta una disminución relevante de alrededor 40% promedio para el Esc4 respecto a ALT2 (ES).

Un factor a destacar es el impacto “uso del suelo” que pasa de tener un desempeño negativo en el caso del ES de la totalidad de los RSU, a tener ahorros ambientales, en cualquiera de los escenarios que incluyen compostaje. Esto ocurre porque con la incorporación de la técnica del compostaje, se asume un ahorro en el consumo de mantillo, cuya extracción implica la transformación de suelo del tipo bosque nativo.

## 8.2 Otros escenarios posibles

Debido a que la técnica del ACV implica la consideración de supuestos en numerosas situaciones (en el armado de los inventarios, en la selección de perfiles y bases de datos, en la asignación de cargas, en la elección de productos sustitutos), se considera en esta sección, el armado de escenarios que contemplen cual sería el resultado si las definiciones tomadas hubieran sido otras. A continuación se citan los escenarios analizados para este estudio:

### 8.2.1 Respeto a las definiciones metodológicas

- *Esc 5: Mantillo extraído y fraccionado cerca de los centros de consumo.*

El mantillo definido como el producto que se evita de producir con la obtención del compost domiciliario, se asumió extraído y fraccionado en la provincia de Buenos Aires, y transportado hasta Córdoba donde sería consumido. El presente escenario cambia el lugar de extracción y fraccionamiento, que se realizaría en la zona de Santa Rosa de Calamuchita, en la provincia de Córdoba, manteniéndose el consumo en Córdoba Capital. El transporte pasa de 700 km a 120 km.

- *Esc 6: Uso de compost sin ahorro de "mantillo".*

La expansión del sistema, incorporando los ahorros ambientales derivados de la no producción de un producto sustituto, implica la certeza de que efectivamente el proceso no va a ocurrir. En la realidad, no se tiene dicha certeza, por lo que se plantea un escenario que no tenga en cuenta el ahorro del sustituto, en este caso el mantillo.

- *Esc 7: Ahorro x valorización energética del metano del enterramiento*<sup>56</sup>

Debido a que el gas de vertedero puede tener diferentes destinos, este escenario plantea el aprovechamiento energético de este gas. En el caso base se consideró que el gas es venteado, mejorando la composición de los gases que se emiten a la atmósfera.

### 8.2.2 Respeto a la construcción del inventario

- *Esc8: Emisiones de la compostera*

Tal como se expresa en la sección 7, se analizaron estudios con diferentes valores de emisiones atmosféricas derivados del compostaje domiciliario. Para el caso base de este estudio se asumieron los valores publicados por un estudio Español. Este escenario plantea ver qué ocurriría con los resultados si se hubiera elegido otra de las fuentes de información, en este caso un perfil de origen suizo.

- *Esc9: Emisiones del vertedero controlado*

En el caso de la alternativa enterramiento sanitario, también se asumieron datos de emisiones luego del venteo del gas de vertedero, en este caso del estudio de Nieto & Passadore Denis, 2012 que muestra emisiones de un vertedero calculadas a través del software IWM-2<sup>57</sup>. Este escenario plantea analizar qué ocurriría con los resultados si se hubiera elegido otra fuente de información, en este caso, un perfil de origen suizo extraído de *Ecolnvent*.

---

<sup>56</sup> En Nieto & Passadore Denis, 2012 se asume una generación de energía eléctrica de 5,4 MJ/Nm<sup>3</sup> de gas; este valor incluye una eficiencia de conversión a energía eléctrica del 30%.

<sup>57</sup> Integrated Waste Management Model IWM-2 (Versión 2.50) fue diseñado y construido por Andrew .D. Richmond para el Dr F. R. MacDougall en el año 2001 a partir del WM-1 creado en 1994 por P. R. White, M. Franke y P. Hindle. Es un software que permite realizar el inventario ambiental de un ACV.



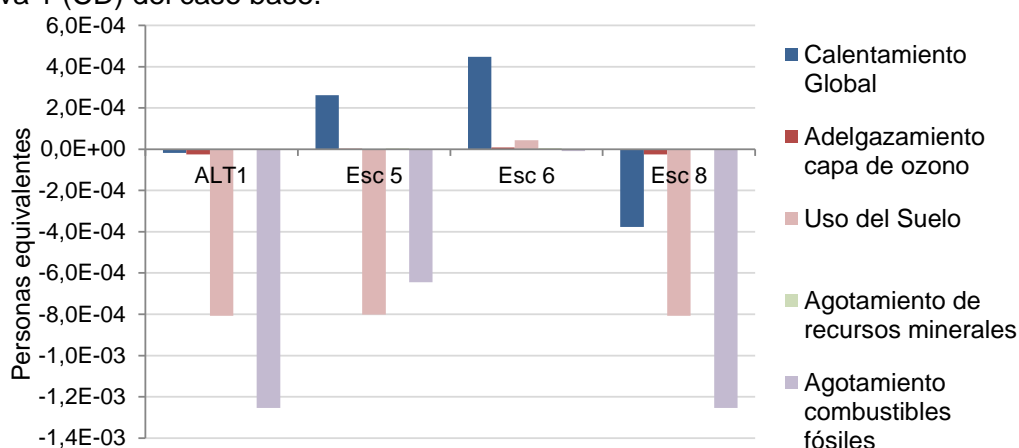
### 8.2.3 Resultados con otros escenarios

A continuación se muestra la tabla de valores obtenidos para cada escenario, en comparación con las alternativas del caso base. Los resultados fueron normalizados, y por lo tanto se expresan en la unidad: “personas equivalentes”.

