



INSTITUTO PARA  
EL DESARROLLO  
SUSTENTABLE DE  
RAFAELA

## **PROYECTO “COMPOSTAJE EN COMPLEJO AMBIENTAL”**

Rafaela, Santa Fe

Memoria técnica

Pasante

Oggero Victoria

Estudiante de Ingeniería Ambiental



*Año 2025*

## ÍNDICE

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introducción.....</b>                                               | <b>2</b>  |
| <b>Antecedentes y Justificación.....</b>                               | <b>2</b>  |
| <b>Objetivos del Proyecto.....</b>                                     | <b>2</b>  |
| Objetivo general.....                                                  | 2         |
| Objetivos específicos.....                                             | 3         |
| <b>Descripción de Etapas del Proyecto.....</b>                         | <b>3</b>  |
| Etapa 1 – Compostaje de residuos verdes.....                           | 3         |
| Residuos incluidos.....                                                | 3         |
| Proceso operativo.....                                                 | 3         |
| Equipamiento necesario.....                                            | 3         |
| Cálculos.....                                                          | 4         |
| Etapa 2 – Adición de residuos orgánicos (frutas y verduras).....       | 7         |
| Residuos incluidos.....                                                | 7         |
| Proceso operativo.....                                                 | 7         |
| Cálculos.....                                                          | 7         |
| <b>Diagrama de flujo.....</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>Parámetros Técnicos y Rangos Óptimo.....</b>                        | <b>11</b> |
| Controles operativos.....                                              | 14        |
| <b>Compost generado.....</b>                                           | <b>15</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>                                            | <b>16</b> |
| Sugerencias para ampliación futura.....                                | 16        |
| Sugerencia complementaria: Compostaje Universitario de Yerba Mate..... | 16        |
| <b>Conclusiones.....</b>                                               | <b>17</b> |
| <b>Anexo.....</b>                                                      | <b>18</b> |
| Hoja de ruta → Uso de Hoja de Cálculo en Drive.....                    | 20        |
| <b>Bibliografía.....</b>                                               | <b>24</b> |

## **Proyecto Compostaje en Relleno Sanitario**

### **Introducción**

El presente informe técnico describe la propuesta de reactivación del sistema de compostaje en el Complejo Ambiental de Rafaela, orientado a fortalecer la gestión integral de residuos sólidos urbanos. El objetivo principal del proyecto es valorizar la fracción orgánica mediante procesos de compostaje controlado, reduciendo significativamente el volumen de residuos destinados a disposición final y, por ende, aumentar la vida útil del Relleno Sanitario.

La propuesta se desarrollará en dos etapas. En la primera, se prevé el tratamiento exclusivo de residuos verdes, provenientes de restos de poda, ramas y hojas, con el fin de generar un compost base y establecer los parámetros operativos del sistema. En la segunda etapa, se incorporará el residuo orgánico proveniente de establecimientos generadores como verdulerías y supermercados, lo que permitirá ampliar el alcance del proyecto y mejorar la calidad del compost final.

### **Antecedentes y Justificación**

Desde el año 2014, el Complejo Ambiental de Rafaela implementó un sistema de compostaje que permitió la valorización de residuos orgánicos y verdes mediante técnicas de manejo controlado. Durante su operación se establecieron protocolos de monitoreo y trazabilidad que incluyeron:

- Envío de muestras de compost para análisis de calidad mediante convenios con la Universidad Tecnológico Nacional (UTN).
- Registros del destino de entrega del compost generado.
- Control de insumos, incluyendo cantidad de material chipeado.
- Seguimiento operativo de volteos, registrando fecha y pilas intervenidas.
- Control ambiental de pilas, considerando temperatura, porcentaje de humedad, olores, presencia de moscas, condiciones climáticas (presencia de viento y lluvia) e inventario de materiales.

Este sistema fue suspendido temporalmente como consecuencia de la ampliación de celdas del relleno, lo que implicó una redistribución de áreas operativas y priorización de otros procesos de gestión.

La reactivación del compostaje se justifica en función de los beneficios ambientales y técnicos observados durante el período activo, así como la necesidad de reducir la fracción orgánica en la disposición final y avanzar hacia una gestión sustentable de residuos urbanos.

### **Objetivos del Proyecto**

#### **Objetivo general**

Prolongar la vida útil del Relleno Sanitario de Rafaela mediante la implementación de un sistema de compostaje por etapas, orientado a la valorización de residuos verdes y orgánicos.

## Objetivos específicos

- Desarrollar una primera etapa de compostaje que utilice exclusivamente residuos verdes (poda, ramas, hojas), estableciendo parámetros operativos como temperatura, humedad y tiempo de maduración.
- Incorporar, en una segunda etapa, los residuos orgánicos generados en verdulerías y supermercados, a través del diseño de un protocolo específico de recolección diferenciada y acopio.
- Definir indicadores técnicos que permitan evaluar la eficiencia del proceso y la calidad del compost obtenido.
- Fomentar la integración del compost producido en actividades de remediación ambiental, forestación urbana o aplicaciones agrícolas locales, contribuyendo al cierre del ciclo de valorización.

## **Descripción de Etapas del Proyecto**

### Etapas 1 – Compostaje de residuos verdes

#### *Residuos incluídos*

En esta etapa se incluirán **residuos verdes**, es decir, los provenientes de la poda, ramas, hojas tanto urbanas como domiciliarias provenientes de la recolección diferenciada.

#### *Proceso operativo*

En cuanto al proceso operativo, los residuos verdes se deben pasar por una chipeadora que se encarga de triturar dichos residuos con el fin de obtener trozos más pequeños denominados “chips”, al reducir su volumen se puede utilizar como fuente principal para el compostaje, dando lugar a la porosidad y humedad adecuada para dicha actividad. Luego se deben formar las pilas según las dimensiones comentadas a continuación. Para un buen funcionamiento del proceso, las pilas deben contar con volteos periódicos y monitoreos de parámetros importantes.

#### *Equipamiento necesario*

Herramientas recomendadas:

- Pala: para agregar materia, voltear, y sacar el compost.
- Tijeras, serruchos o hachas: para realizar cortes en caso de ser necesario.
- Trituradora/chipeadora: para conseguir el tamaño de partícula.
- Regadera, manguera o aspersor: para mantener la humedad del compost.
- Termómetro: para la medición de temperaturas del material.
- Tamiz o trommel: para tamizar el material al finalizar el proceso de compostaje y separar elementos gruesos que no fueron descompuestos.
- Papel pH: para controlar la acidez.
- Barrehojas/rastrillos: para mantener limpia la zona.
- Balanza: para determinar la masa de los residuos.
- Otros: carretillas, aireadores, etc.

