



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE GRADUADOS EN CIENCIAS ECONÓMICAS

MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE NEGOCIOS
TRABAJO FINAL DE APLICACIÓN

**“EVALUACIÓN DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL
TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS”**

Autora: Rocío Anabel Fernández

Tutora: Eliana Werbin

Córdoba 2021



Evaluación de dos alternativas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos por Rocío Anabel Fernández se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Índice de contenidos

1. Resumen	7
2. Introducción	8
3. Marco Conceptual	10
3.1. Análisis de Inversión	10
3.1.1. Clasificación de los proyectos de inversión	12
3.1.2. Estudios de viabilidad	12
3.1.3. Tamaño	13
3.1.4. VAN y TIR	13
3.1.5. Inflación	15
3.1.6. Análisis de sensibilidad	15
3.1.7. Costo del Capital	16
3.2. Huella de Carbono	17
3.3. Residuos Sólidos Urbanos	22
3.4. Biodigestión	24
3.5. Compostaje	26
4. Metodología	27
5. Análisis y resultados	28
5.1. Relevamiento de procesos	28
5.2. Análisis de procesos alternativos	30
5.2.1. Biodigestión de residuos orgánicos	30
5.2.2. Compostaje de los restos de poda	42
5.3. Medición de Huella de Carbono	48
5.3.1. Situación actual	49
5.3.2. Propuestas de mejora	56
5.3.2.1. Biodigestión de residuos orgánicos	56
5.3.2.2. Compostaje de restos de poda	60
6. Conclusiones	61

	3
6.1. Cumplimiento de objetivos	61
6.2. Contribuciones	62
6.3. Limitaciones	63
6.4. Futuras líneas de investigación	63
Bibliografía	65
Anexos	69
Anexo 1: Cronograma de recolección de residuos secos y húmedos de Villa Carlos Paz	69

Índice de Figuras

Figura 1:	Proceso de biodigestión	31
Figura 2:	Composición de los residuos en Argentina	51
Figura 3:	Porcentaje de emisiones directas de CO2 equivalente por tipo de residuo	54
Figura 4:	Porcentaje de emisiones de CO2 equivalente por tipo de residuo	56
Figura 5:	Porcentaje de emisiones de CO2 equivalente por tipo de residuo para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos	59
Figura 6:	Porcentaje de emisiones de CO2 equivalente por tipo de residuo para el proyecto de compostaje de restos de poda	61

Índice de Tablas

Tabla 1:	Potencial de calentamiento mundial	19
Tabla 2:	Gastos de reparación y mantenimiento para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos	33
Tabla 3:	Sueldos y cargas sociales para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos	33
Tabla 4:	Recorridos de recolección de basura actuales	34
Tabla 5:	Recorridos de recolección de basura propuesto	35
Tabla 6:	Cuadro de costos de la energía eléctrica para Municipios	36
Tabla 7:	Flujo de fondos del proyecto de biodigestión de residuos orgánicos	40
Tabla 8:	Gastos de reparación y mantenimiento para el proyecto de compostaje de restos de poda	43
Tabla 9:	Sueldos y cargas sociales para el proyecto de compostaje de restos de poda	44
Tabla 10:	Flujo de fondos del proyecto de compostaje de restos de poda	47
Tabla 11:	Factores de emisión	49
Tabla 12:	Cantidad de litros de combustible consumidos por semana	50
Tabla 13:	Cantidad de basura húmeda no orgánica estimada	52
Tabla 14:	Cantidad residuos secos estimados por tipo	52
Tabla 15:	Emisión de huella de carbono de residuos secos por tipo	53

Tabla 16:	Total de emisiones directas de la situación actual	54
Tabla 17:	Total de emisiones de CO2 equivalente	55
Tabla 18:	Cantidad de litros de combustible consumidos	57
Tabla 19:	Emisiones de CO2 equivalente para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos	58
Tabla 20:	Total de emisiones directas para el proyecto de compostaje de restos de poda	60

1. Resumen

El presente trabajo de aplicación tiene por objetivo principal evaluar distintas alternativas de tratamiento para los residuos sólidos urbanos de un municipio de las sierras de Córdoba, teniendo en cuenta su impacto económico y en el medio ambiente. Para cumplir con esto se analizaron dos alternativas al tratamiento actual que se realiza de la basura. También se midió la huella de carbono generada actualmente y la que se generaría si se aplicara cada una de las propuestas.

El desarrollo se estructura en cinco bloques. El primero consiste en una introducción sobre la problemática que representa el tratamiento de los residuos sólidos urbanos, especificando el problema a tratar y los objetivos del presente trabajo.

El segundo bloque presenta las teorías que respaldan el trabajo de campo realizado. Aquí se describen los principales autores recopilados para el abordaje de la temática estudiada.

El tercero describe la metodología que se empleó para la realización del trabajo y el cumplimiento de los objetivos planteados.

El cuarto bloque consiste en el análisis de los resultados obtenidos. En primer lugar se describen los procesos que se realizan actualmente para el tratamiento de los residuos. Luego se realiza el análisis de las alternativas de tratamiento planteadas y por último se realiza la medición de la huella de carbono de la situación actual y también para cada una de las propuestas.

El último bloque consiste en las conclusiones del trabajo realizado, las contribuciones que aporta y las limitaciones en su aplicación. Para finalizar se sugieren cursos de acción a futuro para seguir mejorando el proceso de tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

2. Introducción

El manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) plantea un desafío para todos los municipios del país y del mundo. En Argentina se producen diariamente 45.000 toneladas de desechos; esto es una tonelada cada dos segundos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2020). A su vez, el aumento del consumo en las sociedades produce como contraparte un incremento en la cantidad de residuos generados, que debe ser gestionada para disminuir el impacto negativo en el medioambiente y en la salud de la población (Leal Filho, 2016).

Los efectos de un mal manejo de los residuos sólidos urbanos son evidentes para la población afectada, ya que, en un principio, se ve afectada la estética de la ciudad y de los paisajes naturales por la acumulación de basura. Otros efectos pueden pasar inadvertidos pero tornarse una grave amenaza para la salud y bienestar de los ciudadanos, como la contaminación de cauces subterráneos de agua y del aire. Además no se puede dejar de mencionar el calentamiento global, que a pesar de no ser un efecto directamente controlable a nivel local, debe tenerse presente en la elaboración de planes de manejo de residuos, ya que es necesario el aporte de todos a nivel mundial para que puedan revertirse o al menos frenar sus efectos (Rondón Toro E. et al, 2016).

Podemos decir que algunos de los factores que influyen en la generación de basura son el tamaño de la familia, el nivel de educación y el nivel de ingresos. Por su parte, la separación de basura se ve influenciada por el género, la influencia de pares, la distancia que se encuentra entre las personas y los distintos contenedores (a mayor distancia, menor tendencia a separar los residuos), la cantidad de contenedores presentes (a mayor distancia la gente tiende a arrojarlos en la vía pública). Otros aspectos que influyen en el manejo de los residuos sólidos urbanos son técnicos, medioambientales, financieros, socioculturales, institucionales y legales (Guerrero, L.A., et al, 2013).

En octubre del 2018, comenzó a funcionar en Villa Carlos Paz la planta de tratamiento de residuos sólidos conocida como «Centro Ambiental». La planta recibe los residuos recolectados en la ciudad y alrededores, previamente separados por los ciudadanos en húmedos y secos.

Una vez llegados a la planta, los residuos secos se clasifican nuevamente mediante una cinta seleccionadora, que separa, por un lado, el vidrio y el metal, y el resto de los residuos secos, por el otro. El objetivo es obtener los materiales que pueden ser utilizados para el proceso de «co-procesamiento». El co-procesamiento de los residuos secos se realiza en la planta de Holcim, ubicada en Malagueño, y consiste en utilizar los residuos para la producción de energía en la fabricación de cemento (La Voz, 2019).

Por otra parte, los residuos húmedos se conforman por elementos no reciclables y residuos orgánicos. Éstos últimos representan, a nivel nacional, el 50% del total de los residuos generados en las ciudades (González, 2010). Actualmente todos los residuos húmedos se compactan y entierran en un «relleno sanitario» (Secretaría de Asuntos Municipales, 2011).

A lo largo de este trabajo, se analizarán los costos y los ingresos involucrados en diferentes alternativas de tratamiento de residuos para evitar que sean enviados al relleno sanitario y en su lugar puedan reinsertarse en la economía, reduciendo el impacto provocado en el medio ambiente. Dicho esto, el problema que se plantea es determinar qué alternativas podrían implementarse para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos para reducir su huella de carbono teniendo en cuenta su impacto económico.

En cuanto al objetivo general perseguido es evaluar dos alternativas de tratamiento para los residuos sólidos urbanos teniendo en cuenta su impacto económico y en el medio ambiente.

Los objetivos específicos planteados son:

- Relevar los procesos que se realizan actualmente, desde la separación en origen hasta la disposición final de los residuos, y los costos involucrados en los mismos.
- Medir la Huella de Carbono generada por el Centro Ambiental.
- Evaluar alternativas de tratamiento de los residuos teniendo en cuenta el impacto económico y en la huella de Dióxido de Carbono que implicaría cada uno.

3. Marco Conceptual

3.1. Análisis de Inversión

Evaluar proyectos de inversión consiste en recopilar, crear y sistematizar información de manera que se pueda identificar ideas de negocios y medir sus costos y beneficios. La creación de nuevos negocios y la evaluación de proyectos que modifican la situación actual de una organización en marcha, como puede ser la ampliación de una planta o la desinversión para tercerizar procesos, requieren consideraciones particulares y procedimientos de trabajo diferentes. Entre otras cosas, se debe comparar los beneficios que se generarían si se realiza el proyecto respecto a la situación original. Sólo deben incluirse los costos relevantes, es decir, los que cambian entre las distintas alternativas analizadas (Sapag Chain N., 2011).

Cuando se toma una decisión que implica elegir entre diferentes opciones, deben compararse los costos y beneficios involucrados entre ellas. Se considera costo diferencial a la diferencia entre los costos de dos alternativas, mientras que la diferencia entre los ingresos se la denomina ingreso diferencial (Garrison R. et al, 2007). Es importante distinguir entre los costos variables y los costos diferenciales para no confundirlos. Los costos variables son los que cambian directamente con el volúmen de la producción. En cambio, los costos diferenciales son los que varían entre las alternativas que se analizan, pudiendo o no coincidir con los costos variables (Sapag Chain N., 2011).

Cuando se habla de costo de oportunidad se refiere al beneficio al que se renuncia por elegir una alternativa y no otra. Son un medio para medir el costo de una decisión en particular (Garrison R. et al, 2007). Por otro lado, los costos hundidos o sumergidos corresponden a costos que ya han sido realizados al momento de tomar la decisión y, como no se puede cambiar lo sucedido, no se deben tener en cuenta en la toma de decisiones (Garrison R. et al, 2007). Es importante identificar aquellos costos que se deben a decisiones tomadas en el pasado pero cuyo pago está pendiente en el futuro. Al ser una deuda que fue contraída en el pasado y cuya cancelación es independiente a la decisión que se vaya a tomar, no deben ser considerados (Sapag Chain N., 2011).

Al analizar los costos relevantes para un proyecto de inversión, nos encontramos con los costos contables no desembolsables. Este tipo de costos tienen un efecto indirecto en el flujo de caja ya que afectan el monto a pagar en concepto de impuesto a las ganancias. El ejemplo más claro de este tipo de costos corresponde a la depreciación de equipos e instalaciones, que no significan un desembolso real de fondos pero, al poder ser descontados de las utilidades del ente para el cálculo del impuesto a las ganancias que se deberá pagar, son incluidos en el flujo de caja con el objetivo de conocer el ahorro impositivo que representan. En este caso en particular, al tratarse de un ente público, no paga impuesto a las ganancias, por lo que el cálculo de la depreciación de los equipos para conocer el ahorro tributario que generan es innecesario (Sapag Chain N., 2011).

La rentabilidad de un proyecto depende de los beneficios netos que se obtengan al realizar la inversión. Éstos pueden ser ingresos, reducciones de costos, aumento de la eficiencia y beneficios que no son ingresos pero que incrementan la riqueza del ente. Los beneficios que constituyen movimientos de caja son la venta de productos, la venta de activos, la venta de residuos generados por los procesos, la venta de subproductos y los ahorros de costos. Todos ellos generan un aumento de la liquidez del ente y son considerados como ingresos (Sapag Chain N., 2011).

En cambio, los beneficios que no constituyen ingresos de caja pero que deben ser considerados en el proyecto son los valores de desecho del proyecto al final del período evaluado y la recuperación de la inversión en capital de trabajo. El valor de desecho representa el valor asignado al final del período de evaluación, a los saldos de la inversión realizada. Esto es así ya que el horizonte de evaluación considerado, normalmente de 10 años, no es equivalente a la vida útil real o estimada del proyecto.

Existen tres formas para determinar el valor de desecho: determinando el valor contable o de libros, definiendo el valor comercial o determinando el valor actual de los flujos futuros que podría seguir generando el proyecto. Los dos primeros calculan el valor de los activos al final del horizonte de valuación, para lo cual se simula la venta de estos con el objetivo de conocer el beneficio o pérdida que significa. El método comercial se ve afectado por la dificultad de conocer el precio de mercado de los activos usados.

En cuanto al tercer método plantea que el valor del proyecto no es equivalente a la suma de los valores individuales de cada uno de los activos, sino que corresponde al valor actual de lo que ese conjunto de activos es capaz de generar como flujo perpetuo. Este puede ser calculado mediante la estimación del valor de los activos o calculando el valor equivalente esperado de la capacidad de seguir generando flujos de caja en el futuro (Sapag Chain N., 2011).

3.1.1. Clasificación de los proyectos de inversión

Los proyectos de inversión pueden ser dependientes, independientes y mutuamente excluyentes. Son dependientes los que necesitan de otra inversión para poder realizarse. En cambio, son independientes cuando no dependen de la realización de otro proyecto para ser factibles, es decir, cuando es posible decidir hacer uno de los proyectos o todos indistintamente. Las inversiones mutuamente excluyentes involucran proyectos opcionales que implican que si se realiza una opción, entonces no se puede realizar la otra (Sapag Chain N., 2011).

Otra clasificación de los proyectos es en función de la finalidad de estudio, esto es de acuerdo con lo que se espera medir con su realización. De esta forma encontramos tres maneras distintas para construir los flujos de caja dependiendo del resultado que se quiera medir:

- Rentabilidad de la inversión, independientemente del origen de los fondos.
- Rentabilidad de los recursos propios invertidos en el proyecto.
- Capacidad del propio proyecto para enfrentar los pagos asumidos.