	ALT1	Mantillo c/ menos transporte	Sin ahorro de Mantillo	Otras emisiones en compostera	ALT2	Valorización Biogás	Otras emisiones en vertedero
		Esc 5	Esc 6	Esc8		Esc 7	Esc9
Calentamiento Global	-1,78E-05	2,62E-04	4,48E-04	-3,77E-04	7,19E-03	5,34E-03	4,90E-03
Adelgazamiento capa O <sub>3</sub>	-2,57E-05	2,51E-06	8,52E-06	-2,57E-05	1,14E-04	6,35E-05	1,13E-04
Uso del Suelo	-8,07E-04	-8,01E-04	4,35E-05	-8,07E-04	1,93E-05	1,23E-06	1,90E-05
Agotamiento rec. minerales	-1,89E-06	4,03E-06	5,32E-06	-1,89E-06	2,59E-04	1,46E-04	2,61E-04
Agotamiento comb. fósiles	-1,25E-03	-6,45E-04	-8,87E-06	-1,25E-03	3,80E-03	6,39E-04	3,63E-03

*Tabla 8: impactos ambientales de “otros” escenarios planteados. Valores normalizados.*

Gráficamente se pueden apreciar los impactos de cada escenario, en relación a la alternativa 1 (CD) del caso base.



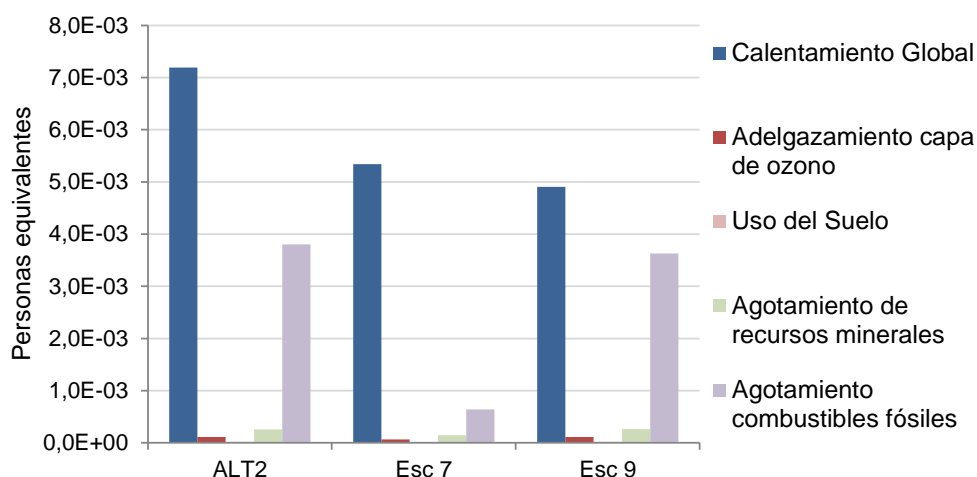
*Gráfico 4: impactos ambientales de los escenarios de ALT1 “compostaje domiciliario”. Valores normalizados*

El Esc 5, en el cual se disminuye la distancia a recorrer por el producto evitado “mantillo” implica un peor desempeño ambiental que el caso base para las categorías de impacto “calentamiento global”, “adelgazamiento de la capa de O<sub>3</sub>”, “Agotamiento de Recursos (materiales)” y “Agotamiento de combustibles fósiles”. Todas estas categorías de impacto se relacionan de alguna manera al transporte, por lo que, la disminución de esta operación en el producto evitado, repercute en el desempeño de la alternativa. Se destaca además que estas categorías de impacto pasan de tener ahorros, a tener pérdidas ambientales en el compostaje domiciliario. Otra de las categorías estudiadas aquí, “uso del suelo” no muestra cambios en los valores.

Para el Esc 6, en el que el producto evitado “mantillo” no es considerado, se acrecientan aún más los resultados del escenario 5. En este caso, al no existir ganancias ambientales por el mantillo, todas las categorías de impacto pasan a tener un valor real (o negativo) de impacto (pérdida ambiental).

Finalmente el Esc 8, en el que se toman valores de emisiones atmosféricas por el manejo de la compostera distintos a los asumidos en el caso base, se mejora notablemente el desempeño de la categoría de impacto “Calentamiento global”, debido a la diferencia en el valor adoptado para las emisiones de N<sub>2</sub>O (23 veces superior en el caso base). Las demás categorías de impacto mantienen constantes sus valores.

A continuación se pueden apreciar en forma gráfica los impactos de cada escenario, en relación a la alternativa 2 (ES) del caso base.