## Cálculos

### - Volumen diario

Para estimar el volumen de material destinado al compostaje, es necesario considerar la densidad aparente de la mezcla de residuos verdes y la masa individual de cada componente. La clasificación de los materiales y sus respectivas densidades fue tomada como referencia de una tesis académica (Cabrera Córdova & Rossi Luna, 2016, p. 7).

A partir de la masa estimada de cada tipo de residuo verde, se obtiene la masa total a compostar, la cual deberá ajustarse conforme se disponga de información real del proceso. Con la densidad aparente previamente calculada, se procede al cálculo del volumen de material a compostar.

A continuación se presenta una tabla que resume los valores utilizados, destacando que la fila correspondiente a la “Masa” fue completada únicamente a modo de ejemplo ilustrativo.

**Tabla 1.** Tabla resumen de cálculos. *Elaboración propia.*

| Material           | Condición             | Densidad<br>[kg/m3] | Densidad<br>prom [kg/m3] | Masa<br>[kg/d]               | % masa                                   | m i / dens i              |
|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
|                    |                       | <i>dato tesis</i>   | <i>promedio</i>          | <i>dato de entrada</i>       | <i>ecuación 1</i>                        |                           |
| Hojas              | sueltas y secas       | 60-155              | 107.5                    | 50                           | 0.11                                     | 1.03E-03                  |
|                    | trituras              | 148-207             | 177.5                    | 100                          | 0.22                                     | 1.25E-03                  |
|                    | compactadas y húmedas | 237-300             | 268.5                    | 0                            | 0.00                                     | 0.00E+00                  |
| Hierba verde       | sueltas               | 178-237             | 207.5                    | 0                            | 0.00                                     | 0.00E+00                  |
|                    | compactadas           | 300-480             | 390                      | 50                           | 0.11                                     | 2.85E-04                  |
| Residuos de maleza | como se recolectan    | 200-550             | 375                      | 0                            | 0.00                                     | 0.00E+00                  |
|                    | trituras              | 270-355             | 312.5                    | 200                          | 0.44                                     | 1.42E-03                  |
| Matorral y hojas   | sueltas y secas       | 60-178              | 119                      | 50                           | 0.11                                     | 9.34E-04                  |
|                    |                       |                     |                          | <b>Masa total<br/>[kg/d]</b> | <b>Densidad<br/>aparente<br/>[kg/m3]</b> | <b>Volumen<br/>[m3/d]</b> |
|                    |                       |                     |                          | <i>sumatoria</i>             | <i>ecuación 2</i>                        | <i>ecuación 3</i>         |
|                    |                       |                     |                          | 450                          | 202.99                                   | 2.22                      |

Las ecuaciones utilizadas para completar la Tabla 1 se detallan a continuación:

$$\% \text{ masa} = \frac{m_i}{M_t} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\rho_a = \frac{1}{\sum \frac{m_i}{\rho_i}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$V = \frac{M_t}{\rho_a} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- $m_i$ : masa diaria de cada material [kg/d]
- $M_t$ : masa total diaria de todos los materiales [kg/d]
- $\rho_a$ : densidad aparente de la mezcla [kg/m<sup>3</sup>]
- $\rho_i$ : densidad de cada material [kg/m<sup>3</sup>]
- $V$ : volumen total a compostar [m<sup>3</sup>/d]

De la Tabla 1 se pueden obtener los valores de masa total diaria, densidad aparente de la mezcla de residuos verdes (de poda) y del volumen diario.

#### - Espacio físico requerido y tiempo de residencia

Para determinar la superficie necesaria para la instalación de las pilas de compostaje, se estableció un modelo de degradación de sólidos volátiles (sv) basado en una cinética primer orden, cuya constante de degradación (k) es de 0,03465 d<sup>-1</sup>. Se considera que el proceso logra una remoción de sólidos volátiles del 90%. El tiempo de residencia (t) de cada pila se calcula mediante la siguiente expresión diferencial:

$$\frac{d\,sv}{dt} = -k * sv * t \quad \text{Ec. 4}$$

Integrando la ecuación se obtiene:

$$\frac{sv}{sv_0} = e^{-k*t} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

- sv: sólidos volátiles al final del proceso
- $sv_0$ : sólidos volátiles al inicio del proceso
- k: constante de degradación [d<sup>-1</sup>]
- t: tiempo de residencia [d]

A partir de la Ecuación 5 se despeja el valor del tiempo de residencia.

$$t = \frac{\ln\left(\frac{sv}{sv_0}\right)}{-k} = \frac{\ln\left(\frac{10}{100}\right)}{-0,03465 \, d^{-1}} = 66,45 \, \text{días} = 2,22 \, \text{meses}$$

Este modelo determina un tiempo de residencia de 66,45 días (2,22 meses). Con este valor, junto al flujo de entrada y la densidad aparente obtenida (de Tabla 1), se puede obtener el volumen total de material a compostar mediante la siguiente fórmula.

$$V = \frac{M_t * t}{\rho_a} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

- V: volumen total [m<sup>3</sup>]
- $M_t$ : masa total diaria de todos los materiales [kg/d]
- t: tiempo de residencia [d]
- $\rho_a$ : densidad aparente de la mezcla [kg/m<sup>3</sup>]

Para el diseño se adopta una geometría trapezoidal, como se muestra en la Figura 1. Las dimensiones elegidas se detallan a continuación. No obstante, dichas medidas podrán modificarse en función de los requerimientos técnicos o condiciones del terreno.

- Ancho inferior de pila (B) = 2 m

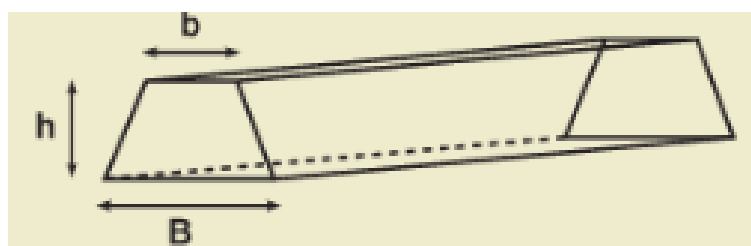
- Ancho superior (b) = 1,5 m
- Alto (h) = 1,5 m
- Largo (L) = 30 m

Con estas dimensiones, el volumen de cada pila, calculado con la ecuación 7 presentada a continuación, resulta de 78,75 m<sup>3</sup>.

$$Vp = \frac{1}{2} * (b + B) * h * L \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