3.1.2. Estudios de viabilidad

Al momento de analizar la viabilidad de la realización de un proyecto, es necesario evaluar diferentes aspectos que lo influyen a saber:

- Viabilidad técnica: busca determinar si es posible realizar el proyecto desde los aspectos técnicos del mismo. Normalmente es realizado por expertos del área.
- Viabilidad legal: hace referencia a determinar que el proyecto cumple con todos los aspectos requeridos por la ley.
- Viabilidad económica: compara los costos y los beneficios estimados de realizar el proyecto.

- Viabilidad de gestión: intenta determinar si se cuenta con las capacidades gerenciales necesarias para llevar a cabo el proyecto de manera correcta y eficiente y si se necesitará personal con habilidades y capacidades específicas.
- Viabilidad política: se refiere a la intención que poseen los responsables de tomar la decisión de querer implementar o no el proyecto, independientemente de su rentabilidad.
- Viabilidad ambiental: busca determinar el impacto ambiental que supondría la implementación del proyecto.

3.1.3. Tamaño

El estudio del tamaño del proyecto es fundamental para decidir respecto al nivel de operaciones que se realizarán y por ende las inversiones que será necesario realizar. De éste análisis se desprenden tanto los costos que se estima necesario realizar y también los ingresos que se generarán. Se estima la capacidad instalada necesaria para cumplir con los requerimientos de la demanda. En este caso corresponde a la cantidad de basura que se genera y separa por la ciudadanía y el análisis de su comportamiento futuro.

3.1.4. VAN y TIR

El valor actual neto (VAN) es un método generalmente aceptado para evaluar proyectos. Se calcula obteniendo el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados y restando el monto de la inversión inicial. Por lo tanto, el VAN mide el excedente que se obtiene más allá de la rentabilidad esperada o exigida, después de recuperar la inversión realizada (Mete, M. R., 2014).

Cuando el resultado es mayor que cero, indica cuánto se gana después de recuperar la inversión, por encima de la tasa de retorno que se le exige al proyecto. Cuando el resultado es igual a cero, indica que lo que se obtiene es exactamente la tasa que se exige, luego de recuperar el capital. En cambio, cuando el resultado es negativo muestra el resultado que falta ganar a la tasa deseada, después de recuperar la inversión.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n es el número de periodos de tiempo

k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

La tasa interna de retorno (TIR), es otro método de evaluación y mide la rentabilidad como un porcentaje. Es la tasa máxima que se puede exigir al proyecto para que el VAN sea cero. Las limitaciones que presenta la TIR hacen que sea menos aceptado como criterio de evaluación, a saber:

- Su resultado conduce a la misma regla de decisión que el VAN
- No sirve para comparar proyectos ya que una TIR mayor no es mejor que una menor. Esto es así porque la conveniencia se mide en función de los montos invertidos.
- Cuando hay cambios de signos en los flujos de caja, puede encontrarse tantas TIR como cambio de signos observados.
- No sirve para proyectos de desinversión.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n es el número de periodos de tiempo

Ambos métodos se basan en el concepto del valor del dinero en el tiempo, que involucra la existencia de un costo por el uso de recursos en el proyecto. Significa que un peso hoy vale más que un peso en el futuro, ya que puede invertirse para obtener una ganancia.

3.1.5. Inflación

La inflación o el aumento generalizado de los precios de una economía, no se incluyó en el análisis del proyecto debido a las siguientes razones:

- El período de análisis de 10 años del proyecto dificulta la posibilidad de estimar la variación anual del índice de precios al consumidor (IPC).
- El IPC representa la variación de precios de una canasta de bienes de consumo familiar, la cual puede no ser representativa de los beneficios y costos del proyecto. Esto obliga a conocer la variación en los precios relativos de cada costo e ingreso. Este cálculo puede implicar un costo mayor que el beneficio de conocerlo.
- Los costos que varían por el efecto inflacionario son transferibles a los precios, por lo que los cambios en los precios relativos sólo afectan a algunos componentes del flujo.
- Al aplicar una tasa de inflación para transformar los valores reales en nominales, tanto a los flujos como a la tasa de descuento, su efecto se elimina por simplificación matemática entre el numerador y el denominador.

El análisis de sensibilidad del proyecto permitirá identificar cuáles de las variables se verán más afectadas ante cambios en los costos y beneficios, pudiendo prestar especial atención a cómo es el impacto de la inflación en estos (Sapag Chain N., 2011).

3.1.6. Análisis de sensibilidad

Es importante que las decisiones de inversión no sólo se basen en un VAN positivo, sino en el entendimiento de las variables que lo determinan y el impacto de la no ocurrencia de ciertos parámetros considerados en el cálculo. Para ello se realizan análisis de sensibilidad (Sapag Chain N., 2011).

Se pueden mencionar tres herramientas para el análisis del riesgo y la incertidumbre del proyecto:

- Análisis de escenarios: el objetivo es identificar qué sucede con el VAN si se modifica el valor de una o más variables. Para evitar realizar un flujo de caja por cada combinación posible entre las variables del proyecto, se simplifica el análisis determinando un escenario optimista y uno pesimista.
- Análisis de puntos críticos: se busca determinar cuánto se puede modificar el valor de una o más variables para que el proyecto tenga mínimamente un VAN igual a cero.
- Simulación: se busca calcular la probabilidad de que el proyecto no sea rentable y cuáles son las variables críticas.

3.1.7. Costo del Capital

El costo de capital es la tasa a la que se descuentan los flujos del proyecto. Es la tasa de rendimiento exigida a la inversión, es decir, la compensación por el costo de oportunidad de los recursos invertidos y por el riesgo que se asume (Sánchez, A. V., 2011).

El costo del capital puede medirse tanto para el proyecto bajo análisis como para el inversionista. En este caso se busca medir la rentabilidad del negocio independientemente de la forma en que se financie, por lo que se asume que el costo de capital desapalancado K_u (financiado con recursos propios) es igual al costo de capital del inversionista (K_e). Dicho esto, se define al costo de capital desapalancado (K_u) como la tasa de retorno esperada que se obtendría del mercado de capitales por inversiones con riesgo similar (Sapag Chain N., 2011).

El modelo de valoración de los activos de capital (CAPM) puede utilizarse para calcular la rentabilidad esperada para la empresa y señala que la tasa de rentabilidad exigida es igual a la tasa libre de riesgo más una prima de riesgo. La tasa libre de riesgo es la mejor opción entre las tasas existentes que se estiman que tienen cero riesgo. El riesgo de una inversión está definido por su beta (β), que representa cómo se ve afectada la rentabilidad de una empresa la fluctuación en la rentabilidad del mercado. En otras palabras, es el riesgo sistemático de invertir en una industria. Cuando no existen indicadores de rentabilidad en el mercado de acciones que sean confiables o de largo plazo, se puede recurrir a tasas internacionales y realizar un ajuste para incluir el riesgo que representa invertir en ese país (R_p) (Sapag Chain N., 2011).

$$K_u = R_f + \beta_u (R_m - R_f) + R_p$$

K_u = rentabilidad esperada de la industria

R_f = tasa libre de riesgo

β_u = beta desapalancado

R_m = tasa de retorno esperada para el mercado

R_p = prima por riesgo país

3.2. Huella de Carbono

En la década de los 90, el mundo comenzó a notar los efectos del calentamiento global y a tomar conciencia sobre la Huella de Carbono. A través de diferentes tratados que fueron firmados a lo largo de los últimos años, diferentes naciones del mundo se comprometieron a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Hoy en día, siendo testigos de los efectos que está causando el calentamiento global en los ecosistemas y también en las economías, debido a los daños que causan los fenómenos climáticos extremos como las sequías y las inundaciones, es de vital importancia que los gobiernos actúen en consecuencia (Ghosh, P. et al, 2020).

El calentamiento global es causado por el exceso de gases de efecto invernadero que genera la actividad humana. Estos gases absorben y retienen determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja, lo que genera que parte del calor que la tierra transmite desde su superficie quede retenido en la atmósfera en lugar de liberarse hacia el espacio. El cambio climático afecta tanto a los sistemas naturales como a los humanos e impacta en la disponibilidad de recursos, la actividad económica y el bienestar general de las personas. Es importante que tanto el sector privado como el público tomen conciencia del problema y se involucren en iniciativas tendientes a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera (ISO 14067, 2018). Un manejo más eficiente de los residuos podría indirectamente reducir las emisiones de dióxido de carbono al recuperar materiales y generar

energía que de otra manera sería producida mediante el uso de combustibles fósiles (Sun, L. et al, 2018)

La Huella de Carbono es la cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero, como el metano, que son emitidos al ambiente como consecuencia directa o indirecta de la actividad humana. Es un indicador ampliamente conocido de la contribución que realiza cada persona, organización, ciudad o país al fenómeno del calentamiento global (Pandey, D., et al, 2010). Puede ser medido para una organización o un producto. La huella de carbono de un producto mide los gases de efecto invernadero emitidos durante todo el ciclo de vida de este, es decir, desde la extracción de materias primas, el proceso de fabricación, su distribución, uso y final de su vida útil (depósito, reutilización o reciclado). En cuanto a la huella de carbono de una organización hace referencia a los gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de las actividades de dicho ente (Ministerio para la Transición Ecológica, 2016). Este trabajo se centrará en el cálculo de la huella de carbono de una organización, a saber, el Centro Ambiental de Villa Carlos Paz.

Las emisiones pueden ser de tres tipos:

- Emisiones directas: Indica la cantidad de gases de efecto invernadero emitidas directamente por las actividades de la organización. Estas emisiones son controlables y pueden ser reducidas mediante cambios en los procesos que realiza el ente.
- Emisiones debido a la electricidad: este tipo de emisión depende de la forma en que las compañías eléctricas generan la electricidad que luego se compra. No es controlable por la organización bajo análisis, pero de todas maneras es responsable por esas emisiones. Es por esto que las medidas de ahorro de energía son muy importantes (Ghosh, P. et al, 2020).
- Emisiones indirectas: Este tipo de emisiones no son directamente controlables. Consiste en los bienes o servicios que utiliza la organización que indirectamente provocan emisiones de CO₂.

Para facilitar el cálculo de la huella de carbono, sólo se tomarán en cuenta las emisiones mencionadas en los primeros dos puntos, es decir, las emisiones directas y las derivadas del consumo de energía eléctrica de la planta.

La medición de la Huella de Carbono es una herramienta importante para el manejo de los gases de efecto invernadero y la toma de decisiones respecto a su control y mitigación. Existen distintas opiniones respecto a qué gases deberían ser considerados en el cálculo, pero a partir del tratado de Kyoto de 1997 se consideró que los principales gases que generan el efecto invernadero y cuyas emisiones deben ser reducidas son el Dióxido de Carbono (CO₂), el Metano (CH₄) y el Óxido de Nitrógeno (N₂O) (Pandey, D., et al, 2010).

Para calcular la Huella de Carbono es necesario estimar y sumar la cantidad de gases de efecto invernadero que se generan o reducen por cada actividad involucrada en el proceso. Debido a que es generada por diferentes gases, es necesario utilizar una unidad de medida que los unifique. Es por esto que se utiliza el dióxido de carbono equivalente. Cada gas de efecto invernadero se transforma en dióxido de carbono teniendo en cuenta su potencial de calentamiento, esto es, el efecto radiativo y el período de permanencia en la atmósfera que genera un kilogramo del gas en comparación con el dióxido de carbono (IPCC, 2014).

Tabla 1: Potencial de calentamiento mundial

Gas	Potencial de calentamiento mundial
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido de Nitrógeno (N ₂ O)	265

Fuente: Elaboración propia con datos del IPCC (2014).

Existen diferentes metodologías para su cálculo, entre las que podemos mencionar a forma de ejemplo:

- Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol). Desarrollado por el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, es uno de los protocolos más utilizados a escala internacional para cuantificar y gestionar las emisiones de GEI.
- UNE-ISO 14064-1. De acuerdo con el GHG Protocol se desarrolla en 2006 la norma ISO 14064.
- IPCC 2006 GHG Workbook. Una completa guía para calcular GEI que incluye una lista de factores de emisión.
- Indicadores GRI (Global Reporting Initiative). Iniciativa internacional en la que participan entidades de diversos ámbitos, incluyendo empresas, gobiernos y diferentes organizaciones civiles.

La base del cálculo surge de la aplicación de la siguiente fórmula:

Huella de carbono = Dato de actividad X Factor de conversión

Donde:

Dato de actividad: define el grado o nivel de la actividad que genera las emisiones de gases de efecto invernadero. por ejemplo, la cantidad de combustible utilizada por los camiones recolectores de residuos.

Factor de emisión: supone la cantidad de gases emitidos por cada unidad del parámetro "dato de actividad". Varían en función a la actividad que se trate. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) pone a disposición una tabla de factores de emisión.

Además, es necesario determinar una serie de parámetros que encuadren el cálculo (Ministerio para la Transición Ecológica, 2016). Estos son:

1. Establecer los límites de la organización y los límites operativos: consiste en definir las áreas que se incluirán para la recolección de información. Deben distinguirse las emisiones directas y las indirectas.
2. Elegir el período para el cual se realizará el cálculo de la huella de carbono.

3. Recopilar los datos de actividad de las operaciones.
4. Buscar los factores de emisión adecuados. Diferentes fuentes internacionales disponen de cuadros que muestran los factores de emisión y a su vez, también disponen de calculadoras de huellas de carbono para facilitar la tarea.

Teniendo en cuenta estos parámetros, se deben medir las emisiones que genera cada una de las actividades de la organización:

A. Transporte:

Para simplificar el cálculo, en lo relativo al transporte, no se contabilizarán otros gases de efecto invernadero más que el dióxido de carbono. Cabe señalar, que tampoco serán considerados los desplazamientos que realicen los trabajadores desde sus hogares hasta la planta de reciclaje y viceversa. Serán considerados los litros de combustible consumidos por los diversos vehículos y las maquinarias que lo requieran.

B. Consumo de combustible de instalaciones fijas:

Se incluye el consumo de combustible de hornos, calderas, turbinas, calentadores, incineradores, motores, etc. Es necesario conocer la cantidad de combustible que se consume en un período de tiempo.