*Grafico 5: impactos ambientales de los escenarios de la ALT2 "enterramiento sanitario". Valores normalizados*

Puede apreciarse para el Esc 7, que todas las categorías de impacto disminuyen sus valores, destacándose las disminuciones del "Agotamiento de combustibles fósiles" debido al ahorro en la producción de energía eléctrica argentina, con un alto componente de este tipo de energía primaria.

En el Esc 9, se modifica el impacto "Calentamiento global" debido a que el perfil adoptado presenta menores emisiones de gases que contribuyen a este impacto, tales como CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Los demás impactos ambientales mantienen constantes sus valores.

Como tendencia del resultado global, se observa que si bien los escenarios de ALT 2 mejoran el desempeño del caso base, ninguno de ellos logra superar el desempeño ambiental de ALT 1, que según como se plantea el caso base, presenta ahorros ambientales para todas las categorías de impacto estudiadas. Así mismo, los escenarios planteados para ALT1 que empeoran su desempeño ambiental (Esc 5 y Esc 6) no llegan al impacto que muestra la ALT 2, que sigue representando la peor opción para el destino de los RSOD compostables de Villa La Serranita.

## **9 Conclusiones**

### **9.1 Sobre la comparación de las alternativas**

Para todas las categorías de impacto analizadas en este estudio, *ALT1 “Compostaje domiciliario” presenta mejor desempeño ambiental que ALT2 “Enterramiento sanitario”.*

- ✓ Los valores a destacar dentro de ALT1 son los ahorros ocasionados por la no extracción del mantillo, producto evitado por la producción y uso de compost en los hogares.
- ✓ En cuanto a los impactos reales del compostaje, en su mayoría son ocasionados por las emisiones atmosféricas en el manejo de la compostera, y también, por los materiales usados en la construcción de la compostera, en especial su recubrimiento con aceite vegetal diluido en solventes.
- ✓ Los mayores impactos en ALT2, aparecen en la recolección municipal, por el uso de combustibles fósiles para los vehículos. En el caso del vertedero, se observan impactos asociados al venteo del gas generado, con alto impacto en la categoría calentamiento global.

### **9.2 Sobre la incidencia en la GIRSU comunal**

*A medida que se incrementa la cantidad de hogares compostando, disminuye el impacto ambiental global de la comuna por la Gestión de RSU. Cualquier esfuerzo que se haga en iniciar el compostaje domiciliario, aunque sea en una cantidad mínima de vecinos, aporta beneficios ambientales en las categorías de impacto analizadas.*

- ✓ Con una cantidad mínima (16%) de hogares compostando, al no reducirse la frecuencia de recolección ni la de traslados hasta el vertedero, no modifica de manera sustancial el impacto ambiental global de la GIRSU comunal.
- ✓ Cantidades esperables (25%) y relevantes (40%) de hogares compostando ofrecen beneficios ambientales considerables para la gestión de residuos, ya que se podría quitar un recorrido semanal de recolección domiciliaria, repercutiendo en el impacto total con un beneficio del 17% promedio.
- ✓ Llegando al máximo posible de vecinos compostando (55%), los impactos ambientales de la gestión de residuos en la comuna se reducen en una cantidad considerable, un 43% promedio, ya que se podría quitar otro recorrido semanal y además se podría disminuir la frecuencia de traslado, no sólo por la disminución en la cantidad de residuos, sino también, porque éstos contendrían poca cantidad de orgánicos, con mayor poder de putrefacción.

### **9.3 Sobre la modelación**

*Ninguna de las suposiciones construidas para modelar los dos sistemas, modifican los resultados de manera tal que puedan cambiar las tendencias y conclusiones centrales. Compostar en el hogar siempre ayuda a descomprimir el impacto sobre el ambiente, aunque hay suposiciones que inciden/gravitan más que otras en los resultados.*

- ✓ Para el compostaje domiciliario, modificaciones en el recorrido del producto evitado “mantillo” o bien, la no consideración de este producto, generan mayores impactos en la alternativa, pasando de presentar ahorros a pérdidas ambientales.
- ✓ Para ALT2, valorizar energéticamente el biogás del vertedero, implicaría ganancias ambientales de consideración.
- ✓ En ambas alternativas, el inventario de emisiones a la atmósfera que se asume condiciona los resultados, ya sea en el manejo de los residuos en la compostera, como las emisiones luego del venteo del gas de vertedero.

## **10 Recomendaciones**

### **10.1 Respeto a la compostera y los utensilios**

Como en algunos de los impactos analizados el principal aporte lo hace la construcción de la compostera y de los utensilios, se sugiere el aprovechamiento de materiales disponibles localmente, que puedan ser re-utilizados, lo que ayudará a disminuir los impactos. También el compartir los utensilios con vecinos u otras actividades puede ser una alternativa.

### **10.2 Respeto a la operatoria de la compostera**

Si se quiere reducir emisiones con aporte al calentamiento global, hay que poner foco en la optimización de la operatoria de la compostera. En tal sentido, voltear los residuos solo cuando sea necesario es la acción recomendada.