- Vp: volumen pila [m<sup>3</sup>]
- B: ancho inferior de pila [m]
- b: ancho superior de pila [m]
- h: alto de pila [m]
- L: largo de pila [m]



**Figura 1.** Forma de pila adoptada.

A partir de los valores obtenidos, se proyecta la cantidad total de pilas de compostaje (N) requeridas aplicando la ecuación 8. Cabe destacar que esta estimación estará sujeta a variaciones según el flujo de entrada de residuos. En caso de mantener constantes las dimensiones operativas de las pilas previamente definidas, el único parámetro variable será el volumen total (V), el cual se determina en función del volumen diario total calculado en la Tabla 1.

$$N = \frac{V}{Vp} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

- N: cantidad total de pilas de compostaje
- V: volumen total de material a compostar [m<sup>3</sup>]
- V<sub>p</sub>: volumen de cada pila [m<sup>3</sup>]

Finalmente, para determinar la superficie que se le destina al área de compostaje, se utiliza la siguiente fórmula, incorporando un sobredimensionamiento del 20% destinado a espacios de circulación y maniobra.

$$S = B * L * N * 1,2 \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

- S: superficie total requerida [m<sup>2</sup>]
- B: ancho inferior de pila [m]
- L: largo de pila [m]
- N: cantidad de pilas

En Anexo se encuentra una hoja de ruta para la utilización de la hoja de cálculos de drive correspondiente a dichos cálculos.

## Etapas 2 – Adición de residuos orgánicos (frutas y verduras)

### *Residuos incluídos*

En esta etapa se incluirán residuos verdes, contemplados en la etapa 1 y adicionalmente se utilizarán los residuos provenientes de verdulerías y supermercados (correspondientes a frutas y verduras).

### *Proceso operativo*

En esta segunda etapa, se incorporan residuos de verdulerías al proceso de compostaje, complementando los residuos verdes tratados previamente mediante chipeado, tal como se describe en la etapa anterior.

La mezcla debe realizarse siguiendo las proporciones establecidas en el apartado de “Cálculos”, a fin de asegurar una composición adecuada de carbono y nitrógeno en la pila. Una vez conformada la mezcla, se procede a la formación de la pila de compostaje.

Para garantizar el correcto funcionamiento del proceso, se deben realizar volteos periódicos que aseguren una adecuada oxigenación, además de monitoreos constantes de parámetros clave tales como temperatura, humedad y pH. Los mismos están descritos en un apartado posterior.

### *Cálculos*

Antes de comenzar con los cálculos pertinentes, se presentan las abreviaturas utilizadas a lo largo del desarrollo del cálculo numérico.

**Tabla 2.** Tabla resumen de abreviaturas importantes. *Elaboración propia.*

|                                                   |
|---------------------------------------------------|
| m: mezcla (residuos verdes + residuos verdulería) |
| p: residuos verdes (de poda)                      |
| v: residuos de verdulería                         |
| a: agua                                           |
| N': nitrógeno base seca [kg N / kg st]            |
| C': carbono base seca [kg C / kg st]              |

### **- Parámetros / datos fundamentales de los residuos**

En la siguiente tabla, se muestran los parámetros importantes, el valor adoptado o calculado, las unidades correspondientes y la fuente de la cual fue obtenida.

**Tabla 3.** Tabla resumen de datos. *Elaboración propia.*

| Parámetro | Valor               | Unidad       | Fuente  | Observación                                    |
|-----------|---------------------|--------------|---------|------------------------------------------------|
| (C/N) m   | 30                  | kg C / kg N  | 2       | Relación carbono nitrógeno de la mezcla        |
| W m       | 0.55                | kg a / kg m  | 2       | Humedad de la mezcla                           |
| (C/N) p   | s/ estación del año | kg C / kg N  | 3       | Relación carbono nitrógeno de residuos de poda |
| Ws p      | 0.44                | kg st / kg p | Tabla 2 | Fracción másica de sólidos totales             |

|         |                     |                | Anexo         |                                                   |
|---------|---------------------|----------------|---------------|---------------------------------------------------|
| Ww p    | 0.56                | kg a / kg p    |               | Fracción másica de humedad de residuos de poda    |
| N' p    | 0.0045              | kg N / kg st p |               | Nitrógeno en base seca de residuos de poda        |
| (C/N) v | s/ estación del año | kg C / kg N    | Tabla 2 Anexo | Relación carbono nitrógeno de residuos de verdura |
| Ws v    | 0.25                | kg st / kg p   | Tabla 2 Anexo | Fracción másica de sólidos totales                |
| Ww v    | s/ estación del año | kg a / kg p    |               | Fracción másica de humedad de residuos de verdura |
| N' v    | 0.019               | kg N / kg st p | Tabla 2 Anexo | Nitrógeno en base seca de residuos de verdura     |

#### - Proporciones estacionales de generación de residuos

En base a datos históricos y estimaciones de consumo, se establecen distintas proporciones de consumo de frutas y verduras como de residuos verdes generados según la estación del año. En las siguientes tablas se muestra lo mencionado.

**Tabla 4.** Proporción de consumo de frutas y verduras según estación del año. *Elaboración propia.*

| Estación del año | Frutas | Lechugas y coles | Papa y zanahorias |
|------------------|--------|------------------|-------------------|
| Verano           | 60%    | 25%              | 15%               |
| Otoño            | 40%    | 35%              | 25%               |
| Invierno         | 25%    | 30%              | 45%               |
| Primavera        | 50%    | 35%              | 15%               |

**Tabla 5.** Proporción de residuos verdes según estación del año. *Elaboración propia.*

| Estación del año | Ramas | Hojas | Césped |
|------------------|-------|-------|--------|
| Verano           | 20%   | 25%   | 55%    |
| Otoño            | 35%   | 50%   | 15%    |
| Invierno         | 40%   | 45%   | 15%    |
| Primavera        | 25%   | 35%   | 40%    |

#### - Determinación estacional de la relación C/N de los residuos

La relación carbono/nitrógeno (C/N) de cada tipo de residuo fue obtenida a partir de la Tabla 2 del Anexo, en función del material específico. Posteriormente, se utilizaron las proporciones estacionales de generación de residuos, presentadas en las Tablas 4 y 5, para calcular la relación C/N promedio de cada mezcla según la época del año.

Asimismo, en el caso de los residuos de verdulerías, se aplicó el mismo procedimiento para estimar la humedad media, considerando la variabilidad en el consumo de frutas y verduras a lo largo de las estaciones.

Como resultado, en la tabla siguiente se presenta un resumen de los valores obtenidos para relación C/N y humedad por tipo de residuo y estación del año.