C. Otras actividades que generan gases de efecto invernadero:

En este punto debemos considerar el metano generado por la descomposición de la materia orgánica que componen a los residuos sólidos urbanos. El 31% de las emisiones mundiales de metano provienen de este tipo de residuos.

D. Consumo eléctrico:

En general, la energía eléctrica procede de proveedores externos, por lo que es necesario conocer la forma en la que la producen. Existen métodos que generan más gases de efecto invernadero que otros, por lo que es un dato con el que se necesita contar para su cálculo.

Conocer la huella de carbono que se genera permite la posibilidad de tomar medidas para reducirlas, ya que es difícil gestionar y tomar decisiones sobre una actividad si no se dispone de la información necesaria que permita realizar mediciones comparables y objetivas. Los planes de mejora para la reducción de las emisiones que se generan deben plantearse en un marco de tiempo determinado. De esta manera se puede ir comparando período tras período los logros alcanzados y los puntos que requieren más atención. Por esto es indispensable contar con información del punto de partida para iniciar las acciones de mejora.

Al conocer las principales actividades que generan gases de efecto invernadero, se pueden identificar las áreas que permitirán reducirlas. Es importante establecer un horizonte temporal para las metas de reducción que se pretenden alcanzar. Para ello se deben planificar las acciones a realizar, estableciendo un calendario.

Otro factor a tener en cuenta es la comunicación interna y externa de los objetivos planteados ya que sólo mediante el compromiso de todos los grupos de interés se podrá llegar a la meta. Es decir, tanto los funcionarios que toman las decisiones, como los trabajadores y también la ciudadanía deben saber y tomar conciencia de las acciones que se espera de ellos y cuáles serán los resultados que se espera lograr con su accionar.

3.3. Residuos Sólidos Urbanos

Los Residuos Sólidos Urbanos, son aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados. (Ley Nacional 25916, 2004, Artículo 2). La gestión integral de estos comprende todo el proceso, desde la etapa de generación hasta el de disposición final, incluyendo la separación en origen, disposición inicial, recolección, transporte, almacenamiento y tratamiento (Ley Nacional 25916, 2004, Artículo 3).

La generación de residuos sólidos está directamente relacionada con el nivel de urbanización y desarrollo de la sociedad, por lo que a medida que esta crece y se desarrolla económicamente, aumenta la cantidad de residuos que se generan y la necesidad de un manejo apropiado de los mismos (Ziraba, A.K. et al, 2016). Por esto, es deseable reducir al mínimo posible la generación de residuos por parte de la sociedad. La jerarquía en la gestión de residuos

prioriza evitar su generación y minimizar la disposición final, incrementando la reutilización, reciclado y compostaje de la mayor cantidad de materiales posible (Rondón Toro E. et al, 2016).

La recolección consiste en recoger los materiales de los domicilios y comercios particulares. Ésta puede ser diferenciada o general, dependiendo si los residuos se separan en origen o no. En cuanto al transporte, incluye el traslado de los materiales entre los distintos puntos involucrados en el proceso (Schejtman, L. e Irurita, N., 2012).

El objetivo del tratamiento de los residuos es la reducción de los desperdicios y la revalorización de los materiales contenidos en ellos. Las tecnologías utilizadas en el tratamiento de residuos pueden ser mecánicas, térmicas o biológicas. Dentro de las mecánicas encontramos tres alternativas: la clasificación de los residuos en función del valor económico (paso previo a un procesamiento posterior); la trituración, que implica la reducción de los volúmenes de los residuos y permite una mayor homogeneización; y la compactación, que reduce los espacios vacíos disminuyendo el volumen. En cuanto al tratamiento térmico, éste puede ser a través de la incineración, que implica la quema controlada y a alta temperatura de los residuos; o a través de pirólisis, que consiste en la degradación térmica a menor temperatura y que da como resultado líquidos y gases de alto valor energético con menor impacto ambiental que la incineración. Los procesos biológicos pueden ser aeróbicos, como el compostaje, o anaeróbicos, utilizados para la obtención de biogás (Rondón Toro E. et al, 2016)..

La disposición final de los residuos implica el confinamiento permanente de estos en un relleno sanitario (Schejtman, L. e Irurita, N., 2012). El relleno sanitario es una obra de ingeniería que considera los problemas que pueden traer los líquidos y gases generados por la descomposición de los residuos. Consiste en la compactación de los residuos en una fosa propiamente aislada que los cubre periódicamente con tierra (Rondón Toro E. et al, 2016)..

Por otro lado, los residuos se clasifican según su composición química y humedad en orgánicos o inorgánicos, entendiendo por orgánicos a los que son fácilmente degradables por la acción de microorganismos (Secretaría de Asuntos Municipales, 2011). En cambio los inorgánicos no se degradan de forma natural. Otro criterio de clasificación considera a los residuos secos como los que pueden ser reciclados, como por ejemplo: vidrio, cartón, plástico; y húmedos al resto de los residuos (orgánicos y no reciclables).

3.4. Biodigestión

El interés en el uso de energías renovables ha incrementado en los últimos años en un esfuerzo por disminuir el impacto ambiental que generan los combustibles tradicionales. Debido a que la biodigestión representa una solución tanto para la disposición final de los residuos orgánicos (urbanos, industriales y/o agrícolas), como también para la generación de energía (térmica o eléctrica), el análisis de su implementación en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos representa una alternativa interesante (Mao C. et al, 2015).

El proceso de biodigestión anaeróbica se realiza en biodigestores. Estos son reactores diseñados para convertir materia orgánica en energía, y, como subproducto, generan biofertilizantes. Este proceso ocurre mediante el accionar de microorganismos metanogénicos, que en tres etapas transforman la materia orgánica en biogás (Casanovas G. et al, 2019):

1. Hidrólisis: Los microorganismos degradan la materia orgánica compleja (proteínas, hidratos de carbono, grasas) en materia orgánica soluble (azúcares, aminoácidos, ácidos grasos)
2. Acidogénesis y acetogénesis: distintos grupos de microorganismos procesan la materia soluble y liberan hidrógeno, dióxido de carbono y acetato. En esta etapa es muy importante controlar el PH para evitar que la acidificación interfiera con la acción de los microorganismos.
3. Metanogénesis: en esta etapa se genera el biogás como resultado de la transformación del dióxido de carbono y del hidrógeno y también el digestato que puede ser utilizado como fertilizante.

Es importante controlar ciertos parámetros para garantizar que el proceso se desarrolle correcta y eficientemente, a saber:

- PH: mide la alcalinidad o acidez de los sustratos. Es esencial controlarlo para evitar que la acidificación impida la producción de biogás de los microorganismos.
- Temperatura: este proceso puede desarrollarse entre los 10 y 55 grados centígrados, siendo mayor la producción de biogás cuanto más temperatura haya, aunque también más sensible a pequeños cambios en el proceso o en el sustrato. El mismo proceso de

biodigestión genera aumento de temperatura, por lo que dependiendo de las condiciones climáticas de la zona donde se encuentre el biodigestor es necesario o no aportar calor al proceso.

- Velocidad de carga orgánica: indica la cantidad de materia orgánica que puede ser introducida por unidad de volumen y tiempo. Este parámetro depende del sustrato utilizado, por lo que realizar un muestreo previo de los materiales que se utilizarán en el proceso es importante.

La biodigestión puede llevarse a cabo mediante tecnologías muy variadas, dependiendo del volumen y composición de la materia orgánica que se requiera tratar. Los biodigestores pueden ser de alta o baja tecnología; de carga única (en batch) o continuos; según el contenido de materia seca pueden ser húmedos, semihúmedos o secos; según el grado de mezclado requerido puede ser mezcla completa, parcial o nula. Para el caso bajo análisis se optó por un sistema de alta tecnología, ya que permiten un mejor control del proceso. Esto es necesario cuando se trabaja con grandes cantidades de materia orgánica en simultáneo. La carga del material es continua, ya que este tipo de residuos llegan diariamente a la planta para su tratamiento.

El biogás, uno de los productos resultantes del proceso de biodigestión, es un combustible renovable que puede ser utilizado para producir electricidad, calor o utilizarse como combustible para vehículos (Scarlat, N et al, 2018). Su composición química y poder calorífico (la cantidad de energía por unidad de masa que puede desprenderse al producirse una reacción química de oxidación) está determinada por el sustrato que se utilice, de la tecnología utilizada y de la temperatura de los procesos. Mientras mayor sea la cantidad de metano que lo componga, mayor será su poder calorífico.

Otro subproducto de la biodigestión son los digestatos. Su humedad depende del sistema de biodigestión utilizado y su calidad y cantidad dependen de la materia orgánica que se emplee. Los digestatos pueden tener diferentes destinos, si se lo considera un efluente y su disposición final es un curso hídrico, debe ser tratado apropiadamente para que cumpla con las condiciones necesarias de salubridad y no contamine el medio. En cambio, si se lo utiliza como biofertilizante, es necesario conocer su composición química, para que permita decidir la dosis, momento y métodos óptimos de aplicación dependiendo del cultivo que se trate. El uso de

biofertilizantes puede reemplazar parcial o totalmente a los fertilizantes inorgánicos, ayudando además a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo por el aporte de materia orgánica (Casanovas G. et al, 2019).

3.5. Compostaje

El compostaje consiste en la descomposición biológica de compuestos orgánicos (Soto, G., & Muñoz, C., 2002). Es un proceso biológico aerobio (necesita la presencia de oxígeno), que bajo ciertas condiciones controladas de aireación, humedad y temperaturas, transforma los residuos orgánicos degradables en un producto estable, que puede ser aplicado al suelo como abono o como sustrato (Negro, M. J. et al, 2000). El producto resultante denominado compost, es un acondicionador orgánico natural del suelo que permite mejorar su composición física, química y biológica (Sánchez, D. M. A. et al, 2019). Entre los beneficios que aporta al suelo se pueden mencionar: aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo, reduce el riesgo de erosión y aporta macronutrientes que las plantas aprovechan (como Nitrógeno, Fósforo y Potasio) (Martínez M. et al, 2013).

La calidad del compost y los nutrientes que lo componen depende de la materia orgánica que se utilice, el método de compostaje y también del grado de madurez del producto final (Soto, G., & Muñoz, C., 2002). No todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente, son considerados compost. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad. Éstas etapas son:

1. Fase Mesófila: el compost comienza a temperatura ambiente pero por el accionar de microorganismos aumenta hasta los 45 grados centígrados.
2. Fase Termófila o de Higienización: la temperatura sigue aumentando y supera los 60 grados. Este aumento destruye bacterias y contaminantes que pueden resultar peligrosos, como la *Salmonella* spp, y también huevos de insectos, esporas de hongos y semillas de malezas indeseadas.
3. Fase de Enfriamiento: la temperatura desciende hasta los 40 - 45 grados.
4. Fase de Maduración: Esta etapa dura entre 3 y 6 meses a temperatura ambiente. En esta etapa se estabilizan los compuestos del compost.

Todo el proceso demora entre 4 y 8 meses, dependiendo de los residuos que se utilizan y las condiciones climáticas del lugar. Todas las etapas del proceso deben ser controladas regularmente para asegurar las condiciones óptimas, lo que se ve reflejado en la calidad del producto final (Martínez M. et al, 2013).

El proceso de compostaje comienza con el picado del material. Los restos de poda deben reducirse a fragmentos de 10-15cm. Luego, deben acumularse en pilas. Cada pila debe ser de 1,5 metros de alto y no recibir material con más de una semana de diferencia para que no esté compuesta por materiales en distintos estadios de descomposición. El siguiente paso consiste en voltear las pilas una vez por semana durante 3 o 4 semanas y luego cada 15 días, dependiendo de las condiciones climáticas y de humedad. El material debe ser controlado con cada volteo, verificando su temperatura, humedad y PH. Por último se tamiza el compost maduro para eliminar elementos gruesos y otros contaminantes como piedras, vidrios o metales.

4. Metodología

El diseño de la metodología a emplear es importante ya que permite delinear un plan de acción a través del cual se obtendrá la información para realizar los análisis pertinentes que permitirán llegar a las conclusiones.

El trabajo se realizará en distintas etapas:

1. Relevar situación actual: A través de entrevistas a los encargados de la planta de reciclaje y funcionarios de la Municipalidad de Villa Carlos Paz, se buscará recopilar información respecto a los diversos procesos involucrados en la gestión de los residuos sólidos. Se indagará respecto al recorrido que realizan los distintos tipos de desechos desde su origen hasta su disposición final. En conjunto con la información cuantitativa que brinde la entidad respecto a los costos involucrados se obtendrá un panorama de las erogaciones que se realizan en la actualidad.
2. Relevar información respecto a alternativas posibles para los procesos actuales. Se investigarán distintas alternativas de acuerdo con las opciones presentes en el mercado para el tratamiento de los distintos tipos de residuos. Se valorarán las distintas alternativas

mediante el cálculo del Valor Actual Neto, reflejando tanto los costos incrementales como los ahorros de costos que se presenten.

3. Se estimará la huella de carbono de la situación actual y la resultante de la aplicación de cada alternativa. Esto se realizará mediante el método aplicado por la IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change)
4. Se realizará la evaluación de los proyectos de inversión.

5. Análisis y resultados

5.1. Relevamiento de procesos

Según la entrevista realizada a Germán Rivero, Director de Servicios Públicos de la Municipalidad de Villa Carlos Paz, los procesos implicados en la gestión de los residuos son los siguientes:

1. Separación en origen: Los habitantes de Villa Carlos Paz y ciertas comunas aledañas, deben realizar la separación de sus residuos en «húmedos» y «secos». Los residuos considerados secos están compuestos por diversos materiales que deben ser lavados y secados por los ciudadanos antes de disponerlos para su recolección. Entre los materiales que pueden ser desechados como secos encontramos: plásticos diversos, como botellas, envoltorios, embalajes; vidrio de distintos colores (verde, transparente, marrón); metales ferrosos y no ferrosos; cartones y papel; entre otros.

Los residuos húmedos también presentan un alto grado de heterogeneidad. Por un lado, están compuestos por los residuos orgánicos, es decir, restos de comida y poda del jardín, y por el otro, residuos no biodegradables que no pueden considerarse como secos, como pañales y latas con pintura. Además, se incluyen residuos que podrían considerarse como secos si fuesen separados apropiadamente.

2. Recolección diferenciada: El servicio de recolección funciona diferenciadamente, es decir, los residuos húmedos y los secos se recolectan en horarios diferentes según el cronograma preestablecido para cada área (Véase Anexo 1). También los restos de poda

son recolectados con un cronograma distinto. De esta manera se permite que cada tipo de residuo pueda ser transportado al lugar que le corresponde para su posterior tratamiento.