### **10.3 Respeto al ahorro de enmiendas comerciales**

Es conveniente empezar a promover el compostaje domiciliario, en los casos donde

- ✓ Haya práctica de huerta o manejo de jardín con incorporación regular de enmiendas/abonos. Esto significa que el compost que se produzca va a permitir un ahorro efectivo de un abono comercial.
- ✓ El compost pueda hacer aportes relevantes al suelo, ya sea por la escasa materia orgánica o por la abundancia de espacios verdes.

### **10.4 Respeto a la acción integrada con la GIRSU**

Una intervención territorial por parte de la comuna, para difundir el compostaje domiciliario, reduce de manera relevante la presión sobre el ambiente, en la medida que se lo aborde de manera integrada con acciones complementarias.

- ✓ No se puede descuidar la logística de los sistemas que seguramente vendrán asociadas a recolección diferenciada de los residuos secos (reciclables).
- ✓ Si los vecinos van a usar menos bolsas para sacar sus residuos porque ahora los compostan, la comuna tiene que desalentar su uso, de lo contrario no se utilizarán las bolsas para sacar los residuos a la calle, pero se seguirán fabricando y entregando a los vecinos cuando hagan sus compras domésticas.
- ✓ No se deben verter los residuos generados que no se composten, en un basural a cielo abierto. Cualquier esfuerzo para que los vecinos composten se ve diluido por esta mala práctica generalizada de la disposición de los residuos restantes.
- ✓ Si se pretende reducir el uso de recursos es conveniente poner foco en optimizar en primer lugar la recolección (frecuencias y recorridos) y en segunda instancia el traslado (compactando y seleccionando lo que vaya a trasladarse, también compartiendo traslados con otras comunas de la región).

## **11 Anexos**

### **11.1 Anexo I - Tasas de Compostaje Domiciliario**

#### **11.1.1 Lo que alcanzaron algunos países**

En Bélgica se ha desarrollado un programa de compostaje domiciliario coordinado por VLACO –Flemish composting organization-. El número de personas que compostan activamente en este país creció de 19% en 1997 a 35% en 2002. Esto significa el 17% de la población urbana y 39% de la población rural.

Un trabajo realizado en Estados Unidos que analizó programas de compostaje domiciliario a lo largo del país concluyó que, a pesar del tamaño de la comuna o de status socio-económico de los vecinos, estos eran exitosos y costo-efectivos. Según el relevamiento estos programas consiguieron desviar aproximadamente 14% de los residuos de jardín<sup>58</sup> que se generan.

En el caso de la ciudad de Unquillo, provincia de Córdoba, existe un programa de compostaje domiciliario, impulsado desde la municipalidad, con una adhesión del 13% de los hogares.

#### **11.1.2 Lo que se proponen algunos países**

Algunos estudios comportamentales<sup>59</sup>, después de haber experimentado de manera prolongada y sistemática con un grupo de vecinos, estiman que en el Reino Unido se podrían desviar del enterramiento sanitario 10% de los RSU (ó el 20% de los RSOD) que se generan si el 21% de la población se implicara activamente en el compostaje domiciliario. Estos son valores muy altos si se considera que representan el 40% del volumen que se proponían como objetivo de desvío del enterramiento.

Es significativo el aporte potencial para la Unión Europea<sup>60</sup>, del compostaje descentralizado (doméstico y comunitario), en una estrategia de reducción residuos orgánicos. Se cree que hay una reducción potencial de un 15% del total de RSOD<sup>61</sup> a través de estas prácticas descentralizadas de compostaje.

Un documento de la República de Irlanda<sup>62</sup> señala que el compostaje domiciliario es factible para los residuos de la cocina y el jardín, y es capaz de desviar entre un 5-10% de los RSOD. La meta que se propusieron en el año 2009 es llegar a compostar en el hogar, el 7% de todos los restos de comida y 40% de los restos de jardín. En el mismo documento reconocen que la recolección diferenciada y la construcción de instalaciones para el compostaje centralizado son necesarias. En ese mismo documento se proponían tratar biológicamente de manera centralizada el 48% de los residuos de jardín y 30% de los residuos de cocina y el 40% de los residuos de comida provenientes de comercios.

#### **11.1.3 Lo que algunos países creen factible**

Publicaciones de otras experiencias, indican que el aumento de la población implica menor adhesión del compostaje doméstico. Por ejemplo, en España<sup>63</sup>, el Consorcio de Navarra, se ha propuesto llegar al 30% de los hogares con compostera para municipios hasta mil habitantes, 10% de los hogares con compostera para municipios hasta 10 mil habitantes, y para municipios mayores “lo que sea posible”

<sup>58</sup> *Community Backyard Composting Programs, 2000*

<sup>59</sup> *Jasim & Smith, 2006*

<sup>60</sup> *EU Green Paper on Bio-waste. 2009*

<sup>61</sup> *El documento “Sustainable landfills under the EU concept. Division of Biodegradable Municipal Solid Waste from Landfill” muestra las metas de desviación, respecto niveles del año 1995, de los RSU Orgánicos del enterramiento sanitario en países de la UE: para el año 2006 (2010) reducción del 75%; para el año 2009 (2013) reducción al 50%; para el año 2016 (2020) BMW reducción al 35%.*

<sup>62</sup> *National Strategy on Biodegradable Waste. 2004.*

<sup>63</sup> *Información extraída del sitio Composta en RED. España 2009.*

Un trabajo de simulación realizado para el Reino Unido<sup>64</sup> señala como niveles sostenibles naturalmente de participación de hogares (en el que los vecinos que se suman remplazan a los que desertan) de un 40%. También la modelación muestra que hay un techo en la cantidad de participación del orden del 55-60% para comunidades típicas de los suburbios<sup>65</sup>. Además el estudio detectó que en los hogares que se practica el compostaje domiciliario, aproximadamente un 25% de los RSOD compostables de la cocina no son incorporados a la compostera<sup>66</sup>.