**Tabla 6.** Resultados resumen según estación del año. *Elaboración propia.*

| Estación del año | Relación (C/N) v | Relación (C/N) p | Unidad      | Ww v  | Unidad     |
|------------------|------------------|------------------|-------------|-------|------------|
| Verano           | 28.1             | 35.35            | kg C / kg N | 0.783 | kg a /kg v |
| Otoño            | 25.5             | 51.8             |             | 0.761 |            |
| Invierno         | 27.8             | 51.55            |             | 0.740 |            |
| Primavera        | 25.1             | 41.55            |             | 0.773 |            |

**- Proporción de mezcla: kg de r. verdura por kg r. verde**

Para determinar la cantidad adecuada de residuos de verdulerías que debe incorporarse por cada unidad de residuos verdes, se utiliza como criterio la relación entre la masa de carbono y la masa de nitrógeno de los materiales.

Dado que se cuenta con los valores de la relación C/N deseada para la mezcla y las características compositivas de los residuos de poda, se procede al cálculo de la fracción óptima de residuos de verdulería mediante la fórmula de la relación C/N combinada:

$$\left(\frac{C}{N}\right)^m = \frac{F^p \cdot C^p (1-w_w^p) + F^v \cdot C^v (1-w_w^v)}{F^p \cdot N^p (1-w_w^p) + F^v \cdot N^v (1-w_w^v)} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- $F^p$ : flujo de residuos de poda [kg p / kg p]
- $C^p$ : carbono base seca de residuos de poda [kg C / kg st p]
- $N^p$ : nitrógeno base seca de residuos de poda [kg N / kg st p]
- $(1 - w_w^p)$ : fracción másica sólida de residuos de poda [kg st p / kg p]
- $F^v$ : flujo de residuos de verdulería [kg v / kg p]
- $C^v$ : carbono base seca de residuos de verdulería [kg C / kg st v]
- $N^v$ : nitrógeno base seca de residuos de verdulería [kg N / kg st v]
- $(1 - w_w^v)$ : fracción másica sólida de residuos de verdulería [kg st v / kg v]

A modo descriptivo, se desarrolla un ejemplo para estación verano:

$$30 \frac{kg C}{kg N} = \frac{1 \frac{kg p}{kg p} \cdot 0.16 \frac{kg C}{kg st p} \cdot (1-0.56) \frac{kg st p}{kg p} + x \frac{kg v}{kg p} \cdot 0.54 \frac{kg C}{kg st v} \cdot (1-0.7825) \frac{kg st v}{kg v}}{1 \frac{kg p}{kg p} \cdot 0.0045 \frac{kg N}{kg st p} \cdot (1-0.56) \frac{kg st p}{kg p} + x \frac{kg v}{kg p} \cdot 0.019 \frac{kg N}{kg st v} \cdot (1-0.7825) \frac{kg st v}{kg v}}$$

Despejando x:

$$x = \frac{1 \frac{kg p}{kg p} \cdot 0.16 \frac{kg C}{kg st p} \cdot (1-0.56) \frac{kg st p}{kg p} - 30 \cdot 1 \frac{kg p}{kg p} \cdot 0.0045 \frac{kg N}{kg st p} \cdot (1-0.56) \frac{kg st p}{kg p}}{30 \cdot 0.54 \frac{kg C}{kg st v} \cdot (1-0.7825) \frac{kg st v}{kg v} - 0.54 \frac{kg C}{kg st v} \cdot (1-0.7825) \frac{kg st v}{kg v}} = 1,68 \frac{kg v}{kg p}$$

Entonces, por cada kg de residuos de poda se debe colocar 1,7 kg de residuos verdes.

A continuación se muestra la tabla resumen de los datos utilizados para el cálculo correspondiente de lo presentado en la Tabla 8.

**Tabla 7.** Resultados resumen según estación del año. *Elaboración propia.*

| Estación del año | Residuos de poda    |                  |                       |                       | Residuos de verdulería |                  |                       |                       | Mezcla           |
|------------------|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
|                  | Ww<br>[kg a / kg p] | C/N<br>[kgC/kgN] | N' [kg N/<br>kg st p] | C' [kg C/<br>kg st p] | Ww<br>[kg a/kgv]       | C/N<br>[kgC/kgN] | N' [kg N/<br>kg st v] | C' [kg C/<br>kg st v] | C/N<br>[kgC/kgN] |
| Verano           | 0.56                | 35.35            | 0.0045                | 0.16                  | 0.7825                 | 28.1             | 0.019                 | 0.54                  | 30               |
| Otoño            | 0.56                | 51.8             | 0.0045                | 0.23                  | 0.7605                 | 25.5             | 0.019                 | 0.49                  |                  |
| Invierno         | 0.56                | 51.55            | 0.0045                | 0.23                  | 0.74025                | 27.8             | 0.019                 | 0.53                  |                  |
| Primavera        | 0.56                | 41.55            | 0.0045                | 0.19                  | 0.773                  | 25.1             | 0.019                 | 0.48                  |                  |

A partir de la ecuación 10 y los datos de la Tabla 7 se calcula lo dispuesto en la siguiente tabla.