Es muy importante la participación ciudadana tanto en la etapa de separación como en la de recolección ya que sólo de esta manera es posible separar los materiales para poder continuar con su tratamiento. La correcta separación, respetando los horarios previstos para cada tipo de residuo, es vital para el éxito en cualquier plan de tratamiento de residuos sólidos urbanos, ya que de otra manera resultaría inviable y todos los materiales deberían ser enviados al relleno sanitario.

3. Transporte a la planta de tratamiento: El transporte a la planta de tratamiento se realiza mediante camiones compactadores, que una vez que alcanzaron su máxima capacidad de carga (o a la finalización del recorrido preestablecido) deben transportar lo recogido hasta la planta de tratamiento.
4. Tratamiento y Disposición Final:
 - a. Húmedos: Los residuos húmedos son transportados hasta el Centro Ambiental para ser compactados y luego enterrados en el relleno sanitario. El objetivo actual de este proceso es reducir el volumen de los residuos para aprovechar la capacidad del relleno sanitario. Los desechos compactados son cubiertos con tierra periódicamente para evitar malos olores.

Los líquidos generados por la materia orgánica, también conocidos como «lixiviados» son recolectados mediante los canales construidos para este propósito en el relleno sanitario. Mediante una bomba, se extrae y luego se traslada a una serie de piletones. Aquí, se tratan estos líquidos para recuperar el agua que se utiliza para riego.

- b. Secos: Por su parte, los residuos secos son trasladados hasta los galpones del predio del Centro Ambiental para su posterior tratamiento. Mediante una cinta seleccionadora, los empleados del Centro controlan y separan los residuos. Por una parte, se separa el plástico, el papel y el cartón que sean aptos para el co-procesamiento. Estos materiales son transportados a Geocycle en Malagueño para utilizarse en el proceso de producción de cemento de Holcim. El transporte

de los materiales hasta la planta de co-procesamiento está a cargo de la Municipalidad de Villa Carlos Paz.

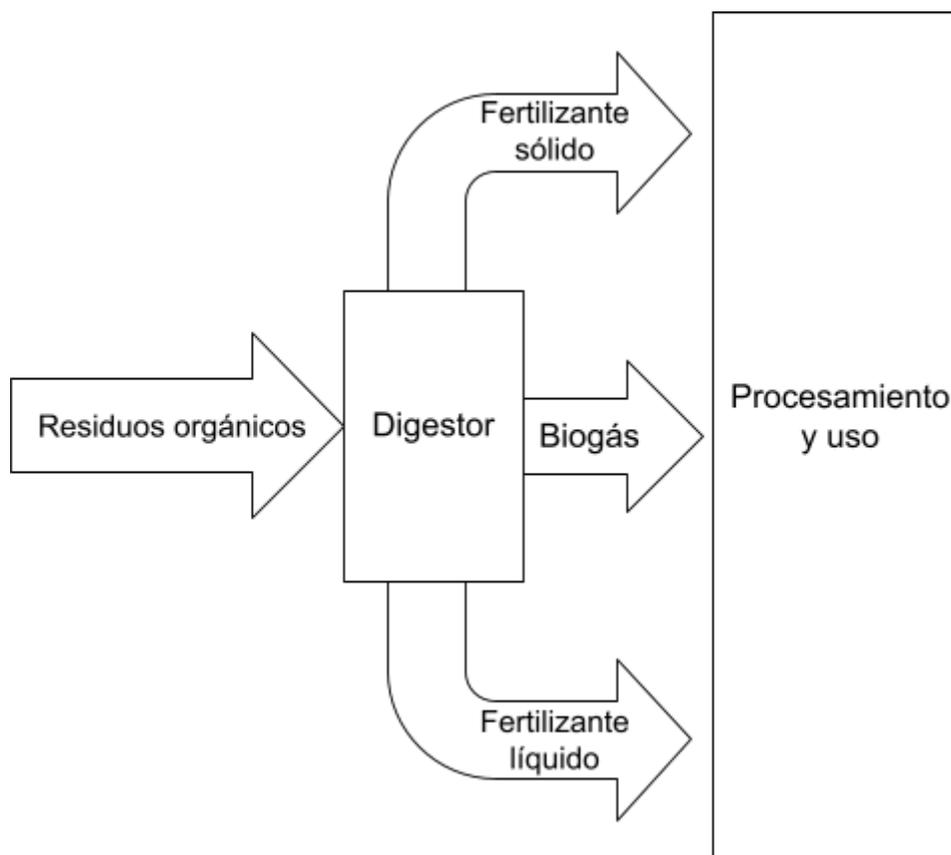
Por otra parte, el vidrio y los metales no son aptos para el co-procesamiento, por lo que se separan, enfardan y acopian. Por el momento, no se realiza otro tratamiento posterior ni se entregan para reciclado.

- c. Poda: Los residuos de poda recolectados son transportados a la planta para su chipeado (reducción mediante una chipeadora en partes más pequeñas) y luego son depositados en el relleno sanitario. Junto con el proyecto inicial de la planta de tratamiento de basura se planteó la alternativa de compostar este tipo de residuos, pero por el momento no se realiza.

5.2. Análisis de procesos alternativos

5.2.1. Biodigestión de residuos orgánicos

Como se mencionó anteriormente, la biodigestión consiste en la transformación de residuos orgánicos en gas metano. Como resultado natural de este proceso, el sistema también genera fertilizantes líquidos y sólidos (Figura 1). Mediante un generador, el biogás es transformado en energía eléctrica y los fertilizantes pueden ser utilizados en los cultivos.

Figura 1: Proceso de biodigestión

Fuente: Elaboración propia

A. Costos

La inversión inicial está compuesta por un biodigestor valuado en \$100.430.000. El mismo viene integrado con un generador eléctrico y en este precio se encuentra incluido el costo de instalación, de acuerdo con lo que estipula el vendedor. Puede procesar hasta 35.000 toneladas diarias de basura orgánica, generando entre 3000 y 5000 metros cúbicos de biogás que producen entre 5000 y 7000 kw/hora al día de energía eléctrica. El sistema también puede generar aproximadamente 12 toneladas diarias de digestato sólido y 80 toneladas diarias de fertilizante líquido. Ambos productos pueden ser vendidos como fertilizantes biológicos.

Es necesario realizar una inspección previa de los residuos que arriban a la planta en búsqueda de materiales que no sean aptos para la biodigestión, es decir, materiales no biodegradables como plásticos, vidrios y metales. Para ello se puede utilizar una cinta seleccionadora que permita el control manual de la basura por parte de los empleados de la planta. El costo de la maquinaria necesaria asciende a \$34.536.345.

Una vez controlados, los residuos pueden ser triturados antes de su ingreso al biodigestor. Este paso no es obligatorio para el éxito del proceso, pero sí es recomendado, ya que de esta manera se acelera el proceso de digestión o metanización. El valor de la máquina para realizar este proceso de triturado es de \$80.418.113.

En cuanto a los costos que se deben tener en cuenta para el normal funcionamiento del biodigestor se describen a continuación:

- **Lubricantes:** son necesarios para el correcto funcionamiento de las maquinarias y motores. Su monto anual asciende a \$488.667, de acuerdo a la información proveída por el municipio y en proporción al aumento de la cantidad de máquinas que requiere el proyecto. Cabe mencionar que todos los costos considerados son costos diferenciales, es decir, el aumento de los mismos por llevar a cabo el proyecto. No se toman en cuenta los costos hundidos, que son los que se deben realizar aunque no se lleve a cabo el proyecto.
- **Combustible:** este gasto aumenta en un 25% a lo informado por el municipio por la incorporación de nuevas maquinarias y las nuevas actividades que serán requeridas para el tratamiento de los residuos orgánicos. De esta manera se estima que cada año será necesario una erogación de \$126.947.
- **Reparaciones y mantenimiento:** durante el primer año, no serán necesarios gastos de reparación y mantenimiento, ya que las maquinarias son nuevas. A partir del segundo año y en adelante deberá tenerse en cuenta este costo, y debido al transcurso de la vida útil de las maquinarias, éste será cada vez mayor. Se calculó

el incremento basado en los costos actuales del municipio y se consideró que los mismos incrementarán un 1% más cada año por el desgaste natural de los mismos.

Tabla 2: Gastos de reparación y mantenimiento para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Reparaciones y mantenimiento			(\$1.152.058)	(\$1.163.578)	(\$1.175.214)

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
(\$1.186.966)	(\$1.198.836)	(\$1.210.824)	(\$1.222.933)	(\$1.235.162)	(\$1.247.514)

Fuente: Elaboración propia

- Sueldos: los nuevos procesos que implica la implementación del biodigestor requerirán de más trabajadores. Se estima que serán necesarios siete operarios nuevos. Se consideró que los mismos mantendrán su empleo en los 10 años que se analiza el proyecto, por lo que se consideró el aumento del 1% correspondiente a la antigüedad.

Tabla 3: Sueldos y cargas sociales para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Sueldos y cargas sociales		(\$7.467.085)	(\$8.213.794)	(\$9.035.173)	(\$9.938.690)

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
(\$10.932.559)	(\$12.025.815)	(\$13.228.397)	(\$14.551.237)	(\$16.006.360)	(\$17.606.996)

Fuente: Elaboración propia

- Control de calidad y seguridad: para asegurar el buen funcionamiento del sistema es necesario realizar una inspección anual del biodigestor. Es importante destacar que al ser un proceso biológico que involucra el crecimiento natural de bacterias, se debe evitar la interrupción del proceso, ya que una vez interrumpido el proceso de degradación biológica necesita aproximadamente tres meses para volver a alcanzar los niveles óptimos de generación de energía.

Por otro lado, es necesaria la revisión periódica del sustrato obtenido al final del proceso para poder evaluar su calidad y de esta manera poder ser vendido como fertilizante.

Por estos motivos, se debe contratar un ingeniero que realice visitas cada tres meses para el control del sustrato y una vez al año para que inspeccione el biodigestor. El costo anual asciende a \$277.500.

- Recolección diferenciada: implementar un nuevo proceso de tratamiento para los residuos orgánicos conlleva la necesidad de que los ciudadanos los separen en origen y también que el sistema de recolección de los mismos se adapte, implementando nuevos recorridos que permitan su transporte diferenciado a la planta.

Es por esto que se plantea un nuevo esquema de recorridos para el servicio de recolección que se puede apreciar en las siguientes tablas:

Tabla 4: Recorridos de recolección de basura actuales

Cantidad de recorridos semanales	ZONA 1	ZONA 2 A	ZONA 2 B	ZONA 2 C	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	Total
Secos	1	2	2	2	1	1	1	1	7	18
Húmedos	3	4	4	4	3	3	3	3	14	41
Poda	1	1	1	1	1	1	1	1	7	15

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de la página web de la Municipalidad de Villa Carlos Paz (Anexo 1)

Tabla 5: Recorridos de recolección de basura propuesto

Cantidad de recorridos semanales	ZONA 1	ZONA 2 A	ZONA 2 B	ZONA 2 C	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	Total
Secos	1	2	2	2	1	1	1	1	7	18
Orgánicos	2	3	3	3	2	2	2	2	14	33
Poda	1	1	1	1	1	1	1	1	7	15
No reciclables	2	2	2	2	2	2	2	2	7	23

Fuente: Elaboración propia

El cambio implica un aumento del 20% en la cantidad de los recorridos requeridos, por lo que el valor de los mismos asciende a \$76.873.799 por año.

B. Ingresos

Los ingresos están conformados por dos grupos, uno de ahorro de costos y el otro por la venta de los productos resultantes del proceso de biodigestión de los residuos orgánicos como se detalla a continuación:

- Ahorro de costos relleno sanitario: la implementación de este sistema de tratamiento de los residuos implica que una proporción de los residuos que actualmente se envían al relleno sanitario tendrían otro destino. En este caso se estima que el porcentaje de separación de residuos que se alcanzaría en la ciudadanía es del 59% del total. Este porcentaje es el que actualmente se alcanzó para la Ciudad de Córdoba, según fuentes periodísticas. Debido a que no se encontró información respecto a Villa Carlos Paz y alrededores, se consideró este mismo porcentaje (La Voz, 2019). El hecho de enviar una menor cantidad de residuos implica un ahorro en la futura construcción de rellenos sanitarios.

El relleno actual posee una vida útil de 6 años y fue entregado en octubre del 2018, por lo que, de no realizarse el proyecto, deberá construirse uno nuevo en 2024 y otro en 2030 dentro del período analizado. En tanto que si se realizara el proyecto, el relleno sanitario existente prolongará su vida útil, siendo necesaria su construcción en 2025. El relleno sanitario, bajo la nueva modalidad de tratamiento de los residuos orgánicos, cuenta con una vida útil de 9 años en lugar de 6.

Por lo expuesto anteriormente, el ahorro de costos que se produce es de \$267.832.880 en 2024 y 2030 y un gasto por el mismo monto en 2025.

- Ahorro de costos electricidad: el proceso de biodigestión genera entre 3000 y 5000 m³ de biogás cuando se alimenta con 35.000 toneladas de basura. El biogás es transformado en electricidad mediante un generador. En este caso, al recibir 19800 toneladas diarias, se puede generar aproximadamente 3687 kWh por día. La planta de reciclaje consume actualmente 13.500 kWh por mes de electricidad. El costo de la energía eléctrica proveída por EPEC a los municipios consta de cargos fijos y variables como se puede observar en la Tabla 6:

Tabla 6: Cuadro de costos de la energía eléctrica para Municipios

Costo energía eléctrica para Municipios	
Cargo Fijo	\$227,50
Cargos variables	
• Primeros 1.500 kWh por mes	\$12,33
• Excedente de 1.500 kWh por mes	\$12,74

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de EPEC

Aplicando estas tarifas y anualizando el cálculo obtenemos que el costo de la energía que se ahorra en la planta es de \$2.056.124 por año.

- Venta de electricidad sobrante: teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior respecto a la generación de energía eléctrica, podemos decir que se producirían 897292 kWh durante el primer año (ya que el proceso natural de biodigestión necesita 4 meses para ponerse en marcha) y 1345937 kWh a partir del segundo año. Restando el consumo anual de la planta de 162.000 kWh obtenemos que el sobrante de energía eléctrica producida es de 735.292 kWh para el primer año y 1.183.937 kWh desde el segundo año en adelante.