## 11.2 Anexo II – Enmiendas que puede sustituir el compost de casa

En el mercado local, existe una importante variedad de enmiendas orgánicas, que se comercializan en distintos tamaños y variedades.

- ✓ Turba: Restos de plantas a medio descomponer extraídos de lechos de primitivos lagos (turberas). Se forma como resultado de la putrefacción y carbonificación parcial de la vegetación en el agua ácida de pantanos, marismas y humedales
- ✓ Pinocha: hojas de pino trituradas, estacionadas. Son usadas para alivianar el sustrato y bajar el pH (aumentar la acidez del suelo).
- ✓ Compost: se produce a escala industrial con restos de comida, frutas y verduras, aserrín, cáscaras de huevo, restos de café, trozos de madera, poda de jardín (ramas, césped, hojas, raíces, pétalos, etc.).
- ✓ Humus de lombriz o lombricompuesto: se forma a partir de la transformación de residuos de origen orgánico, transformados por la lombriz roja californiana. Es un sustrato rico en materia orgánica y nutrientes.
- ✓ Resaca: materia orgánica descompuesta, la cual proviene de la orillas de ríos o bañados. Mejora la estructura del suelo, aporta nutrientes y equilibra el pH.
- ✓ Estiércol: Excrementos de vaca, cabra, oveja, caballo, palomas, gallinas, murciélagos, etc. Tras su fermentación al aire libre o controlada ya estará "curado" para aportarlo al suelo, como un abono.
- ✓ Mantillo: tierra fértil. Es un producto extraído directamente del horizonte superficial de los suelos.

## 11.3 Anexo III – Categorías de impacto no analizadas.

### 11.3.1 Impactos ambientales asociados a cadenas productivas

Formación de Ozono troposférico: En zonas urbanas está asociado principalmente al tránsito vehicular. La concentración de O<sub>3</sub> depende de las emisiones de NO<sub>x</sub>, de la cantidad y tipo de material particulado, de la intensidad de la luz solar y de las condiciones meteorológicas. En la ciudad de Córdoba, aunque tenemos cantidades importantes de NO<sub>2</sub> y de HC, los valores de O<sub>3</sub> son bajos.

Acidificación del suelo y el agua: En zonas urbanas está asociado principalmente al tránsito vehicular. El SO<sub>2</sub> es un gas que se produce especialmente durante la combustión de hidrocarburos. Su concentración está relacionada con el grado de impureza del combustible. Los valores que se midieron en Córdoba son insignificantes<sup>67</sup>.

<sup>64</sup> Tucker & Speirs, 2001. El estudio indica que hay riesgos si se sobre-incentiva; ya que al comienzo se puede llegar a niveles altos de participación pero con el paso del tiempo decae. Para mantener niveles de participación mayores al 40% sería necesaria mayor comunicación y con más intensidad.

<sup>65</sup> A esta instancia, todos los compostadores que estaban en estado latente ya habrán sido sumados; por lo que sumar a quienes no tienen predisposición (o peor aún con hostilidad) sería mucho más difícil.

<sup>66</sup> Las principales razones que se esgrimen son "olvido", "inconveniencia", "problemático", "inseguridad de lo que es compostable".

<sup>67</sup> Más detalles sobre este impacto ambiental en la Argentina en Civit & otros, 2012.

Eutrofización del suelo y el agua: Ocurre por la descarga a cursos de agua, de efluentes cloacales, industriales y agrícolas con alta carga de nutrientes, generándola proliferación de algas, que impiden que la luz penetre hasta el fondo de los ecosistemas, agotando el oxígeno y tornando inviable la vida de la mayoría de las especies. Las algas además producen sustancias (algunas tóxicas) que le proporcionan mal gusto y olor al agua y en plantas potabilizadoras, esta materia orgánica, al reaccionar químicamente con el cloro utilizado como desinfectante, genera sustancias perjudiciales para la salud.

Toxicidad humana: Refiere a los efectos de las sustancias químicas sobre los organismos individuales; la dosis determina el efecto tóxico de una sustancia sobre un individuo. La toxicidad de una sustancia química se refleja en su capacidad para producir efectos nocivos sobre un organismo vivo cuando éste está expuesto a una determinada concentración de la sustancia durante un cierto tiempo. Este efecto nocivo puede manifestarse de diferentes formas, como enfermedad, muerte, daño genético, inhibición del crecimiento, etc.