**Tabla 8.** Resultados según estación del año. *Elaboración propia.*

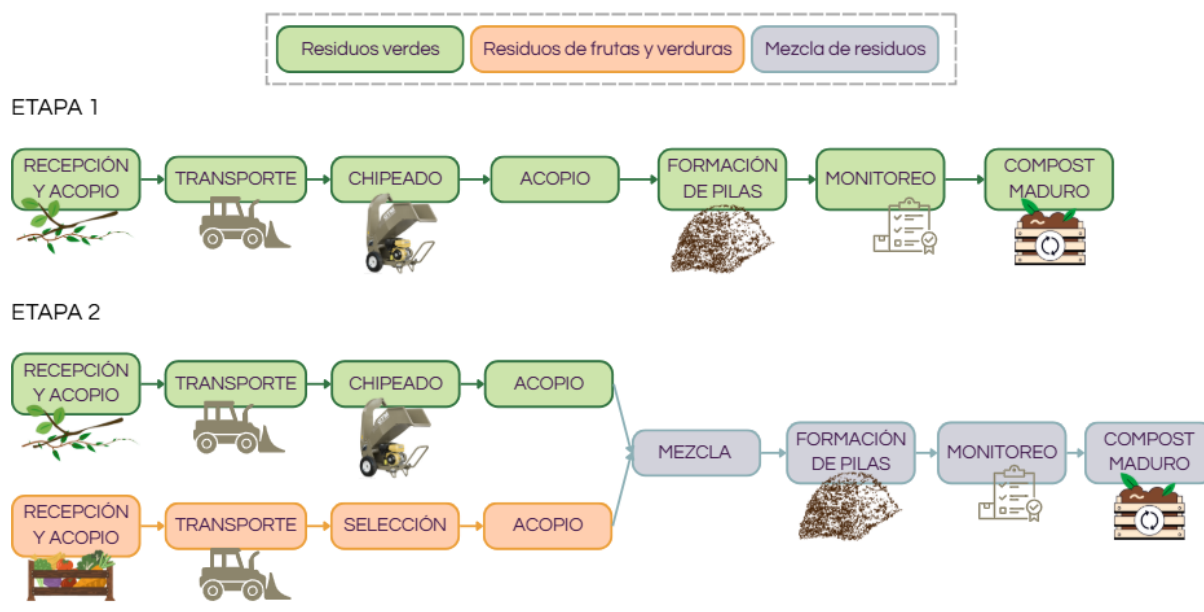
| Estación del año | kg res. verdulería x kg<br>poda | % res. verdulería | % poda | Simplificado |               |
|------------------|---------------------------------|-------------------|--------|--------------|---------------|
|                  | [kg v / kg p]                   |                   |        | balde poda   | balde verdura |
| Verano           | <b>1.345</b>                    | 57%               | 43%    | 1            | 1 y medio     |
| Otoño            | <b>2.101</b>                    | 68%               | 32%    | 1            | 2             |
| Invierno         | <b>3.917</b>                    | 80%               | 20%    | 1            | 4             |
| Primavera        | <b>1.079</b>                    | 52%               | 48%    | 1            | 1             |

Posteriormente, se realizan los cálculos correspondientes al volumen diario, espacio físico requerido y tiempo de residencia, aplicando la misma metodología utilizada en la Etapa 1. Cada cálculo se realizó considerando las condiciones particulares de cada estación del año, con base en los datos específicos disponibles para cada periodo.

Para el cálculo del volumen diario, se toma como dato de entrada la masa de residuos verdes (expresada en kg), la cual permite activar el sistema automático de cómputo implementado en la hoja de cálculo alojada en Drive. Esta herramienta genera de forma automática el volumen de residuos de verdulería conforme a los coeficientes estipulados en la Tabla 8.

## Diagrama de flujo

En la siguiente figura se puede observar un diagrama representativo del flujo de ambas etapas.



**Figura 2.** Diagrama de flujo. *Elaboración propia.*

## Parámetros Técnicos y Rangos Óptimo

Debido a que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. A continuación se señalan los parámetros y sus rangos óptimos.

### - Oxígeno

El compostaje es un proceso aeróbico y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos y la liberación de dióxido de carbono.

La necesidad de oxígeno varía durante el proceso, a continuación se muestra una tabla en donde se presentan los distintos problemas y soluciones según el porcentaje de aireación alcanzado.

**Tabla 9.** Control de aireación. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

| Porcentaje de aireación     | Problema            |                                                                                                                         | Soluciones                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <5%                         | Baja aireación      | Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis                             | Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación .                                                                                                                                                                              |
| <b>5% - 15% Rango ideal</b> |                     |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| >15%                        | Exceso de aireación | Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. | Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros) |

#### - Relación C/N

La relación Carbono/Nitrógeno varía en función del material de partida y se obtiene según la mezcla de materiales a compostar, el rango ideal se encuentra entre 25:1 y 35:1.

**Tabla 10.** Parámetros de la relación carbono/nitrógeno. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

| C:N                            | Causas Asociadas    |                                                                                                                                                                 | Soluciones                                                                                |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| >35:1                          | Exceso de Carbono   | Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse                                            | Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.          |
| <b>15:1 – 35:1 Rango ideal</b> |                     |                                                                                                                                                                 |                                                                                           |
| <15:1                          | Exceso de Nitrógeno | En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado. | Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín) |

#### - Humedad

Es un parámetro vinculado a los microorganismos, ya que, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. El porcentaje de humedad óptimo para el compostaje varía entre 45-60%.

**Tabla 11.** Parámetros de humedad óptimos. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

| Porcentaje de humedad        | Problema             |                                                                                            | Soluciones                                                                                                                                                                       |
|------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <45%                         | Humedad insuficiente | Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos          | Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros) |
| <b>45% - 60% Rango ideal</b> |                      |                                                                                            |                                                                                                                                                                                  |
| >60%                         | Oxígeno insuficiente | Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis. | Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.                                        |

#### - Temperatura

El rango de temperatura es muy amplio según la fase del proceso en la que se encuentre. Generalmente el compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de una fuente externa.

**Tabla 12.** Parámetros de temperatura óptimos. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

| Temperatura (°C)                        | Causas asociadas                   |                                                                                                                                                                                                                                                | Soluciones                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C) | Humedad insuficiente.              | Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.                                                         | Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)                                                       |
|                                         | Material Insuficiente.             | Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.                                                                                                                                                 | Añadir más material a la pila de compostaje.                                                                                                                               |
|                                         | Déficit de nitrógeno o baja C:N.   | El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana. | Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.                                                                                                            |
| Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)  | Ventilación y humedad insuficiente | La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.                       | Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso. |

#### - pH

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En la primera parte del proceso el pH es más ácido, en la fase termófila el pH sube y alcaliniza el medio, finalmente los valores se neutralizan.

**Tabla 13.** Parámetros de pH óptimos. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

| pH                           | Causas asociadas           |                                                                                                                                                                                   | Soluciones                                                                                           |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <4,5                         | Exceso de ácidos orgánicos | Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.                                                          | Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.                     |
| <b>4,5 – 8,5 Rango ideal</b> |                            |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                      |
| >8,5                         | Exceso de nitrógeno        | Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio. | Adición de material mas seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín) |

#### - Tamaño de partícula

Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m<sup>3</sup>, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m<sup>3</sup>.