La Empresa Provincial de Energía Eléctrica reconoce como tarifa \$2,98 por kWh generado para los municipios que inyecten energía eléctrica en su red. Es por eso que durante el primer año se generan \$2.193.125 y a partir del segundo año se generan \$3.048.092.

- Venta de fertilizante líquido: uno de los productos que genera la biodigestión es el fertilizante líquido. Su calidad y potencial fertilizante depende de los residuos que forman parte del input del sistema, por lo que como se mencionó anteriormente, es necesario realizar testeos periódicos para conocer la calidad y el grado de concentración de nitrógeno y fósforo que posee. Es un fertilizante natural que puede ser utilizado de manera segura en cultivos, ya que el proceso mismo de biodigestión aumenta la temperatura del sustrato eliminando las bacterias que podrían resultar perjudiciales para el ser humano.

El sistema, bajo las condiciones mencionadas, puede producir 44,84 toneladas diarias de fertilizante líquido. Actualmente no existe en el mercado argentino ningún fertilizante natural como el que se produce en este caso. Esto se debe en su mayoría a que la práctica no está muy difundida y a que los productores que generan biogás utilizan el fertilizante generado para uso propio. Debido a esto, para poder realizar la valuación, se tomó el precio de otro fertilizante que posee características similares, como es la urea líquida con una concentración de nitrógeno al 32%. Al ser necesario el análisis periódico del fertilizante para conocer sus características reales, este nivel de nitrógeno estimado es conservador, ya que también se puede encontrar en el mercado productos con una concentración del 40%.

El precio de mercado del fertilizante equivalente es de \$69.000 por tonelada. Durante el primer año, el proceso demora cuatro meses aproximadamente hasta comenzar a producir el fertilizante, por lo que se generan 5456 toneladas valuadas en \$753.927.429. A partir del segundo año, el sistema genera 8183,3 toneladas, por un valor de \$1.130.891.144.

Bajo un criterio conservador se considera que sólo el 50% de los fertilizantes producidos pueden ser vendidos, por lo que los ingresos que se generan son \$376.963.715 durante el primer año y \$565.445.572 a partir del segundo.

El fertilizante que no pueda ser vendido puede ser repartido entre los ciudadanos de la ciudad con el objetivo de fomentar la separación de los residuos y así ayudar a aumentar la producción y disminuir el impacto ambiental. También puede ser utilizado por el municipio para la mantención de canchales y espacios verdes que tiene a su cuidado, como las plazas de la ciudad.

- Venta de fertilizante sólido: hay que tener en cuenta las mismas consideraciones respecto al mercado del fertilizante sólido biológico ya que, al no estar desarrollado en Argentina, se tomó el precio que para el fertilizante líquido. En total se producen 1579 toneladas durante el primer año por un valor de \$109.121.075 y a partir del segundo año se producen 2368,85 toneladas por un valor de \$1.130.891.144. Aplicando el mismo supuesto utilizado para los fertilizantes líquidos, los ingresos por la venta del 50% de lo producido es \$54.560.538 el primer año y \$81.840.806 a partir del segundo año.

C. Determinación de la tasa de descuento

Como se mencionó anteriormente, para calcular la tasa de descuento del proyecto se utilizará el modelo CAPM, el cual se resume en la siguiente fórmula:

$$K_u = R_f + \beta_u (R_m - R_f) + R_p$$

Donde,

K_u = rentabilidad esperada de la industria

R_f = tasa libre de riesgo

β_u = beta desapalancado

R_m = tasa de retorno esperada para el mercado

R_p = prima por riesgo país

Para la elección de la tasa libre de riesgo se tomó un bono a diez años del tesoro de Estados Unidos, al ser considerado como una inversión segura. La tasa de interés de estos bonos es de 1.58% anual.

El coeficiente beta considerado en el cálculo es llamado «Beta Damodaran». Es un indicador calculado el primer mes de cada año por el profesor de la Universidad de Nueva York, Aswath Damodaran. En este caso en particular se tomó el beta correspondiente a Servicios Ambientales y de Residuos, publicados en enero del 2021. El coeficiente es 0.95.

La tasa de retorno esperada es la que publica Standard & Poor's 500 (S&P 500). Es uno de los índices bursátiles más importantes de Estados Unidos ya que se lo considera el índice más representativo de la situación real del mercado. El mismo asciende a 15.47% para diez años.

Como las variables elegidas para el cálculo del CAPM corresponden al mercado de Estados Unidos, es necesario ajustar la tasa con el riesgo país para que sea más representativo del mercado Argentino. Es por eso que se agrega a la tasa el índice de riesgo país. El mismo asciende a 1.706 puntos básicos en noviembre de 2021. 100 puntos básicos equivalen a un 1%, por lo que implica una tasa del 17.06%.

Calculando la tasa CAPM con todos los datos anteriores obtenemos:

$$K_u = 1,58 + 0,95 (15,47 - 1,58) + 17,06$$

$$K_u = 31,83\%$$

D. Valor de desecho

Debido a que la vida útil del proyecto es superior a los 10 años analizados, debe incluirse en el flujo de fondos el valor de desecho. En este caso, se calculó como

el valor actual de los flujos futuros que es capaz de generar la inversión. Para ello, se tomó el valor promedio de los flujos de caja, sin incluir el primer año ya que no se considera un flujo normal, y se lo dividió por la tasa de retorno del capital. Este monto así calculado se consideró para el cálculo del VAN.

$$\text{Valor de desecho} = \$590.790.434 / 0,3183 = \$1.855.759.872$$

E. Cálculo del VAN

Para evaluar la rentabilidad del proyecto se utiliza el Valor Actual Neto, que como se mencionó anteriormente, mide el excedente que se obtiene más allá de la rentabilidad esperada o exigida, después de recuperar la inversión realizada. Se calcularon los flujos futuros de caja proyectados (Tabla 7), según las consideraciones explicadas en los puntos A, B y D, y se descontaron utilizando la tasa de capital calculada en el punto C. A este resultado se le restó la inversión inicial (\$215.384.458) y se obtuvo un VAN igual a \$1.419.539.771. Al ser el resultado positivo, el proyecto es rentable.

Tabla 7: Flujo de fondos del proyecto de biodigestión de residuos orgánicos

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Biodigestor	(\$100,430,000)				
Trituradora	(\$80,418,113)				
Cinta seleccionadora	(\$34,536,345)				
Lubricantes		(\$488,667)	(\$488,667)	(\$488,667)	(\$488,667)
Combustibles		(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)
Reparaciones y mantenimiento			(\$1,152,058)	(\$1,163,578)	(\$1,175,214)
Sueldos y cargas sociales		(\$7,467,085)	(\$8,213,794)	(\$9,035,173)	(\$9,938,690)
Control de calidad y seguridad		(\$277,500)	(\$277,500)	(\$277,500)	(\$277,500)
Recolección diferenciada		(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	(\$76,873,799)
Ahorro de costos relleno sanitario		\$0	\$0	\$267,832,880	(\$267,832,880)
Ahorro de costos electricidad		\$2,056,124	\$2,056,124	\$2,056,124	\$2,056,124
Venta de electricidad sobrante		\$2,193,125	\$3,048,092	\$3,048,092	\$3,048,092
Venta de fertilizante líquido		\$376,963,715	\$565,445,572	\$565,445,572	\$565,445,572
Venta de fertilizante sólido		\$54,560,538	\$81,840,806	\$81,840,806	\$81,840,806
TOTAL	(\$215,384,458)	\$350,539,503	\$565,257,830	\$832,257,810	\$295,676,896

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Constante
(\$488,667)	(\$488,667)	(\$488,667)	(\$488,667)	(\$488,667)	(\$488,667)	
(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	
(\$1,186,966)	(\$1,198,836)	(\$1,210,824)	(\$1,222,933)	(\$1,235,162)	(\$1,247,514)	
(\$10,932,559)	(\$12,025,815)	(\$13,228,397)	(\$14,551,237)	(\$16,006,360)	(\$17,606,996)	
(\$277,500)	(\$277,500)	(\$277,500)	(\$277,500)	(\$277,500)	(\$277,500)	
(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	(\$76,873,799)	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$267,832,880	\$0	
\$2,056,124	\$2,056,124	\$2,056,124	\$2,056,124	\$2,056,124	\$2,056,124	
\$3,048,092	\$3,048,092	\$3,048,092	\$3,048,092	\$3,048,092	\$3,048,092	
\$565,445,572	\$565,445,572	\$565,445,572	\$565,445,572	\$565,445,572	\$565,445,572	
\$81,840,806	\$81,840,806	\$81,840,806	\$81,840,806	\$81,840,806	\$81,840,806	
\$562,504,156	\$561,399,030	\$560,184,460	\$558,849,512	\$825,215,040	\$555,769,172	\$1,855,759,872

Fuente: Elaboración propia

F. Análisis de sensibilidad

Es importante destacar, que no sólo es necesario que el VAN sea positivo, sino también conocer y entender las variables que lo determinan. Es por ello que se realiza el análisis de sensibilidad, con el objetivo de saber cuáles son las variables críticas y hasta qué punto resiste el proyecto un cambio en las mismas.

Las variables que se consideran críticas son:

- La participación ciudadana a la hora de separar los residuos: El porcentaje mínimo de residuos que hace que el VAN sea cero es el 15% del material orgánico que se recolecta. Esto representa 2175 toneladas anuales de residuos orgánicos necesarios para que el proyecto sea viable. Un nivel menor al mencionado no proveería al sistema de suficiente material como para que genere beneficios extras, a la tasa de retorno establecida. Teniendo en cuenta que los restos de poda recolectados por el municipio representan alrededor del 25% de los residuos orgánicos recolectados, es una cantidad de materia orgánica asegurada.
- Cantidad de fertilizante vendido: debido a que el mercado de fertilizantes orgánicos no se encuentra desarrollado en el país, su venta es una variable

riesgosa. Para que el VAN sea positivo es necesario vender el 11% como mínimo del fertilizante producido. Esto representa 1865 toneladas de fertilizante líquido y 270 toneladas de fertilizante sólido.

Desde otro punto de vista, es posible calcular el precio mínimo al que debería venderse la tonelada de fertilizante para que el VAN sea cero. El nuevo precio es \$15.749 la tonelada, que representa tan sólo el 23% del precio normal. De esta manera, se puede ofrecer el producto a un precio menor que sus equivalentes no orgánicos y poder así ganar cuota de mercado.

5.2.2. Compostaje de los restos de poda

El compostaje consiste en la descomposición de la materia orgánica, resultando en un compuesto que puede ser utilizado como abono o sustrato del suelo. Las ventajas en utilización de este tipo de fertilizantes para la jardinería y la producción de alimentos hacen que sea una opción natural y cuidadosa del medio ambiente.

A. Costos

Para realizar el compostaje de manera segura es necesario contar con un área donde el suelo se encuentre impermeabilizado. De esta manera se evita que los lixiviados (líquidos resultantes del proceso de descomposición) se filtren y contaminen el suelo o las napas subterráneas de agua. Además se debe contar con un sistema de recolección de agua de lluvia, que permita su reutilización, para las épocas en las que las precipitaciones son más abundantes y por ende aumenta la cantidad de líquidos a recolectar. El costo estimado para la adecuación de media hectárea de terreno asciende a \$22.319.407.

Además se deberá contar con trituradoras que permitan reducir el tamaño de los restos de poda. Debido a que en la planta ya se cuenta con una chipeadora, sólo será necesario adquirir una trituradora adicional por \$4.462.361. Este precio incluye el transporte hasta la planta de reciclaje.

También será necesario contar con una pala cargadora para realizar el volteo de las pilas que permite que el material se oxigene correctamente. El precio de este tipo de maquinaria es de \$5.345.345.

Los costos de funcionamiento para realizar el compostaje de los restos de poda se describen a continuación:

- Lubricantes: su monto anual asciende a \$122.167 según lo estimado en base a la información proveída por el municipio y en proporción de máquinas que deben adquirirse para realizar el proyecto.
- Combustible: dado que las nuevas maquinarias funcionan con gasoil, el costo del mismo para las actividades requeridas es de \$126.947.
- Reparaciones y mantenimiento: también se considera que durante el primer año, no será necesario realizar erogaciones en concepto de reparaciones y mantenimiento ya que las maquinarias son nuevas. A partir del segundo año y en adelante deberá tenerse en cuenta este costo, y debido al transcurso de la vida útil de las maquinarias, éste será cada vez mayor. Se calculó que este tipo de gastos se incrementará un 50% respecto a las erogaciones actuales y se consideró que los mismos aumentarán un 1% más cada año por el desgaste natural de las máquinas.

Tabla 8: Gastos de reparación y mantenimiento para el proyecto de compostaje de restos de poda

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Reparaciones y mantenimiento			(\$576.029)	(\$581.789)	(\$587.607)

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
(\$593.483)	(\$599.418)	(\$605.412)	(\$611.466)	(\$617.581)	(\$623.757)

Fuente: Elaboración propia

- Sueldos: la realización del compostaje de los restos de poda implica la necesidad de contratar nuevos empleados. Se estima que serán necesarias cinco personas adicionales para realizar estas tareas. Se consideró que mantendrán su empleo en los 10 años que se analiza el proyecto, por lo que se incluye el aumento del 1% correspondiente a la antigüedad.

Tabla 9: Sueldos y cargas sociales para el proyecto de compostaje de restos de poda

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Sueldos y cargas sociales		(\$5.333.632)	(\$5.866.996)	(\$6.453.695)	(\$7.099.065)

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
(\$7.808.971)	(\$8.589.868)	(\$9.448.855)	(\$10.393.740)	(\$11.433.115)	(\$12.576.426)

Fuente: Elaboración propia

- Control de calidad y seguridad: para asegurar la calidad del compost obtenido, es necesario realizar controles semanales de temperatura, ph y humedad ya que estas variables son claves en el proceso de compostaje. Este control implica un gasto anual de \$624.000.

Cabe destacar que, como los restos de poda ya se recogen de manera diferenciada, no existen costos adicionales correspondientes a la separación, recolección y transporte.

B. Ingresos

En este caso, los ingresos están conformados por ahorro de costos y por la venta del compost:

- Ahorro de costos relleno sanitario: Como se mencionó anteriormente, el relleno sanitario actual posee una vida útil de 6 años y fue entregado en octubre del 2018. La implementación del proyecto permite que su vida útil se prolongue un año más. Es por esto que en lugar de construirse el nuevo en el 2030, deberá construirse en el 2031. No significa un gran ahorro en el período de 10 años que se analiza, pero si se difiere un año la necesidad de construirlo. El monto estimado para su construcción es de \$267.832.880.
- Venta de compost: el producto final del proceso de compostaje es un abono natural conocido como humus. Su calidad depende de los residuos que se utilizan para producirlo y también de las condiciones de humedad, temperatura y PH que se generan, así como su maduración.