Eco-toxicidad refiere a los efectos de los contaminantes químicos sobre el funcionamiento de los ecosistemas. Pueden ser efectos tóxicos causados por los contaminantes, naturales o sintéticos, sobre los componentes de los ecosistemas, animales (incluyendo al hombre), vegetales y microorganismos, en un contexto integrado. Se incluye además las consecuencias sobre la salud humana de la presencia de estos compuestos en el ambiente. El efecto nocivo de un contaminante sobre los organismos va a estar en función de la biodisponibilidad<sup>68</sup> del contaminante en un ambiente particular.

### 11.3.2 Impactos socio-ambientales en la “recolección, acopio y traslado”

Hay categorías de impacto que, aunque la práctica del compostaje domiciliario de manera generalizada ayuda a reducir, no se han medido para este estudio de caso.

Inconvenientes con higiene urbana (littering involuntario) asociados a inconvenientes eventuales de recolectar, acopiar, trasladar y disponer los RSU. Los desechos abandonados constituyen una molestia pública. Obstruyen los desagües y drenajes abiertos, invaden los caminos, afectan aspectos estéticos y paisajísticos, emiten olores desagradables y polvos irritantes, y contribuyen a la proliferación de moscas y otros insectos.



Ruido por el transporte motorizado, asociado a la recolección y traslado. Según el Centro de Investigación y Transferencia en Acústica de la UTN-FRC (CINTRA), la sociedad aún no identifica el ruido como un problema ambiental, pero su impacto es gravitante en las ciudades, sobre todo en aquellas que presentan, como Córdoba, una geometría radial. El 70% de la gente que vive en el microcentro de la ciudad de Córdoba manifiesta que se mudaría a causa del ruido<sup>69</sup>.

<sup>68</sup> Este concepto tiene que ver con la cantidad de un contaminante en el agua, o en el sedimento, que podrá ser absorbida por los organismos, causando efectos sobre los mismos.

<sup>69</sup> El ruido puede tener efecto sobre el funcionamiento del oído, como la Hipoacusia, el taponamiento del canal auditivo, y la ruptura de la membrana timpánica. Otros efectos afectan el funcionamiento del sistema neurovegetativo, influyendo sobre el sueño, la comunicación y el estudio o el trabajo.

Congestión del tránsito, asociado al traslado de los residuos. En las ciudades la congestión del tránsito daña la economía y la calidad de vida de los habitantes<sup>70</sup>.



Olores por descomposición asociados al acopio transitorio. La contaminación por olores puede ser bastante subjetiva, dependiendo de cuánto afecte el olor a determinada persona. Las fuentes de contaminación están ligadas generalmente a una actividad de un lugar y pueden ser temporarias o

permanentes.

Riesgo de incendios en zonas rurales y naturales, asociado al acopio de residuos combustibles como la poda. Muy pocas veces los incendios rurales se producen por causas naturales, en la mayoría de los casos son originados directa o indirectamente por personas. Estos actos poseen una mezcla de irresponsabilidad, ignorancia, indiferencia e insensibilidad.



### 11.3.3 Impactos socio-ambientales en el “enterramiento sanitario”<sup>71</sup>

Contaminación del agua subterránea por acción de lixiviados: es el arrastre por el agua de materias solubles del enterramiento sanitario hacia las aguas subterráneas. Se encontró un estudio químico preliminar del año 1997 para la ciudad de Córdoba, de 10 pozos de agua de los barrios Villa Rivera Indarte, San José y Rincón Bonito que indica que “Los datos obtenidos indican valores aceptables para metales pesados, pH, conductividad y turbidez”. Sin embargo, deben considerarse resultados con carácter preliminar, dada la escasez de los mismos y que no se incluyeron determinaciones (contenido de cianuro, sulfatos, fosfatos, etc.).

Contaminación del aire con polvo y olores. Aunque existe una cortina forestal para evitar propagación de olores, desde un enterramiento se emite un olor típicamente putrefacto, por el sulfuro de hidrógeno y los demás gases de la biodegradación anaeróbica de los residuos orgánicos. Es una molestia y un irritante ocular que también puede llevar micro organismos patógenos que podrían ser inhalados.

Caldo de cultivo de vectores (de enfermedades) como moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, aves, etc. y de reservorios (de parásitos) tales como cerdos, perros, etc., que transmiten una gran cantidad de enfermedades. Para controlar se debe fumigar y usar rodenticidas

Deterioro estético de los alrededores en cercanías al enterramiento sanitario, y en los lugares de acopio transitorio. Los eventuales riesgos en la salud y seguridad de trabajadores informales también suelen ser un elemento importante de los sitios de disposición clandestinos.

<sup>70</sup> Un documento de Naciones Unidas publica cifras alarmantes respecto al problema del tráfico en las grandes ciudades. En Ciudad de México, el 20% de los trabajadores destinan más de 3 horas diarias para ir y volver del trabajo, y 10% más de 5 horas diarias. En Corea, la congestión representa un costo económico del 4% del PBI, y en Bangkok del 6%. La circulación de tránsito vehicular en la ciudad de Cba aumentó un 66% en una década; fue un 51% la cantidad de autos y un 155% la de motos. Según La Voz, en el año 2009 circulaban 533 mil vehículos, 213 mil más que en 1999.