## Controles operativos

Los principales parámetros de control son temperatura, humedad y pH. Para ellos se establecen las siguientes recomendaciones:

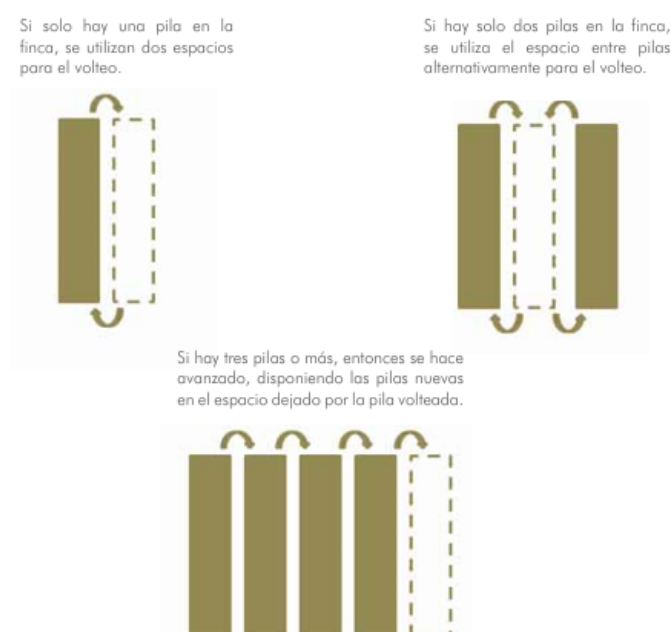
**Temperatura:** si no se dispone de un termómetro, se puede utilizar una barra de metal o de madera. La barra se introduce en distintos puntos de la pila y manualmente se comprueba un aproximado de la temperatura según la fase de compostaje y observando las temperaturas recomendadas en cada fase (Tabla 12).

**Humedad:** se puede hacer la llamada “técnica del puño cerrado”, que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped).

**Acidez o pH:** Hay dos modalidades de medida, una directamente en la pila y otra en un extracto de compost.

- Medida del pH en la pila: Si el compost está húmedo pero no encharcado, se puede, se puede insertar una tira indicadora de pH en el compost. Se deja reposar durante unos minutos para absorber el agua, y se lee el pH mediante la comparación del color.
- Medida del pH en solución acuosa: Se toman varias muestras del compost y se colocan en recipientes con agua (volumen/volumen 1:5). Se agita y se toma la lectura, preferiblemente con pHmetro, si no se tiene pHmetro, entonces con tira indicadora.

**Volteos:** Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando.



**Figura 3.** Modalidades de volteo según número de pilas. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

En caso de ser posible su adquisición se adjunta en Anexo (Figura 1) el folleto de la máquina correspondiente para los volteos de las pilas.

Comprobación que ha finalizado el compostaje (en fase de maduración): para comprobar que el compost ha entrado en fase de maduración, el material, aún húmedo no aumenta de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo.

Ver en Anexo planilla de control para completar en operación.

## Compost generado

El compost generado se prevé como producto final estable, higienizado, con buena estructura y apto para uso ambiental. Según los parámetros técnicos definidos, se espera obtener un compost con valores adecuados de humedad, temperatura, pH, y relación C/N.

A continuación se presenta una tabla en donde se resumen los parámetros fisicoquímicos del compost maduro y sus rangos ideales.

**Tabla 14.** Parámetros óptimos de compost maduro. *Recuperado de Manual de compostaje agricultor.*

| <i>Parámetro</i>             | <i>Rango</i>           |
|------------------------------|------------------------|
| C:N                          | 10:1 - 15:1            |
| Humedad                      | 30% - 40%              |
| Concentración de oxígeno     | ~10%                   |
| Tamaño del grano             | 16 mm                  |
| pH                           | 6,5 - 8,5              |
| Temperatura                  | Ambiente               |
| Densidad aparente            | <700 kg/m <sup>3</sup> |
| Materia orgánica (base seca) | >20%                   |
| Nitrógeno total (base seca)  | ~1%                    |

## Recomendaciones

- Continuar con el monitoreo de parámetros técnicos durante todo el proceso, asegurando la calidad del compost producido.
- En condiciones de sequedad, evaluar la incorporación de líquidos durante las etapas iniciales del compostaje. Se sugiere utilizar lixiviados en fases activas del proceso, evitando su aplicación en la etapa de maduración para preservar la higienización del producto final.
- Diseñar protocolos específicos para la recolección diferenciada de residuos orgánicos comerciales, garantizando la calidad del insumo y la trazabilidad del proceso.
- El compost maduro se puede utilizar para:
  - Aplicaciones en forestación urbana y espacios verdes o en proyectos municipales.
  - Mejora de suelos degradados en entornos urbanos o rurales.

### Sugerencias para ampliación futura

- Incorporar nuevas fuentes de residuos orgánicos, como comedores escolares, universidades, mercados y ferias barriales.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de automatizar ciertas etapas del proceso.
- Estudiar la posibilidad de comercializar el compost generado bajo normativas locales, como producto registrado de uso ambiental.

### Sugerencia complementaria: Compostaje Universitario de Yerba Mate

Como parte de las acciones de sensibilización ambiental y reducción de residuos orgánicos, se propone implementar una iniciativa de compostaje exclusiva para yerba mate consumida en universidades. Esta propuesta tiene como objetivo promover la separación diferenciada del residuo entre estudiantes, docentes y personal universitario, facilitando su tratamiento dentro de las mismas instituciones.

#### *Beneficios esperados:*

- Disminución del volumen de residuos enviados al relleno sanitario por parte de universidades.
- Fomento de la participación activa de la comunidad educativa en prácticas de compostaje.
- Generación de compost de calidad para uso en espacios verdes del campus o huertas comunitarias.
- Integración de la propuesta en campañas de educación ambiental y proyectos de extensión universitaria.

#### *Lineamientos operativos:*

- Disposición de recipientes exclusivos para yerba en patios, comedores y espacios comunes.
- Capacitación básica sobre separación correcta y beneficios del compostaje.
- Formación de grupos voluntarios para gestionar el compostaje.
- Señalización visible, diseños amigables y difusión digital para involucrar activamente a los estudiantes.



**Figura 4.** Imagen representativa de compost con yerba mate. *Recuperado de Google.*

## Conclusiones

La implementación progresiva del sistema de compostaje en el Complejo Ambiental constituye una estrategia para reducir la fracción orgánica destinada a disposición final, prolongar la vida útil del relleno sanitario y valorizar los residuos verdes y orgánicos. Esta iniciativa se integra con las políticas ambientales locales, promoviendo prácticas sostenibles y comunitarias alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 4, 6, 8, 11, 12 y 13).

Relación con los ODS:

- ODS 4: “Educación de calidad”

La implementación de campañas de concientización, charlas en escuelas, talleres vecinales o capacitaciones para recuperadores urbanos, fortalece el conocimiento sobre el compostaje, fomenta buenas prácticas ambientales y genera conciencia colectiva. La educación ambiental actúa como eje transversal del proyecto.

- ODS 6: “Agua limpia y saneamiento”

Aunque no se trabaje directamente con agua potable, la gestión adecuada de residuos orgánicos evita la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, especialmente por escurrimientos y lixiviados.

- ODS 8: “Trabajo decente y crecimiento económico”

Si el sistema contempla la participación de cooperativas y recuperadores urbanos, se fortalece el empleo local y se fomenta un modelo productivo más justo.