Durante el primer año de producción y debido a los tiempos naturales que requiere el proceso, es posible producir 821,25 toneladas de compost. A partir del segundo año, en cambio, se podrán generar 1642,5 toneladas.

En el mercado, se puede conseguir este tipo de productos por \$450 los 10 kg. Para ser conservadores, se estima que las ventas podrían ascender al 60% de lo producido. Esto implica ingresos por \$22.173.750 el primer año y \$44.347.500 a partir del segundo.

Cabe mencionar que el municipio utiliza este tipo de fertilizantes para el cuidado de sus jardines y los canteros florales que se encuentran en la ciudad. No se cuenta con el dato de la cantidad ni el precio que significa anualmente pero podría plantearse ese costo como un posible ahorro.

C. Determinación de la tasa de descuento

La tasa de descuento calculada para el proyecto es la misma que se calculó para el la implementación del biodigestor:

$$K_u = R_f + \beta_u (R_m - R_f) + R_p$$

$$K_u = 1,58 + 0,95 (15,47 - 1,58) + 17,06$$

$$K_u = 3,83\%$$

D. Valor de desecho

Como se mencionó para el proyecto de biodigestión, la vida útil del proyecto es superior a los 10 años analizados. Por esto debe incluirse el valor de desecho en el flujo de fondos. En este caso, se calculó como el valor actual de los flujos futuros que es capaz de generar la inversión. Para ello, se tomó el valor promedio de los flujos de caja, sin incluir el primer año ya que no se considera un flujo normal, y se lo dividió por la tasa de retorno del capital. Este monto así calculado se consideró para el cálculo del VAN.

$$\text{Valor de desecho} = \$34.022.467 / 0,3183 = \$106.869.586$$

E. Cálculo del VAN

Aquí también se utiliza el Valor Actual Neto para evaluar la rentabilidad del proyecto, que mide el excedente que se obtiene más allá de la rentabilidad esperada o exigida, después de recuperar la inversión realizada. Se calcularon los flujos futuros de caja proyectados (Tabla), según las consideraciones explicadas en los puntos A, B y D, y se descontaron utilizando la tasa de capital calculada en el punto C. A este resultado se le restó la inversión inicial (\$9.807.706) y se obtuvo un VAN igual a \$90.089.336. Al ser el resultado positivo, el proyecto es rentable.

Tabla 10: Flujo de fondos del proyecto de compostaje de restos de poda

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Impermeabilización del suelo	(\$22,319,407)				
Trituradora	(\$4,462,361)				
Tractor	(\$5,345,345)				
Lubricantes		(\$122,167)	(\$122,167)	(\$122,167)	(\$122,167)
Combustibles		(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)
Reparaciones y mantenimiento			(\$576,029)	(\$581,789)	(\$587,607)
Sueldos		(\$5,333,632)	(\$5,866,996)	(\$6,453,695)	(\$7,099,065)
Control de calidad y seguridad		(\$624,000)	(\$624,000)	(\$624,000)	(\$624,000)
Ahorro de costos relleno sanitario		\$0	\$0	\$0	\$0
Venta compost		\$22,173,750	\$44,347,500	\$44,347,500	\$44,347,500
TOTAL	(\$9,807,706)	\$15,967,004	\$37,031,362	\$36,438,902	\$35,787,715

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Constante
(\$122,167)	(\$122,167)	(\$122,167)	(\$122,167)	(\$122,167)	(\$122,167)	
(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	(\$126,947)	
(\$593,483)	(\$599,418)	(\$605,412)	(\$611,466)	(\$617,581)	(\$623,757)	
(\$7,808,971)	(\$8,589,868)	(\$9,448,855)	(\$10,393,740)	(\$11,433,115)	(\$12,576,426)	
(\$624,000)	(\$624,000)	(\$624,000)	(\$624,000)	(\$624,000)	(\$624,000)	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$267,832,880	(\$267,832,880)	
\$44,347,500	\$44,347,500	\$44,347,500	\$44,347,500	\$44,347,500	\$44,347,500	
\$35,071,932	\$34,285,100	\$33,420,119	\$32,469,180	\$299,256,571	(\$237,558,677)	\$106,869,586

Fuente: Elaboración propia

F. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite conocer y entender las variables que determinan el valor del VAN. Con este objetivo se reconocen cuáles son las variables críticas del proyecto y hasta qué punto resisten un cambio en las condiciones que las determinan.

Las variables que se consideran críticas son:

- Cantidad de compost vendido: a pesar que la comercialización de este tipo de fertilizantes ya existe en el mercado, representa una nueva actividad para el

municipio, debiendo establecer los canales necesarios para llegar a los clientes. Por este motivo, se estimó que para que el VAN sea positivo es necesario vender como mínimo el 15% de la cantidad de compost producido. Esto representa 124 toneladas el primer año y 248 toneladas a partir del segundo año.

Desde otro punto de vista, es posible calcular el precio mínimo al que debería venderse la bolsa de compost para que el VAN sea cero. El nuevo precio es \$113 para 10 kg. Este representa tan sólo el 25% del precio normal. De esta manera, se puede ofrecer el producto a un precio menor al que se comercializa actualmente y poder así ganar cuota de mercado.

Cabe mencionar que debido a que la recolección de restos de poda se realiza actualmente por separado al resto de los residuos, la participación de la ciudadanía no es una variable clave en este proyecto.

Analizando los resultados obtenidos para ambos proyectos, se puede observar que la opción más conveniente para su implementación es la del biodigestor para los residuos orgánicos. Esto es así debido a que su VAN es mayor, y por lo tanto aporta mayor valor a la organización. Por otro lado, el proyecto de compostaje también genera un VAN positivo, pero al ser menor que el de la otra propuesta queda en segundo lugar para su elección.

5.3. Medición de Huella de Carbono

El primer paso para medir la huella de carbono de una organización es determinar el alcance que tendrá la misma. En este trabajo se consideró el proceso de gestión de los residuos que hace la municipalidad de Villa Carlos Paz, teniendo en cuenta el transporte, tratamiento y disposición final de estos. En cuanto a los tipos de emisiones considerados para el cálculo, se incluyeron las emisiones directas y las debidas al consumo de energía eléctrica de la planta. Con respecto al período de tiempo para el cual se realizó el cálculo, el mismo es de un año.

Los factores de emisión que se utilizaron fueron los emitidos por el IPCC (Intergovernment Panel for Climate Change), una organización internacional encargada de proporcionar una base científica a los gobiernos para que éstos puedan desarrollar políticas relacionadas con el clima. Este organismo recomienda utilizar los índices ajustados por las

condiciones específicas de cada región, y si no se encontraran disponibles, utilizar las que están publicadas en su página web (IPCC, 2021). En Argentina, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación realiza el Inventario de Gases de Efecto Invernadero desde el año 2016. Sólo algunos de los factores de emisión fueron encontrados para Argentina, el resto de los índices utilizados corresponden a los publicados por la IPCC, ya que no se encontró ninguno correspondiente al país ni a la zona.

Tabla 11: Factores de emisión

Tipo de Residuo	Factor de emisión	Fuente
Electricidad	0.66	Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Nación Argentina
Combustibles	2.70	Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Nación Argentina
Orgánicos sin tratar	1016.33	IPCC
Orgánicos/biodigestión	22.40	IPCC
Orgánicos/compost	9.80	IPCC
Otros	1397.50	Valor promedio
Cartón y papel	1320.00	Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático Ministerio de Agroindustria Provincia de Buenos
Vidrio	200.00	IPCC
Plásticos	2350.00	Carbon Reduction Institute
Metales	1720.00	IPCC

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las fuentes mencionadas en la tabla

5.3.1. Situación actual

Como se mencionó anteriormente, las emisiones de gases de efecto invernadero pueden ser de tres tipos: directas, generadas por el consumo de electricidad e indirectas. Debido a la

complejidad que implica el cálculo de las emisiones indirectas, en este trabajo sólo se abordan las emisiones directas y las respectivas al consumo de electricidad de la planta de reciclaje.

Cálculo de emisiones directas

A. Combustible:

- Transporte de residuos: Como se mencionó anteriormente, el transporte de los residuos es diferenciado, es decir, los residuos considerados húmedos y secos son recolectados en distintos momentos, así como también los restos de poda. En la tabla 4 se pudo observar la cantidad total de recorridos que realizan los camiones según la zona y tipo de residuo.

En promedio se consumen 60 litros de combustible Diesel por recorrido, por lo que el total de litros consumidos por semana es el siguiente:

Tabla 12: Cantidad de litros de combustible consumidos por semana

Cantidad de litros consumidos por semana	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 2 B	ZONA 2 C	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	Total
Secos	60	120	120	120	60	60	60	60	420	1080
Húmedos	180	240	240	240	180	180	180	180	840	2460
Poda	60	60	60	60	60	60	60	60	420	900
TOTAL	300	420	420	420	300	300	300	300	1680	4440

Fuente: Elaboración propia

Anualizando este número obtenemos que el total de litros consumidos en promedio por año son 230.880 y el factor de emisión para el consumo de Gasoil es de 2,70.

Aplicando la fórmula para el cálculo de la Huella de Carbono:

Huella de Carbono = Dato de actividad (litros) X Factor de emisión (kg CO₂e/litros)

Huella de Carbono = 230.880 x 2,70 = 623.376 kg CO₂e

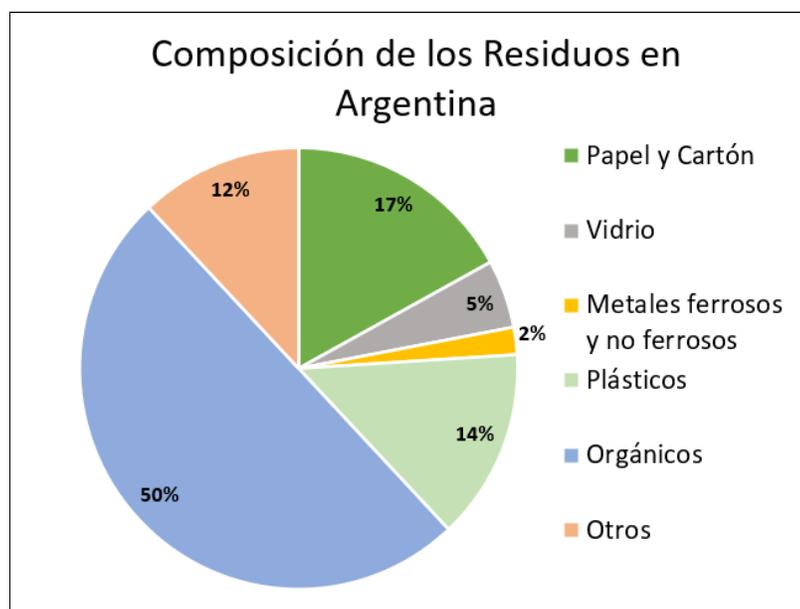
- Combustibles utilizados en la planta de reciclaje: Las distintas maquinarias utilizadas en la planta de reciclaje para el tratamiento y disposición final de los residuos consumen anualmente 64.345 litros de diesel. El factor de emisión es el mismo que se utilizó para el cálculo de las emisiones del transporte (2,70).

$$\text{Huella de Carbono} = 64.345 \times 2,70 = 173.731 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

B. Residuos

En cuanto a los residuos, debemos distinguir los materiales orgánicos (biodegradables) de los inorgánicos (reciclables y no reciclables), ya que los factores de emisión varían entre los distintos compuestos. La figura 2 muestra la composición estimada de los recursos de acuerdo con las estadísticas mostradas por el Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, en su informe ENGIRSU 2005, respecto a la composición de los Residuos Sólidos Urbanos en Argentina.

Figura 2: Composición de los residuos en Argentina



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación

Según lo informado por el municipio, la planta recibe aproximadamente 28.104,8 toneladas de basura por año, de los cuales el 94% corresponden a residuos húmedos y poda y 6% a secos. Dentro de los residuos húmedos encontramos que aproximadamente 14.052,4 toneladas corresponden a material orgánico. El factor de emisión de este tipo de residuos es 1.016 (EFDB, 2021) por lo que el cálculo de la huella de carbono para los residuos orgánicos es el siguiente:

Huella de Carbono = Dato de actividad (tn) X Factor de emisión (kg CO₂e/tn)

Huella de Carbono = 14.052,4 x 1.016 = 14.281.876 kg CO₂e

Cabe destacar que el principal gas emitido por este tipo de desechos es el gas Metano (CH₄), pero como se mencionó anteriormente, para medir la huella de carbono, se calculan todas las emisiones en su equivalente de dióxido de carbono para poder obtener un total.

En cuanto al resto de la basura húmeda, que no son residuos orgánicos, se estimó la cantidad de cada tipo de material que la componen, como se puede apreciar en la tabla 13:

Tabla 13: Cantidad de basura húmeda no orgánica estimada

Clasificación	Componentes	Toneladas	%
Húmedos (no orgánicos)	Otros	2956	24%
	No separados - Cartón y papel	4187	34%
	No separados - Vidrio	1232	10%
	No separados - Plásticos	3448	28%
	No separados - Metales	493	4%
	TOTAL	12316	100%

Fuente: Elaboración propia

Así también como la cantidad de cada material que llega al Centro Ambiental en los residuos secos:

Tabla 14: Cantidad residuos secos estimados por tipo

Clasificación	Componentes	Toneladas	%
Residuos Secos	Cartón y papel	777	45%
	Vidrio	228	13%
	Plásticos	640	37%
	Metales	91	5%
	TOTAL	1736	100%

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la huella de carbono, se sumó cada tipo de material y se multiplicó por el factor de emisión correspondiente. Para los residuos denominados “Otros” se aplicó como factor de emisión el promedio de los factores de los materiales, ya que no se cuenta con mayor información respecto a su composición.

Tabla 15: Emisión de huella de carbono de residuos secos por tipo

Componentes	Toneladas	Factor de emisión	Kg CO2e
Otros	2956	1685	4980569
Cartón y papel	4964	1320	6552818
Vidrio	1460	200	292015
Plásticos	4088	3500	14308738
Metales	584	1720	1004532
TOTAL	14052		27138673

Fuente: Elaboración propia

Sumando todas las emisiones directas de CO2 equivalente, obtenemos el total de la huella de carbono emitida por las fuentes directas (Tabla 16).