<sup>71</sup> Kopta, 1999.



### 11.3.4 Impactos socio-ambientales de la “compostera del hogar”

Lixiviados hacia el suelo: son una posible fuente de pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco y nitratos, que se asocia al fenómeno de eutrofización. Las pérdidas de metales pesados vía lixiviados es despreciable y las pérdidas de Carbono y Nitrógeno son muy bajas.<sup>72</sup> Joan Colon & otros, 2010 expresan que durante su experiencia no observaron generación de lixiviados, en contraposición con otros autores que los detectaron en cantidades variables.

Molestias por olores, insectos y roedores: Aunque la cantidad de vecinos que manifestó tener problemas de este tipo durante el caso piloto en la Serranita no fue relevante, es un asunto a tener en cuenta para gestionarlo a través del diseño de la compostera y de un manejo adecuado del proceso. También puede haber inconvenientes asociados a la presencia de mascotas (perros) en el patio.

Patogenicidad (organismos patógenos) y toxicidad humana (metales pesados): El riesgo existe en la medida que se introduzcan residuos no apropiados, de metales pesados a través de pilas, pinturas, etc. y de patógenos a través de heces de mascotas. Los análisis que se hicieron al compost obtenido del caso piloto de la Serranita resultaron negativos para estos parámetros. Los límites máximos de admisibilidad, para enmienda orgánica, están definidos por la Res. SENASA 264/11.

Aunque una compostera bien manejada no debería tener presencia de estas sustancias, hay cuidados básicos a tener en cuenta, tanto en el manejo del compost, el uso de los guantes y como la posterior higienización de las manos. También es recomendable evitar que la manipulen los niños.

### 11.3.5 Impactos indirectos (socio-organizativos) de un “Sistema de GIRSU”

La Incorporación de una práctica de separación en el hogar, promueve y facilita un sistema de diferenciación de la fracción seca de los residuos para el reciclado, es un impacto indirecto importante que se da producto de la sensibilización ambiental.

## 11.4 Anexo IV - Valores asumidos para el inventario

### 11.4.1 Gases emitidos luego del veteo en un enterramiento sanitario

Sustancias	kg/t residuos	Sustancias	kg/t residuos
Mat. Particulado	1,75E-03	HC clorados	3,12E-03
CO	0,11	Diox y fur	9,17E-11
CO2	277,72	Amoníaco	5,84E-08
CH4	22,15	Cadmio	3,19E-07
NOx	0,07	Cromo	3,82E-08
N2O	1,17E-06	Plomo	3,01E-07
SOx	7,68E-03	Manganeso	4,49E-09
HCl	5,05E-03	Mercurio	4,49E-09
HF	7,41E-04	Níquel	1,10E-07
H2S	1,13E-02	Cinc	4,25E-06
HC totales	0,12		

*Tabla 9: sustancias emitidas luego del veteo del gas de vertedero, expresados en toneladas por Unidad Funcional. Adaptado de Nieto & Passadore Denis, 2012.*

<sup>72</sup> Andersen & otros, 2010.

#### 11.4.2 Composición del lixiviado de vertedero, luego de su tratamiento.

Sustancias	kg/ton de residuos mezcla	Responsabilidad de los orgánicos	kg/ton de residuos orgánicos degradables
BOD	1,20E-01	100%	1,20E-01
DQO	1,20E-01	100%	1,20E-01
Sólidos en suspensión	2,72E-03	51%	1,39E-03
COT	1,40E-04	100%	1,40E-04
AOX	1,11E-04	51%	5,69E-05
Clorados HC	5,72E-05	51%	2,93E-05
Dioxinas/Furanos	0,00E+00	0%	0,00E+00
Fenoles	2,11E-05	0%	0,00E+00
Aluminio	1,26E-05	0%	0,00E+00
Amoniaco	1,18E-03	100%	1,18E-03
Arsénico <sup>73</sup>	8,02E-07	51%	4,11E-07
Bario	1,94E-06	0%	0,00E+00
Cadmio	7,77E-07	51%	3,98E-07
Cloro	2,81E-02	51%	1,44E-02
Cromo	3,46E-06	51%	1,77E-06
Cobre	3,06E-06	51%	1,57E-06
Cianuro	8,99E-09	0%	0,00E+00
Fluoruro	2,16E-05	0%	0,00E+00
Hierro	5,31E-03	0%	0,00E+00
Plomo	3,57E-06	51%	1,83E-06
Mercurio	3,37E-08	51%	1,73E-08
Níquel	9,50E-06	51%	4,87E-06
Nitrato	3,30E-07	51%	1,69E-07
Fosfato	7,48E-07	51%	3,84E-07
Sulfato	9,72E-04	51%	4,98E-04
Sulfuro	1,80E-08	51%	9,21E-09
Cinc	3,79E-05	51%	1,94E-05

*Tabla 10: composición del lixiviado de vertedero, luego de su tratamiento y porcentaje de responsabilidad que se le asignó a los residuos orgánicos.*

<sup>73</sup> Podría provenir del suelo que se arrastra, por lo que se asigna de acuerdo a la composición original de RSU.