- ODS 11: “Ciudades y comunidades sostenibles”

El compostaje contribuye a una gestión responsable de residuos sólidos urbanos, mejora espacios verdes y promueve la inclusión social a través de cooperativas.

- ODS 12: “Producción y consumo responsables”

Promueve la valorización de residuos, la economía circular y el aprovechamiento de recursos antes de su disposición final.

- ODS 13: “Acción por el clima”

Al reducir la disposición de orgánicos en relleno, disminuye la generación de metano, un potente gas de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

## Anexo

**Tabla 1.** Planillas de control y registros del proceso.

|                                   |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|-------------------|--|
| Registro de ingreso de materiales |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Fecha                             | Tipo de residuo                             | Origen           | Cantidad [kg] | Chipeado      | Observaciones |        |        |        |                   |  |
| 24/07/2025                        | ramas de poda                               | plaza 25         | 120           | si            | bien seco     |        |        |        |                   |  |
| Monitoreo del proceso             |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Fecha                             | Pila                                        | Temperatura [°C] | pH            | Humedad       | Volteos       | Olor   | Moscas | Clima  | Aspecto compuesto |  |
| 24/07/2025                        | pila 3                                      | 58               | 7.1           | 45            | si            | neutro | no     | viento | homogéneo         |  |
| Parámetros de referencia          |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Parámetros                        | Sem 1-2                                     | Sem 3-5          | Sem 6-10      | Sem 11-12     |               |        |        |        |                   |  |
| Temperatura                       | 15-40°C                                     | 40-65°C          | 15-40°C       | T ambiente    |               |        |        |        |                   |  |
| pH                                | 4-6                                         | 8-9              | 7-8           | 6-8           |               |        |        |        |                   |  |
| Humedad                           | variable, dependiendo de humedad de entrada |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Registro de compost entregado     |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Fecha                             | Cantidad [kg]                               | Destinatario     | De qué pila?  | Observaciones |               |        |        |        |                   |  |
| 24/07/2025                        | 25                                          | escuela x        | pila 2        | buena calidad |               |        |        |        |                   |  |
| Registro de control de volteos    |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Fecha                             | Pila interenida                             | Volteo           | Obs.          |               |               |        |        |        |                   |  |
| 24/07/2025                        | pila 3                                      | si               |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Registro de control de chipeado   |                                             |                  |               |               |               |        |        |        |                   |  |
| Fecha                             | Catidad de residuo                          | Tipo             | Obs.          |               |               |        |        |        |                   |  |
| 24/07/2025                        | 50 kg                                       | ramas            |               |               |               |        |        |        |                   |  |

**Tabla 2.** Tablas con parámetros importantes.

**Tabla 6:** Caracterización Químicas de la Materia Prima

| Composición                            | Humedad | Sólidos totales | Relación C:N | % C   | % N  | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|----------------------------------------|---------|-----------------|--------------|-------|------|---------------------------------|
| Residuos de frutas                     | 80-85   | 15-20           | 35:1         | 50    | 2,5  | 2,12                            |
| Lechuga y coles                        | 73      | 27              | 5:1          | 50    | 2    | 0,09                            |
| Papa y zanahorias                      | 70      | 30              | 39:1         | 84    | 1,24 | 0,58                            |
| Cascaras de frejol, cilantro y alfalfa | 60      | 30              | 30:1         | 75    | 2,78 | 7                               |
| Estiércol de vaca                      | 80      | 20              | 32:1         | 53,44 | 1,67 | 0,68                            |
| Viseras de pescado                     | 75      | 25              | 8:1          | 5,5   | 1,67 | 2,0                             |
| Agua                                   | 100     | 0               | 0            | 0     | 0    | 0                               |

Fuente: Pablo Sallo Masache, 2014.

**Tabla 3.9.** Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.

| Materias primas           | % Sólidos totales |
|---------------------------|-------------------|
| <b>Residuos animales</b>  |                   |
| Bovinos                   | 13.4 – 56.2       |
| Porcinos                  | 15.0 – 49.0       |
| Aves                      | 26.0 – 92.0       |
| Caprinos                  | 83.0 – 92.0       |
| Ovejas                    | 32.0 – 45.0       |
| Conejos                   | 34.7 – 90.8       |
| Equinos                   | 19.0 – 42.9       |
| Excretas humanas          | 17.0              |
| <b>Residuos vegetales</b> |                   |
| Hojas secas               | 50.0              |
| Rastrojo maíz             | 77.0              |
| Paja trigo                | 88.0 – 90.0       |
| Paja arroz                | 88.8 – 92.6       |
| Leguminosas (paja)        | 60.0 – 80.0       |
| Tubérculos (hojas)        | 10.0 – 20.0       |
| Hortalizas (hojas)        | 10.0 – 15.0       |
| Aserrín                   | 74.0 – 80.0       |

Fuente: Vamero y Arellano, 1991.


**ELPATO**  
 MAQUINAS AGRICOLAS



 Ministerio de Agroindustria  
 Presidencia de la Nación


**COMPROMISO DE COOPERACION TÉCNICA**



 Ministerio de Agroindustria  
 Presidencia de la Nación

**Figura 1.** Folleto de volteadora de compost. Recuperado de “EL PATO” Máquinas Agrícolas.

## Hoja de ruta → Uso de Hoja de Cálculo en Drive

Se registra detalladamente el proceso realizado en la hoja de cálculo, con el objetivo de comprender y replicar su uso correctamente.

### Etapas

#### Tabla 1 - Cálculo de volumen diario de compost:

- Objetivo: calcular el volumen diario de compost que ingresa a la planta de compostaje.
- Estructura de la tabla:
  - Clasificación por tipo de material (hojas, hierba verde, maleza y matorral y hojas).
  - Condición del material: triturado, compactado o sin tratar, etc.
  - Es para calcular el volumen de ingreso diario de material a compostar.
- Ingreso de datos:
  - Se deben registrar los kilogramos diarios ingresados por categoría.
  - La hoja cuenta con fórmulas que calculan automáticamente el volumen.
- Frecuencia de registro:
  - En caso de que los datos se registren semanal o mensualmente, se debe ajustar la estructura de la hoja para mantener coherencia con la frecuencia establecida.