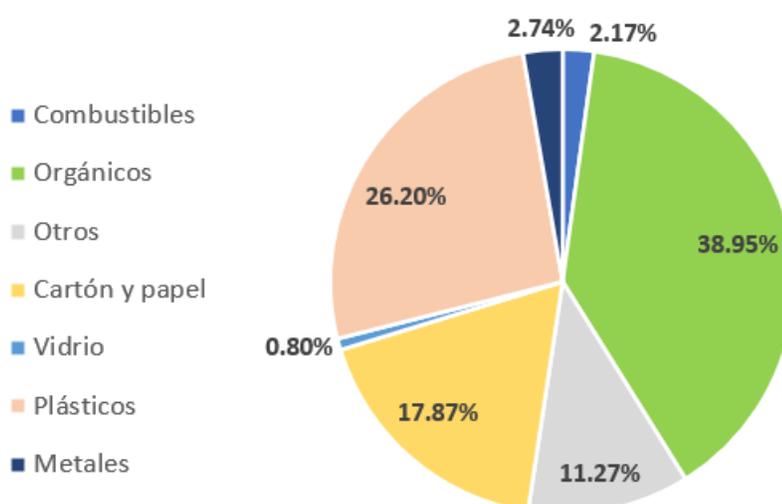
Tabla 16: Total de emisiones directas de la situación actual

Componentes	Kg CO2e	Kg CO2e %
Combustibles	797107	2.17%
Orgánicos	14281876	38.95%
Otros	4130769	11.27%
Cartón y papel	6552818	17.87%
Vidrio	292015	0.80%
Plásticos	9607296	26.20%
Metales	1004532	2.74%
TOTAL	36666412	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Porcentaje de emisiones directas de CO2 equivalente por tipo de residuo

Porcentaje de emisiones directas de CO2e por tipo de residuo



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el gráfico anterior, los rubros que aportan mayor cantidad de gases de efecto invernadero en la situación actual son la materia orgánica, el cartón y papel y el plástico.

Cálculo de emisiones producidas por el consumo de electricidad

Las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la generación de energía eléctrica no son directamente controlables por la organización, ya que dependen de la forma en que un tercero la produce. Debido a esto es importante que se tomen las medidas necesarias para reducir su consumo.

Para el cálculo de este tipo de emisión se considera como nivel de actividad la cantidad de kilowatts consumidos por el Centro Ambiental durante el año. Ese monto se multiplica luego por el factor de emisión. Éste no es específico para la provincia de Córdoba, ya que no se calcula a nivel local, pero sí es el calculado por la nación para el año 2018 (EFDB, 2021)

Huella de Carbono = Dato de actividad (kw/hora) X Factor de emisión (kg CO₂e/kw/hora)

Huella de Carbono = 162.000 x 0.66 = 106.920 kg CO₂e

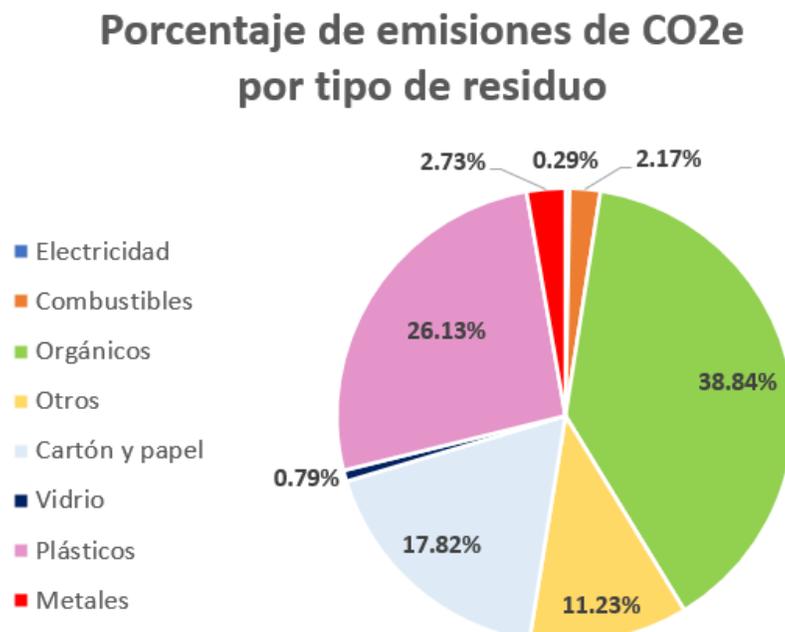
Si sumamos las emisiones directas y las generadas por el consumo eléctrico, el total de CO₂ equivalente emitido por el Centro Ambiental es 36.773.332 Kg CO₂eq.

Tabla 17: Total de emisiones de CO₂ equivalente

Componentes	Kg CO₂e	Kg CO₂e %
Electricidad	106920	0.29%
Combustibles	797107	2.17%
Orgánicos	14281876	38.84%
Otros	4130769	11.23%
Cartón y papel	6552818	17.82%
Vidrio	292015	0.79%
Plásticos	9607296	26.13%
Metales	1004532	2.73%
TOTAL	36773332	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Porcentaje de emisiones de CO2 equivalente por tipo de residuo



Fuente: Elaboración propia

5.3.2. *Propuestas de mejora*

5.3.2.1. *Biodigestión de residuos orgánicos*

A continuación se efectúa el cálculo de la variación en la huella de carbono que se genera con la implementación de la propuesta analizada.

Emisiones directas

A. Combustible

- Transporte:

Separar los residuos en una categoría adicional implica que estos deben ser recogidos en un recorrido diferenciado. De esta manera, aumenta la cantidad de recorridos que deben realizarse y por consiguiente, las emisiones de gases de efecto invernadero que genera el transporte.

Como se mencionó anteriormente, los camiones consumen en promedio 60 litros de gas oil por recorrido. Multiplicando la cantidad de recorridos propuestos (Tabla 5) por los litros consumidos se obtiene que se consumen semanalmente 5340 litros de combustible

Tabla 18: Cantidad de litros de combustible consumidos para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos

Cantidad de recorridos semanales	ZONA 1	ZONA 2 A	ZONA 2 B	ZONA 2 C	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	Total
Secos	60	120	120	120	60	60	60	60	420	1080
Orgánicos	120	180	180	180	120	120	120	120	840	1980
Poda	60	60	60	60	60	60	60	60	420	900
No reciclables	120	120	120	120	120	120	120	120	420	1380
TOTAL	360	480	480	480	360	360	360	360	2100	5340

Fuente: Elaboración propia

Si anualizamos esa cantidad y aplicamos la fórmula para el cálculo de la huella de carbono obtenemos:

Huella de Carbono = Dato de actividad (litros) X Factor de emisión (kg CO₂e/litros)

Huella de Carbono = 277.680 x 2,70 = 749.736 CO₂e

- Combustibles utilizados en la planta de reciclaje

La incorporación de las nuevas maquinarias y los nuevos procesos requeridos para el tratamiento de los residuos implica un aumento del 25% del combustible utilizado actualmente por lo que la cantidad requerida será de 80.431 litros de Diesel. Aplicando el factor de emisión, la huella de carbono obtenida es la siguiente:

Huella de Carbono = 80.431 x 2,70 = 217.163 kg CO₂e

B. Residuos

El tratamiento de los residuos orgánicos mediante la biodigestión permite disminuir la cantidad de basura que se envía al relleno sanitario, y por ende reducir las emisiones de metano que generan. Teniendo en cuenta que se supone una separación de los residuos correspondiente al 59% del total, los residuos orgánicos que se envían al relleno sanitario por falta de separación serían 5761,48 toneladas anuales. Éstos continúan con el factor de emisión mencionado en la situación original (1.016).

Por otro lado, la cantidad de residuos que sí serían tratados serían 8290,91 toneladas anuales. El factor de emisión de este tipo de tratamiento de residuos es 16,8 por lo que el cálculo de la huella de carbono para los residuos orgánicos es el siguiente:

$$\text{Huella de Carbono (residuos tratados)} = 8290,91 \times 22,4 = 185.717 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Huella de Carbono (residuos sin tratar)} = 5761,48 \text{ tn} \times 1.016 = 5.855.569 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Si sumamos los dos resultados obtenemos que la huella de carbono de los residuos orgánicos es de 6.041.286 kg CO₂e.

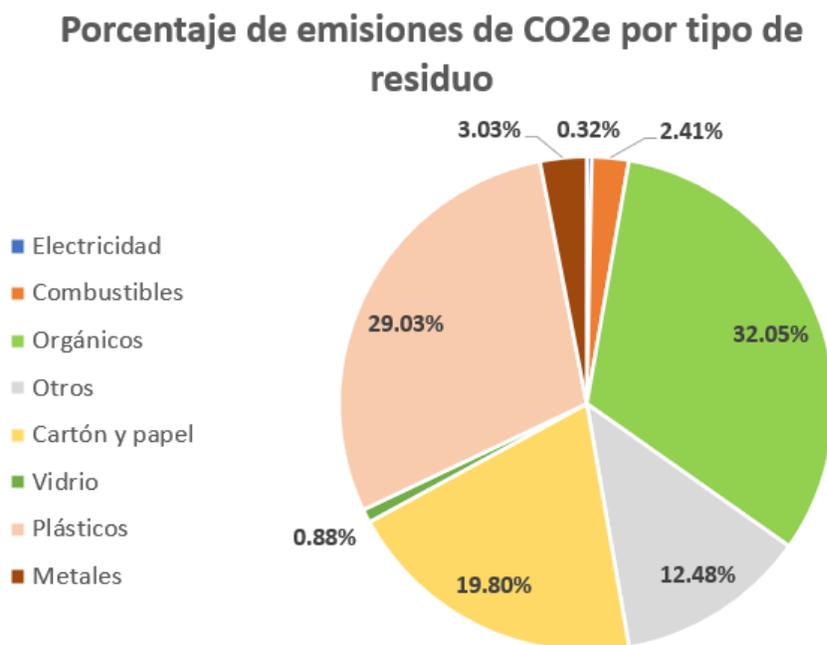
En cuanto al resto de los residuos húmedos no orgánicos y los residuos secos, el cálculo de su huella de carbono no se modifica por lo que el total de la huella de carbono generada con la nueva propuesta se observa en la tabla 19.

Tabla 19: Emisiones de CO₂ equivalente para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos

Componentes	Kg CO ₂ e	Kg CO ₂ e %
Combustibles	966899	3.38%
Orgánicos	6041286	21.13%
Otros	4130769	14.45%
Cartón y papel	6552818	22.92%
Vidrio	292015	1.02%
Plásticos	9607296	33.60%
Metales	1004532	3.51%
TOTAL	28595615	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Porcentaje de emisiones de CO₂ equivalente por tipo de residuo para el proyecto de biodigestión de residuos orgánicos



Fuente: Elaboración propia

Emisiones correspondientes al consumo de electricidad

Debido a que la electricidad es generada por el tratamiento de los residuos y que ya se consideró la emisión de gases de efecto invernadero que se emiten en este proceso, la energía generada es limpia y no genera huella de carbono adicional.

Si comparamos los resultados obtenidos en la propuesta con la situación original podemos observar que la implementación de un biodigestor para el tratamiento de los residuos orgánicos reduce la huella de carbono generada debido a que el metano que genera este tipo de desechos se aprovecha para generar energía y se evita su liberación al medio ambiente. Además el consumo de la electricidad generada por la misma planta, reduce los gases de efecto invernadero provenientes de la energía que proviene de la red. Por otro lado, las emisiones generadas por el combustible consumido aumentan por el

aumento en la cantidad de recorridos que deben realizarse y el funcionamiento de más maquinarias en la planta.

En total las emisiones generadas por la planta se reducen de 36.773.332 kg CO₂e a 28.595.615 kg CO₂e. Esto representa una disminución del 22,23% de la huella de carbono.

5.3.2.2. Compostaje de restos de poda

Con la implementación de esta alternativa de tratamiento para los residuos provenientes de la poda, sólo se modifica la huella de carbono generada por los residuos orgánicos, quedando el resto de las emisiones iguales que en la situación original. El cálculo de la nueva huella de carbono es la siguiente:

Huella de Carbono (residuos tratados) = 3650 x 9,8 = 35.770 kg CO₂e

Huella de Carbono (residuos sin tratar) = 10402.4 x 1.016 = 10.572.271 kg CO₂e

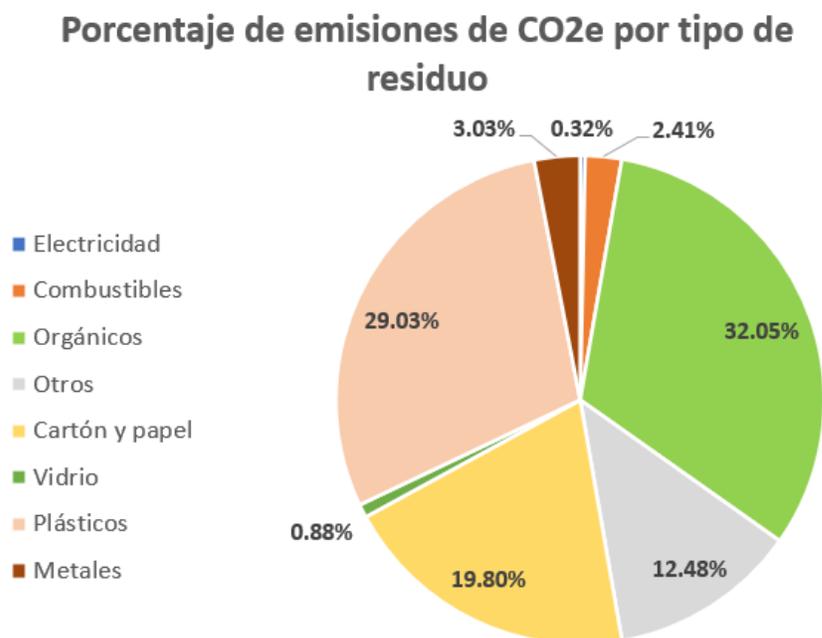
Sumando ambos resultados obtenemos que en total la materia orgánica genera 10.608.041 kg CO₂e al año. Considerando las emisiones generadas por el resto de los componentes de los residuos sólidos urbanos se obtiene una emisión total de 33.099.498 kg CO₂e. Esto significa una reducción del 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 20: Total de emisiones directas para el proyecto de compostaje de restos de poda

Componentes	Kg CO ₂ e	Kg CO ₂ e %
Electricidad	106920	0.32%
Combustibles	797107	2.41%
Orgánicos	10608041	32.05%
Otros	4130769	12.48%
Cartón y papel	6552818	19.80%
Vidrio	292015	0.88%
Plásticos	9607296	29.03%
Metales	1004532	3.03%
TOTAL	33099498	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Porcentaje de emisiones de CO₂ equivalente por tipo de residuo para el proyecto de compostaje de restos de poda



Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones

6.1. Cumplimiento de objetivos

Al comenzar con este trabajo se planteó como objetivo principal evaluar distintas alternativas de tratamiento para los residuos sólidos urbanos teniendo en cuenta su impacto económico y en el medio ambiente. El cumplimiento de este objetivo conlleva a propuestas de mejora al tratamiento de los residuos que se hace en la actualidad, ya que se evalúa no sólo su conveniencia económica sino también su impacto en la huella de carbono que genera el Centro Ambiental de Villa Carlos Paz.

El objetivo planteado fue alcanzado con éxito, ya que se realizaron dos propuestas alternativas que permiten reducir la huella de carbono en un 22,23% para el caso del biodigestor

y 10% en el caso del compostaje. A su vez, los proyectos generan beneficios por \$1.419.539.771 y \$90.089.336 respectivamente. Para ambos proyectos se consideró cuánto pueden cambiar las variables precio y cantidad vendidas de los distintos tipos de fertilizante para que el VAN sea cero. Para el caso del biodigestor, la cantidad mínima a vender es el 11% de la producción total, que representa 186 toneladas de fertilizante líquido y 270 toneladas de fertilizante sólido. El precio mínimo al cual se puede vender la mitad de lo producido es de \$15.749 la tonelada, que representa el 23% del precio de mercado. En el caso del compostaje, la cantidad mínima de humus a vender es el 15 % del total producido (124 toneladas el primer año y 248 toneladas a partir del segundo año). El precio mínimo al cual se puede ofrecer el compost es \$113 para los 10 kg, que es el 25% del precio normal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, tanto desde un punto de vista económico como ambiental, la opción más conveniente es la implementación del biodigestor ya que aporta un VAN mayor y el porcentaje de reducción de las emisiones es también mayor. Hay que considerar que esta alternativa también implica una mayor inversión inicial y desarrollar alianzas para la colocación de los fertilizantes producidos, debido a la falta de un mercado al que puedan ofrecerse estos productos en la actualidad. Más allá de los desafíos que implica tanto financiera como operativamente, es una propuesta que brinda soluciones y beneficios en el manejo de los residuos sólidos urbanos, permitiendo que los mismos vuelvan a introducirse en el ciclo económico en lugar de ser desechados en un relleno sanitario.

Por último, si no fuese posible la implementación de un biodigestor, el compostaje de los restos de poda es una alternativa que requiere menor esfuerzo financiero para su puesta en marcha, pero que tiene un impacto menor en la reducción de los gases de efecto invernadero que se emiten y también en cuanto al beneficio económico obtenido, debido a que su VAN es menor.

6.2. Contribuciones

El calentamiento global es un fenómeno que afecta a toda la población mundial y sólo con el compromiso y esfuerzo de todos puede revertirse. El cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales es un tema que debe ser discutido en la sociedad y formar parte de la agenda política de todos los gobiernos. El primer paso para un mejor manejo de los residuos es tomar conciencia al momento del consumo, evitando la generación de desperdicios siempre que sea

posible. El cuidado del medio ambiente es una tarea de toda la ciudadanía y su compromiso y participación es clave para el éxito de todos los sistemas que quieran implementarse.

Durante el desarrollo del trabajo se analizaron los procesos que se llevan a cabo en el Centro Ambiental y se identificaron las distintas fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. Se realizó el análisis económico de dos propuestas que permitan reducir la huella de carbono generada. De esta manera se plantean soluciones económica y ambientalmente favorables para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

6.3. Limitaciones

Debido a que el país no cuenta con un mercado desarrollado de fertilizantes biológicos, se estableció como precio de referencia para la valuación del proyecto el precio de un producto de características similares a las que se estima que se obtendrá como resultado del proceso de biodigestión. Cabe destacar que la calidad del producto obtenido depende de la materia orgánica que se introduce en el sistema.

Es importante realizar un estudio de factibilidad previo a la puesta en marcha del proyecto donde se deben tomar muestras diarias de la materia orgánica y analizar su potencial para la generación de biogás y las cualidades del fertilizante resultante. Para este proyecto se asumió que el sustrato está compuesto por un 32% de Nitrógeno, lo cual es un criterio conservador.

6.4. Futuras líneas de investigación

El cuidado del medio ambiente es vital para el desarrollo de las futuras generaciones. Es por eso que se considera importante continuar con la búsqueda de alternativas que permitan la revalorización de los residuos y su reinserción en la economía. Para esto es necesario que se generen políticas que apoyen a los proyectos, tanto del sector público como privado, que reutilicen materiales que de otra manera serían desechados, y se desarrollen las tecnologías y procesos necesarios para hacerlo.

En la actualidad muchos de los materiales que se separan en la planta simplemente se acopian. Es necesario que se busquen opciones que permitan que sean reciclados, como es el

caso del vidrio, ya que de otra manera los esfuerzos realizados no llegan a cumplir con el objetivo final de reinsertar los residuos al ciclo económico.

Por último cabe mencionar que todo proyecto que se quiera implementar para el cuidado del medio ambiente, necesita de la participación ciudadana para su éxito. Las campañas de concientización son un elemento clave en las políticas de cuidado de medio ambiente y son un esfuerzo continuo que debe realizarse para que las personas no sólo entiendan qué es lo que se espera de ellas sino también por qué es importante que todos se involucren y participen.

Bibliografía

Economía circular: todo junto es basura pero separado son recursos. argentina.gob.ar/ambiente. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/economia-circular> (6 de junio de 2021).

Nassir Sapag Chain (2011). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación* (2a edición). Chile: Pearson Educación.

Garrison, R. H., Noreen, E. H., & Brewer, P. C. (2007). *Contabilidad administrativa: Ray H. Garrison* (11a. ed.--.). México: McGraw Hill.

G.L. González (2010) *Residuos sólidos urbanos argentina tratamiento y disposición final situación actual y alternativas futuras* Available at: <http://www.igc.org.ar/megaciudad/N3/Residuos Solidos Urbanos CAMARCO.pdf>

Leal Filho, W., Brandli, L., Moora, H., Kruopienė, J., & Stenmarck, Å. (2016). Benchmarking approaches and methods in the field of urban waste management. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4377-4386.

Ley 25916/2004 Gestión De Residuos Domiciliarios. Agosto 4 de 2004. Boletín Nacional del 3 de Septiembre de 2004. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25916-98327/texto>

Pereyra Ramiro, 6 de agosto de 2019. La cementera de Malagueño ya utilizaba desechos industriales en sus procesos. Ahora suma los urbanos. Hay otros municipios interesados. Qué dice la Secretaría de Ambiente de la Provincia. *La Voz*, available at <https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/residuos-de-carlos-paz-fuente-de-combustible-alternativo-para-holcim/>

Ary Garbovetzky, 2 de diciembre de 2019. El 59% dice que separa residuos, pero sólo se recicla 0,5% en la ciudad de Córdoba. *La Voz*, available at <https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/59-dice-que-separa-residuos-pero-solo-se-recicla-05-en-ciudad-de-cordoba/>

Secretaría de Asuntos Municipales (2011) *Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos* https://www.mininterior.gov.ar/municipios/pdfs/SAM_03_residuos_solidos.pdf

Ziraba, A.K., Haregu, T.N. & Mberu, B. A review and framework for understanding the potential impact of poor solid waste management on health in developing countries. *Arch Public Health* 74, 55 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13690-016-0166-4>

Estefani Rondón Toro, Marcel Szantó Narea, Juan Francisco Pacheco, Eduardo Contreras, Alejandro Gálvez. Guía general para gestión de residuos sólidos domiciliarios (LC/L.4198, LC/IP/L.343), CEPAL, 2016.

Schejtman, L. e Irurita, N. (2012). Diagnóstico sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos en municipios de la Argentina. Documento de Trabajo N°103. Buenos Aires: CIPPEC.

Secretaría de Desarrollo Urbano Ambiental, 29 de noviembre de 2018. Página web de la Municipalidad de Villa Carlos Paz. Recolección Diferenciada de Basura en Carlos Paz: Comenzaron las Jornadas de Capacitación a Agentes Municipales. Available at <https://www.villacarospaz.gov.ar/detallenoticia.php?id=4931>

Ghosh, P., Jha, A., & Sharma, R. R. K. (2020). Managing carbon footprint for a sustainable supply chain: a systematic literature review. *Modern Supply Chain Research and Applications*.

Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1), 135-160.

Sun, L., Li, Z., Fujii, M., Hijioka, Y., & Fujita, T. (2018). Carbon footprint assessment for the waste management sector: A comparative analysis of China and Japan. *Frontiers in Energy*, 12(3), 400-410.

ISO 14067:2018 (2018). Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos y directrices para cuantificación. Available at <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica (2016). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Available at https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf

Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232.

Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático Ministerio de Agroindustria Provincia de Buenos Aires (2018). Manual de Aplicación de la Huella de Carbono. Available at https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huella_de_Carbono.pdf

IPCC (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) available at <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina (2021). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Monitoreo de Medidas de Mitigación available at <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/>

UNFCCC (2021). United Nations Framework Convention on Climate Change. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, available at <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/3er%20Informe%20Bienal%20de%20la%20Republica%20Argentina.pdf>

Secretaría de Energía, Ministerio de Economía de la Nación Argentina (2021). Cálculo del factor de emisión de la red 2013 a 2019 [Archivo Excel]. Datos Argentina. <http://datos.minem.gob.ar/dataset/7d47693a-c533-4e76-ae24-374c3205715a/archivo/f129bed1-d7d-48a1-944c-f98e52de38e5>

EFDB (2021). Emission Factor Data Base. IPCC Intergovernment Panel on Climate Change https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?reset=

Sánchez, D. M. A., Parra, A. L. R., Ortega, F. S., & Acevedo, G. M. (2019). Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda. *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1), 156-162.

Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica.

Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Aracón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., & Zaragoza, C. (2000). Producción y gestión del compost.

Martínez, M; Pantoja, A; Román P. (2013) Manual de compostaje del agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Sánchez, A. V. (2011). Estimación del Costo del Patrimonio y Costo del Capital por medio de tasas de rendimiento ajustadas al riesgo. *Revista Investigación & Desarrollo*, 1(11).

Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85.

Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and sustainable energy reviews*, 45, 540-555.

Casanovas G., Della Vecchia F., Reymundo F., Serafini R, (2019). Roberto Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. FAO. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp.

Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable energy*, 129, 457-472.

IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

Lee J., Pereira G., Sánchez M. A. (2011). Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plásticos en Chile. Carbon Reduction Institute. available at: https://www.acoplasticos.org/boletines/2011/noticias_ambientales_2011_04julio/asipla_huella_de_carbono.pdf

Anexos

Anexo 1: Cronograma de recolección de residuos secos y húmedos de Villa Carlos Paz

A partir de la diferenciación en los domicilios, los distintos sectores de la ciudad tendrán frecuencias para sacar los residuos. En tanto, la empresa Cotreco dispondrá de camiones recolectores en días específicos para recoger los residuos húmedos por un lado, y los secos por otro.

Cronograma de recolección de residuos:

Zona 1: (comprende el barrio Costa Azul Norte).

Recolección secos: días viernes de 06:00 a 14:00 hs.

Recolección húmedos: días martes, jueves y sábados de 06:00 a 14:00 hs.

Zona 2:

ZONA 2A (barrios que comprende en parte: Las Malvinas, Sarmiento, José Muñoz, La Cuesta, Altos de las Vertientes y Costa Azul Sur).

-Recolección secos: lunes y jueves de 11:00 a 16:00 hs.

-Recolección húmedos: domingos a viernes de 18:00 a 01:30 hs.

ZONA 2B (barrios que comprende en parte: Miguel Muñoz A, Becció, Los Manantiales, Belgrano y Los Carolinos).

-Recolección secos: martes y viernes de 11:00 a 16:00 hs.

-Recolección húmedos: domingos a viernes de 18:00 a 01:30 hs.

ZONA 2C (barrios que comprende en parte: Sol y Lago, Los Eucaliptos, Villa Domínguez, Villa Suiza y Santa Rita).

-Recolección secos: miércoles y sábados de 11:00 a 16:00 hs.

-Recolección húmedos: domingos a viernes de 18:00 a 01:30 hs

Zona 3: (comprende en parte los barrios Las Rosas Norte, El Fantasio, Miguel Muñoz B, Los Algarrobos, Altos San Pedro y La Quinta Segunda Sección)

Recolección secos: los días jueves de 05:00 a 13:00 hs.

Recolección húmedos: los días lunes, miércoles y viernes de 05:00 a 13:00 hs.

Zona 4: (Comprende en parte los barrios Solares de las Ensenadas, Playas de Oro, Sol y Río, Villa del Río, Los Inquilinos, Villa Independencia, Las Rosas Centro, El Canal y San Ignacio)

Recolección secos: días martes de 05:00 a 13:00 hs.

Recolección húmedos: días lunes, miércoles y viernes de 05:00 a 13:00 hs.

Zona 5: (Comprende en parte a los barrios Altos del Valle, Colinas, Carlos Paz Sierras, La Quinta Primera Sección, Villa del Lago, La Quinta 3° sección, Villa Suiza y La Quinta 4° sección).

Recolección secos: días miércoles de 06:00 a 14:00 hs.

Recolección húmedos: días martes, jueves y sábado de 06:00 a 14:00 hs.

Zona 6: (comprende Villa del Lago).

Recolección secos: días viernes de 06:00 a 14:00 hs.

Recolección húmedos: días martes, jueves y sábados de 06:00 a 14:00 hs.

Zona 7: (comprende en parte los barrios El Cu-Cú y Centro).

Recolección secos: de lunes a domingo de 11:00 a 15:00 hs.

Recolección húmedos: de lunes a domingo de 06:00 a 09:00 hs. y de 17:00 a 20:00 hs.

Cabe destacar que el esquema de recolección de frecuencias está disponible en la página web del Municipio, redes sociales oficiales y podrá consultarse a través de la línea de atención gratuita 147.



Fuente: Municipalidad de Villa Carlos Paz