## 12 Abreviaturas

RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RSOD	Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios.
GIRSU	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.
CD	Compostaje Domiciliario
ES	Enterramiento Sanitario
CBA	Ciudad de Córdoba
GNC	Gas Natural Comprimido
INDEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
CINTRA	Centro de Investigación y Transferencia en Acústica.
DGEyC	Dirección General de Estadísticas y Censos – Córdoba
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
HC	Hidrocarburos
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre
CH <sub>4</sub>	Metano
COT	Carbono Orgánico Total

## 13 Fuentes consultadas

### 13.1 Equipo de Trabajo

Este estudio pudo ser realizado gracias a la participación y colaboración de un equipo, más amplio que los autores principales. A través del equipo de trabajo se resolvieron temas como la “Caracterización de los RSU” Comunales, tanto volumen y peso de cada una de las fracciones, que se midieron en base a la Norma IRAM 29.523. También las mediciones del “Balance de Masa” de los “RSOD compostables” que los vecinos participantes disponían en bolsitas. El “Balance de Masa Comunal”, realizado a través de tres métodos de aproximación. Además en la construcción del “Inventario Ambiental”, a través de la búsqueda de publicaciones de estudios de casos, en la definición de supuestos como valores del “Carbono equivalente” del compost y del mantillo a reemplazar, la cantidad de “agua utilizada para riego” del compost. También aportes en la las definiciones metodológicas, y la revisión del informe final.

- **Silbert Violeta.** Coordinadora del Caso Piloto en Villa La Serranita. Unidad de Extensión. Centro Regional Córdoba del INTI.
- **María Fernanda Suarez.** Maestrando en Ingeniería Ambiental. Facultad Regional Córdoba. Universidad Tecnológica Nacional.
- **Campitelli Paola.** Analista del Laboratorio de Coloides de suelo y Enmiendas orgánicas. Facultad Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
- **Eugenio Pettigiani.** Analista de Residuos Sólidos Urbanos. Unidad de Química y Ambiente. Centro Regional Córdoba del INTI.

### 13.2 Bibliografía especializada

Andersen, Jacob Kragh. Composting of organic waste: quantification and assessment of greenhouse gas emissions. Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark. Denmark. 2010

- Andersen, Jacob Kragh; Boldrin, A; Christensen, T.H; Scheutz C. Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling. Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark. Denmark. 2011
- Andersen, Jacob Kragh; Boldrin, A; Christensen, T.H; Scheutz, C. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. Department of Environmental Engineering Technical University of Denmark.2010
- Arrigoni, Juan Pablo; Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos. Universidad Nacional del Comahue. Argentina. 2011
- Campitelli, Paola, Ceppi, Silvia, Velasco, M y Rubenacker, Manual práctico de compostaje. Ed Brujas, Córdoba, 2012.
- Civit Bárbara, Arena Pablo, Allende David. Determination of regional acidification factors for Argentina. Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. 2012
- Colon Joan; Martínez-Blanco Julia; Gabarrell Xavier; Font Xavier; Sánchez Antoni; Artola Adriana; Rieradevall Joan Environmental assessment of home composting. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 2010.
- Department of the Environment, Heritage and Local Government. National Strategy on Biodegradable Waste, Draft Strategy Report. Ireland. 2004.
- Edwards Chris; Meyhoff Fry Jonna. Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006. Environment Agency. Reino Unido. 2011
- Jasim Sabah Abboud and Smith Sally R. "The Practicability of Home Composting for the Management of Biodegradable Domestic Solid Waste". Imperial College of London. UK; 2006.
- Kopta, Federico. Problemática ambiental con especial referencia a la Provincia de Córdoba. Fundación Ambiente, Cultura y Desarrollo – ACUDE. Argentina. 1999.
- Martínez-Blanco Julia; Colón Joan; Gabarrell Xavier; Font Xavier; Sánchez Antoni; Artola Adriana; Rieradevall Joan. The use of LCA for the comparison of biowaste composting at home and full scale. Universidad Autónoma Barcelona. España. 2010
- Nieto L. Martin; Passadore Denis, Ana L. Estudio comparativo de análisis de ciclo de vida entre dos opciones para el destino de los RSU de la ciudad de Córdoba: Enterramiento Sanitario vs. Valorización Energética. UTN-FRC. Argentina. 2012.
- Rhonda Sherman-Huntoon. Community Backyard Composting Programs. "Reduce Waste & Save Money". The Composting Council. College of Agriculture & Life Sciences. North Carolina State University. USA. 2000.
- Tucker, Peter and Speirs, David. Understanding Home Composting Behavior. University of Paisley. Escocia. 2001

### 13.3 Consultas personales

- **Brizuela Sergio, 2013.** Técnico carpintero, co-autor del diseño de las composteras del Caso Piloto en la Serranita. Entrevista personal.
- **Guzmán Carlos & personal de la Comuna, 2013.** Jefe y empleados de la Comuna de Villa La Serranita. Entrevista personal.
- **Tomasoni Guillermo, 2010.** Gerente AAPC. Entrevista telefónica y comunicación vía mail.