#### Tabla 2 - Cálculo de pilas de compostaje:

- Objetivo: Determinar la cantidad de pilas necesaria, su tiempo de resiliencia y la superficie total requerida.
- Parámetros configurables: El diseño permite ajustar las dimensiones de la pila según disponibilidad de terreno.
  - B: ancho inferior de pila
  - b: ancho superior de pila
  - h: altura de pila
  - L: largo
- Cálculos incluidos
  - Determinación del volumen unitario de cada pila
  - Estimación del número total de pilas necesarias según el volumen diario de ingreso (vinculado con tabla 1)
  - Cálculo del tiempo de residencia para alcanzar el porcentaje objetivo de remoción de sólidos volátiles
  - Superficie total requerida para emplazar las pilas.
- Ingreso de datos:
  - La tabla está vinculada a los resultados generados en la Tabla 1, por lo que los datos de ingreso fluyen automáticamente.

## Etapas

Tabla 4 - Datos importantes para el cálculo de porcentaje de kg de res. de verdulería por kg de poda:

- Se encuentran los datos esenciales para el cálculo de proporciones entre residuos verdes y de verdulería, incluyendo:
  - Relación carbono/nitrógeno
  - Contenido de nitrógeno en base seca
  - Fracción másica de humedad y/o de sólidos totales

Tabla 5 - Proporción de consumo de frutas y verduras según estación del año:

- Incluye los porcentajes de generación de residuos de frutas, lechugas, coles, papas y zanahorias según estación del año.
- Estos porcentajes pueden modificarse según estudios locales o nuevas fuentes bibliográficas.

Tabla 6 - Proporción de consumo de residuos verdes según estación del año:

- Presenta los porcentajes de generación de ramas, hojas y césped en función de la estacionalidad.
- Permite ajustes según análisis específicos o fuentes científicas adicionales.

Tabla 7 - Relación C/N y humedad de verdulería según proporción:

- Calcula automáticamente la relación C/N total y el contenido de humedad de los residuos de verdulería, considerando la proporción estacional definida anteriormente.
- Datos derivados de las Tablas 4 y 5 mediante fórmulas automatizadas.

Tabla 8 - Relación C/N de residuos verdes según proporción:

- Se estima la relación C/N total de los residuos verdes según la proporción establecida por estación.
- Se vincula directamente con las Tablas 4 y 6.

Tabla 9 - Datos resumen:

- Se encuentran los resultados claves de las tablas anteriores, para su uso en los cálculos posteriores.

Tabla 10 - Datos resumen para el cálculo de kg v / kg p:

- Esta tabla consolida los datos técnicos necesarios para aplicar la *Ecuación 10*, cuyo propósito es determinar el flujo de residuos de verdulería (kg verduras) por cada kilogramo de residuos verdes (kg poda).
- Estos datos permiten realizar un despeje matemático directo para obtener el flujo óptimo de residuos de verdulería en función del kg de poda disponible, asegurando condiciones adecuadas para el proceso de compostaje.

Tabla 11 - Cálculo de volumen diario de compost:

- Similar a la Tabla 1, incorpora la variabilidad estacional.
- Ingreso de datos:
  - A partir de la masa diaria de residuos verdes ingresados, se calcula automáticamente la masa correspondiente de residuos de verdulería aplicando la proporción de la Tabla 10.
- Se deben tener en cuenta las mismas consideraciones que para la Tabla 1.

Tabla 12 - Cálculo de pilas de compostaje:

- Similar a la Tabla 2, con la diferencia de que se clasifica según la estación del año.
- Se deben tener en cuenta las mismas consideraciones que para la Tabla 2.

Tabla resumen de lo anterior para rápida compresión:

| <b>Etapas</b> | <b>Tabla</b> | <b>Nombre</b>                                                                              | <b>Objetivos / valores obtenidos</b>                                                   | <b>Ingreso de datos</b>                                               | <b>Notas</b>                         |
|---------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1             | 1            | Cálculo de volumen diario de compost                                                       | Volumen de ingreso diario                                                              | Kg de residuos por tipo por día                                       | Ajustar según frecuencia de registro |
|               | 2            | Cálculo de pilas de compostaje                                                             | Volumen unitario y total, cantidad de pilas, tiempo de residencia y superficie ocupada | Vinculado con Tabla 1, no se deben ingresar datos                     | Parámetros configurables: B, b, h, L |
| 2             | 3            | Abreviaturas importantes                                                                   | Abreviaturas que se utilizan para los cálculos                                         | -                                                                     | -                                    |
|               | 4            | Datos importantes para el cálculo de porcentaje de kg de res. de verdulería por kg de poda | Parámetros físicoquímicos                                                              | Se alimenta de otras tablas. Algunos variables según estación del año | Valores bibliográficos modificables  |
|               | 5            | Proporción de consumo de frutas y verduras según estación del año                          | Porcentaje por tipo y estación                                                         | -                                                                     | Valores bibliográficos modificables  |

|  |    |                                                       |                                                                                        |                                                              |                                     |
|--|----|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|  | 6  | Proporción de residuos verdes según estación del año  | Porcentaje por tipo y estación                                                         | -                                                            | Valores bibliográficos modificables |
|  | 7  | Relación C/N y humedad de verdulería según proporción | Calcular relación C/N y humedad total según proporciones                               | Vinculado con Tabla 5                                        | Adaptado a estación del año         |
|  | 8  | Relación C/N de residuos verdes según proporción      | Calcular relación C/N según proporciones                                               | Vinculado con Tabla 6                                        | Adaptado a estación del año         |
|  | 9  | Datos resumen                                         | Resumen para cálculos posteriores                                                      | Vinculado con Tablas 7 y 8                                   | Soporte para Tabla 10               |
|  | 10 | Datos resumen para el cálculo de kg v / kg p          | Despejar proporción óptima (con Ecuación 10)                                           | Vinculado con Tablas anteriores                              | Determina las proporciones ideales  |
|  | 11 | Cálculo de volumen diario de compost                  | Estimar volumen diario según estación                                                  | Masa de residuos verdes, el resto se calcula automáticamente | Basado en Tabla 1                   |
|  | 12 | Cálculo de pilas de compostaje                        | Volumen unitario y total, cantidad de pilas, tiempo de residencia y superficie ocupada | Desde Tabla 11                                               | Basado en Tabla 2                   |

- Ingreso de datos
- Datos modificables

## Bibliografía

1. Cabrera Córdoba, V. C y Rossi L. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de miraflores* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM.
2. Román P., Martínez M.M., Pantoja A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
3. Mula, J. A. (s.f.). *Relación carbono-nitrógeno en el compost*. Agromática. <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>
4. Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Fundación ACRA. Centro de Artes Gráficas “El Fuego y la Palabra”.
5. Garrido, G. J., Pettigiani, E., Silbert Voldman, V., Mazzeo, N., & Cruz, N. (2021). *Guía para una gestión integral de residuos verdes municipales: Herramientas para planificar en el territorio* (1ª ed.). Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI.