



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



**PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE
UNA PLANTA DE ESCALA INDUSTRIAL DE COMPOSTAJE CON
RESIDUOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE LA
AGROINDUSTRIA EN LA PROVINCIA DE MENDOZA-
ARGENTINA**

UNA PROPUESTA PARA LA VALORACIÓN DE RESIDUOS



**TESIS PRESENTADA PARA ACCEDER AL TÍTULO DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

Tesista: LLAYER LUCA, Sebastián Alejandro

Director: Dr. THOMAS, Peter

Mendoza, Argentina

Agosto, 2021

Planificación de la construcción y operación de una planta de escala industrial de compostaje con residuos orgánicos provenientes de la agroindustria en la provincia de Mendoza-Argentina

Una propuesta para la valoración de residuos

Autor

Sebastián Alejandro Llaver Luca

llaversebastian@gmail.com

Director

Dr. Peter Thomas

Comisión Evaluadora Sugerida

Funes Pinter, Mariano Iván

Hidalgo, Andrea Roxana

Maldonado, Mariela

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Enrique y Haydée, por el apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida. A mi hermano Quique, por todas sus enseñanzas y las tardes estudiando juntos. A mi pareja Rodrigo, por el amor y paciencia infinita que ha tenido conmigo estos últimos años.

A mi director Peter Thomas, por su sabiduría y experiencia que ha compartido conmigo cada vez que la solicité en todo este trayecto. A los miembros de la Cátedra de Química Agrícola, por su apoyo y participación en el muestreo y análisis de muestras realizados en este trabajo.

A mis amigos, compañeros de facultad y a los miembros de la Cátedra de Química General e Inorgánica, que me acompañaron durante todos mis años universitarios y con quienes he tenido la suerte de aprender y trabajar.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Universidad Nacional de Cuyo, por enseñarme que siempre existen oportunidades para aquellos que las buscan.

A todas las personas que aportaron su granito de arena para que este trabajo poco a poco fuera creciendo hasta llegar a ser lo que es.

A todos ellos, les agradezco enormemente.

RESUMEN

El trabajo de relevamiento e investigación para la presente tesis se llevó a cabo en la provincia de Mendoza, considerando el caso de una empresa real dedicada a la producción de conservas y pulpas de frutas, que cuenta además con una finca destinada al cultivo de vid y de frutales de peras y durazno. Las frutas cosechadas son utilizadas para la producción de conservas, cócteles de frutas y pulpas de frutas. Para poder dimensionar y diseñar una planta de compostaje de escala industrial como propuesta de aprovechamiento de los residuos producidos en su actividad comercial más los bioresiduos de la poda de los cultivos de expreso interés de la empresa, es imperativo caracterizarlos y conocer su volumen.

Para realizar la caracterización, se tomaron muestras del bagazo residual, subproducto de la fábrica de conservas, con distintos tiempos de disposición desde su producción, diferenciables entre sí por sus características organolépticas (color, densidad, textura). El bagazo muestreado estaba formado principalmente por restos de durazno, presentando también trozos de otros frutos como peras y cerezas. Cabe aclarar que el muestreo se realizó únicamente en una ocasión debido a que el residuo a analizar no presenta variaciones estacionales. A las muestras se les determinó pH, humedad, contenido de materia orgánica, cenizas, Nitrógeno, Potasio, Fósforo, relación C/N y actividad microbiana. Los valores obtenidos confirmaron la aptitud del bagazo como material de input para poder llevar a cabo y hasta beneficiando el proceso de compostaje.

A partir del tipo y cantidad de residuo a tratar (bagazo residual y restos de poda originados en la finca de la empresa, como así también orujo de uva y poda de vid de una bodega cercana), y los recursos infraestructurales y financieros disponibles; se establecieron las dimensiones y tecnologías a utilizar en la planta de compostaje a diseñar.

Palabras clave: Compostaje, Planta industrial de compostaje, Residuos orgánicos, Caracterización de residuos, Agroindustria.

ABSTRACT

The survey and research work for this thesis was carried out in the province of Mendoza, considering the case of a real company dedicated to the production of canned fruit and fruit pulps, which also has a farm for the cultivation of grapes, and pear and peach trees. The harvested fruits are used for the production of canned fruits, fruit cocktails and fruit pulps. In order to size and design an industrial-scale composting plant as a proposal to use the waste produced in its commercial activity plus the biowaste from the pruning of crops of express interest to the company, it is imperative to characterize them and know their volume.

To carry out the characterization, samples of the residual bagasse, a by-product of the canning factory, were taken with different disposal times since its production, distinguishable from each other due to their organoleptic characteristics (colour, density, texture). The bagasse sampled consisted mainly of peach remains, also presenting pieces of other fruits such as pears and cherries. It should be clarified that the sampling was carried out only on one occasion because the residue to be analyzed does not present seasonal variations. The samples were determined pH, humidity, content of organic matter, ashes, Nitrogen, Potassium, Phosphorus, C/N ratio and microbial activity. The values obtained confirmed the aptitude of bagasse as an input material to be able to carry out and even benefit the composting process.

Based on the type and quantity of waste to be treated (residual bagasse and pruning remains originated on the company's farm, as well as grape pomace and vine pruning from a nearby winery), and the infrastructural and financial resources available; the dimensions and technologies to be used in the composting plant to be designed were established.

Keywords: Composting, Industrial composting plant, Organic waste, Characterization of waste, Agroindustry.

ÍNDICE

1. Introducción	12
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. Marco referencial	14
3.1. Compost	14
3.2. Compostaje	14
3.2.1. Condiciones del proceso	15
A) Temperatura.....	17
B) Humedad	18
C) Aireación.....	19
D) Espacio de aire libre	19
E) pH.....	20
F) Tamaño de partícula	21
G) Relación C/N.....	21
H) Nutrientes	21
I) Materia orgánica	22
J) Conductividad Eléctrica (CE)	22
3.3. Planta industrial de compostaje.....	22
3.3.1. Diseño de la planta.....	23
3.3.2. Etapas del proceso	23
A) Transporte, recepción y almacenamiento	24
B) Pretratamiento (mezcla/homogeneización)	24
C) Descomposición	26
D) Maduración	26
E) Postratamiento	27
F) Almacenamiento.....	28
3.3.3. Sistema y tecnologías disponibles.....	31
A. Sistemas estáticos	31
a. Pilas o hileras con ventilación pasiva	31
b. Con ventilación forzada	32
c. En túneles	33
B. Sistemas con agitación o por volteo.....	35
a. En hileras	35
b. En tambores	36
c. En pilas o camas agitadas	37
d. Sistemas verticales.....	38
3.3.4. Consideraciones adicionales en el diseño de la planta	41
3.4. Marco legal	43
4. Materiales y métodos	50
4.1. Toma de muestras.....	50
4.2. Análisis de muestras.....	53
4.3. Información y datos requeridos para el diseño de la planta industrial de compostaje.....	61
4.4. Análisis de la información	62
5. Resultados y discusiones	63
5.1. Resultados del análisis de muestras.....	63

5.2. Recopilación y análisis de la información.....	65
5.2.1. Materiales de input disponibles.....	65
5.2.2. Datos adicionales de relevancia.....	70
5.3. Diseño de la planta industrial de compostaje.....	71
5.3.1. Área de recepción, clasificado y almacenamiento.....	72
5.3.2. Área de pretratamiento.....	77
5.3.3. Área de descomposición y maduración.....	81
5.3.4. Área de postratamiento y almacenamiento.....	93
5.3.5. Instalaciones y zonas adicionales.....	95
5.4. Esquema de la planta.....	95
6. Conclusiones.....	98
7. Bibliografía.....	100
Anexo I.....	104
Anexo II.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Esquema simplificado del proceso de compostaje	15
Figura 2: Evolución del proceso de compostaje diferenciado en etapas, en función de la temperatura.....	18
Tabla 1: Variables y valores ideales para el proceso de compostaje.....	25
Figura 3: Actividades y etapas que conforman el proceso de compostaje ordenadas secuencialmente.....	30
Figura 4: Instalación con varias hileras de ventilación pasiva, mostrando tubos horizontales perforados para facilitar el intercambio gaseoso.....	32
Figura 5: Pila de compostaje con ventilación forzada en un sistema abierto	33
Figura 6: Sistema de compostaje en túneles, mostrando el interior y la vista de varios túneles adyacentes desde el exterior	34
Figura 7: Sistema de compostaje en hilera agitada por máquina volteadora.....	36
Figura 8: Sistema de compostaje en tambores	37
Figura 9: Pila agitada por las paletas de la máquina agitadora en un sistema de camas agitadas	38
Figura 10: Sistema de compostaje vertical desarrollado por la empresa Traco Iberia, S.L.	39
Tabla 2: Cuadro comparativo de los principales sistemas tecnológicos empleados en el proceso de compostaje.....	40
Tabla 3: Leyes y Decretos que reglamentan las diferentes tareas relacionadas al proyecto, y sus implicancias.....	44
Tabla 4: Requisitos sanitarios establecidos para todas las clases de compost contempladas en la normativa	46
Tabla 5: Requisitos de estabilidad y madurez establecidos para todas las clases de compost contempladas en la normativa	47
Tabla 6: Contenidos máximos de materiales inertes permitidos para todas las clases de compost contempladas en la normativa	47
Tabla 7: Parámetros de calidad que debe cumplir un compost para ser clasificado como Compost Clase A o Compost Clase B.....	49
Figura 11: Bagazo residual tomado en su lugar de disposición para muestreo, dentro de la finca de la empresa.....	51
Figura 12: Muestras recolectadas, trasladadas a laboratorio para análisis	52
Figura 13: Muestras identificadas según tipo, listas para análisis.....	52
Figura 14: Cápsula de porcelana ubicada dentro de una mufla para realizar el análisis de cenizas	54
Figura 15: Balones colocados en estufa bajo campana, preparados para la primera etapa del método (digestión)	56
Figura 16: Balones conectados a equipo de destilación para la segunda etapa. Puede observarse que el tubo de salida del equipo está sumergido en la solución presente en el Erlenmeyer.....	57
Figura 17: Fotocolorímetro utilizado para la determinación de Fósforo total, junto a un matraz con una dilución de la solución patrón utilizada para realizar la curva de calibración.....	59
Figura 18: Fotómetro de llama utilizado para la medición de Potasio total	60
Tabla 8: Análisis de los parámetros estudiados (pH, humedad, cenizas, materia orgánica, Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y relación Carbono/Nitrógeno) en las muestras	

de bagazo residual proveniente de una empresa dedicada a la producción de conservas y pulpas de frutas	63
Tabla 9: Análisis microbiológico de las muestras de bagazo residual proveniente de una empresa dedicada a la producción de conservas y pulpas de frutas.....	64
Tabla 10: Características de restos de poda de durazno, medidas en material fresco	65
Tabla 11: Características de orujo de uva	65
Tabla 12: Balance de materiales (Bagazo)	66
Tabla 13: Balance de materiales (restos de poda de frutales).....	67
Tabla 14: Balance de materiales (orujo de uva)	69
Tabla 15: Balance de materiales (restos de poda de vid)	69
Tabla 16: Balance de todos los materiales de input disponibles, a lo largo de un año	70
Tabla 17: Promedio de capacidad de plantas de compostaje industrial existentes en Alemania a mediados de 2020	72
Figura 19: Fotografía de la trituradora Willibald Shark EP 5500 en funcionamiento y detalle de la cinta y boca de alimentación con los respectivos martillos de trituración	73
Figura 20: Fotografía de la pala cargadora Iron 956 y detalle de una pala con dientes tipo horquetas con sistema hidráulico	76
Figura 21: Fotografía de la cribadora Cribus 2800 en funcionamiento	78
Figura 22: Modelo de Bomba de Pistón Simple Efecto D.ESPI.....	80
Figura 23: Ventiladores del sistema de aireación adheridos a la pared posterior de camas de maduración.....	82
Figura 24: Imágenes de los sensores a emplear y lanza empleada junto a sensores de temperatura.....	85
Figura 25: Interior de una cama de maduración en donde se distinguen 3 canaletas en el piso cubiertas de grava.....	87
Tabla 18: Distribución del volumen de material a lo largo del año y en las diferentes camas de maduración	90
Figura 26: Posible disposición de camas de maduración en la planta de compostaje, mostrándose todas las camas en paralelo y en series de 2	92
Figura 27: Esquema sugerido para la planta industrial de compostaje y referencias del esquema.....	96

GLOSARIO Y DEFINICIONES

El objetivo del Glosario es destacar el uso y la aplicación de ciertos términos en relación al diseño, la construcción y la gestión de procesos para una planta industrial de compostaje. Son por un lado términos con fundamento bibliográfico y por el otro una terminología propia para el mejor entendimiento de los procesos y actividades.

- Balance: Comparación entre los ingresos y egresos de un factor (materia, agua, energía) en un sistema o un proceso.
- Cama de maduración para compostaje: Edificio dentro del cual se dispone el material a compostar en algunos sistemas tecnológicos. Puede tener dimensiones variables según la tecnología a aplicar.
- Compuesto buffer o solución reguladora de pH: Disolución que resiste los cambios de pH cuando se adiciona una cantidad módica de una base fuerte o de un ácido fuerte. (Whitten et al., 1998).
- Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Acto administrativo que puede aprobar o desaprobado el proyecto propuesto, o aprobarlo con condicionamientos o modificaciones. Es la conclusión de la Evaluación de Impacto Ambiental. (Ley Provincial 5.961 "Ley de Preservación del Medio Ambiente", 1993).
- Diferencia entre máquina chipeadora y trituradora: Ambas son máquinas que procesan material inicial de forma de producir trozos de menor volumen del mismo material. La diferencia radica en que la chipeadora emplea cuchillas, generando un material cuya superficie de corte ofrece poca superficie de ataque para los microorganismos; mientras que la trituradora emplea martillos para disminuir el tamaño y destrozado el material inicial, cuya superficie destrozada ofrece una gran superficie de ataque para los microorganismos favoreciendo la descomposición.
- Escala industrial: A gran escala o en masa. La producción de un bien ha dejado el estado de producción unitaria, casera y artesanal. Los procesos de producción en grandes volúmenes son planificados, racionalizados y controlados centralmente.
- Material aditivo: Sustancias que favorecen el proceso de formación del compost y que tienen como fin último acelerar y mejorar la calidad del mismo. (Ehrenfried, 1992).
- Material de input: Toda sustancia sólida o líquida utilizada como materia prima para compostar, y que sufre una transformación física, química y descomposición producto de la actividad microbiana durante el proceso. Generalmente no incluye los materiales aditivos.

- Mezcla comercial: Producto a base de compost que presenta otros componentes orgánicos e inorgánicos en diferentes proporciones. Son utilizados para beneficiar la microbiología de la misma mezcla, para mejorar la retención de agua y contenido de nutrientes en el suelo, para la germinación de semillas en viveros y para promover el crecimiento de ciertas especies vegetales en particular, según sea su composición.
- Microorganismos mesófilos: Grupo de microorganismos cuyo rango de temperatura óptima para su desarrollo va desde los 15 a los 40-41 °C.
- Microorganismos termófilos: Grupo de microorganismos cuyo rango de temperatura óptima para su desarrollo va desde los 42-45 a los 65 °C, llegando a 70 °C en algunas especies.
- Peso tara: Es el peso del contenedor o vehículo sin incluir el producto o material que está transportando.
- Pila o hilera: Forma en la que se dispone el material para ser almacenado temporalmente o para llevar a cabo el proceso de compostaje. Puede tener dimensiones variables según la tecnología a aplicar.
- Residuos Sólidos Urbanos: Todos aquellos residuos sólidos originados de la actividad doméstica y comercial en poblaciones urbanas, excluyendo los residuos catalogados como peligrosos. Para el caso de plantas de compostaje que operan con Residuos Sólidos Urbanos como material de input, se excluyen escombros, restos de demolición, vidrios, barrido de calle, etc.; abarcando únicamente la parte orgánica y compostable de los residuos.
- Sector de transformados vegetales: Sector perteneciente a la industria alimentaria dedicado específicamente a la elaboración de productos de origen vegetal.
- Subproducto: Producto secundario o residual de una actividad, generalmente indeseable. En la presente tesis se habla específicamente de subproductos de agroindustria.
- Sustrato: En biología, se conoce como sustrato a la superficie en la que vive y se desarrolla una especie. En la presente tesis, este término se utiliza para hacer referencia a la superficie en la que se desarrollan los microorganismos que, a través de su metabolismo, descomponen la materia orgánica.

LISTADO DE ABREVIATURAS

- CE: Conductividad Eléctrica
- DIA: Declaración de Impacto Ambiental
- DGI: Departamento General de Irrigación
- EIA: Evaluación de Impacto Ambiental
- INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- MO: Materia orgánica
- MS: Materia seca
- NMP: Número más probable
- ppm: partes por millón
- RSU: Residuos Sólidos Urbanos

1. Introducción

Mendoza es una provincia de la República Argentina ubicada en el centro oeste del país, caracterizada por su actividad vitivinícola y su actividad agroindustrial en general, las cuales conforman unas de las bases de su economía. En conjunto, la producción agropecuaria y la industria manufacturera (en donde están incluidas las industrias agroindustriales) contribuyen en un 23% del total del producto bruto geográfico de la provincia. Este aporte varía según cada departamento, llegando a valores superiores al 50% en Luján de Cuyo y Junín (Fernández et al., 2019).

Gracias a su clima, Mendoza es una de las principales provincias productoras de especies frutales y hortalizas del país, varias de las cuales están destinadas a la industria como la ciruela, el durazno y el tomate. Esta actividad trae arraigada la generación de residuos orgánicos de diversa índole, volumen y estacionalidad; que comúnmente no son aprovechados por sus productores, sino que son abandonados en campos abiertos y/o llevados a vertederos a cielo abierto donde son desechados inadecuadamente y finalmente sufren una descomposición generando gases de efecto invernadero provocando un impacto negativo en el ambiente (Epstein, 2011).

Existen varias alternativas para la gestión y el tratamiento de los residuos orgánicos, todas con los objetivos de reducir el volumen de los desechos y transformar los residuos en productos de utilidad, disminuyendo el riesgo de contaminación ambiental y daño a la salud humana y animal. La alternativa a elegir depende y se orienta de las condiciones técnicas y socioeconómicas disponibles, y de la posibilidad y voluntad para la inversión a realizar.

Algunos métodos para el manejo de residuos orgánicos son la incineración, la digestión anaeróbica y el compostaje. Estas 2 últimas alternativas, además de ser métodos eficientes para el manejo de residuos, conllevan la generación de productos de valor como son el biogás y el compost. Además, el proceso de compostaje puede llevarse a cabo en pequeña y gran escala, y permite utilizar una gran variedad de materiales de input. Esta versatilidad hace de este proceso una alternativa interesante para el manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos generados y la generación de nuevos productos comercializables.

El compost es utilizado para mejorar la estructura del suelo, estimular su actividad microbiológica, incrementar su contenido en carbono y añadir nitrógeno y otros nutrientes como oligoelementos al mismo (Giusquiani et al., 1995). Además, el

compostaje transforma y reduce el volumen de residuos orgánicos, permite una agricultura más armónica con la naturaleza, y al ser reincorporado al suelo, el compost secuestra carbono y reduce las emisiones de dióxido de carbono (Epstein, 2011) como también aumenta favorablemente el contenido de materia orgánica en el suelo, pobre en suelos del tipo Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles típicos de la región de Mendoza (Regairaz, 2000).

Es importante aclarar que en esta tesis se considera el proceso de compostaje a escala industrial. No se analizará lo referido al compostaje a nivel casero y artesanal, ya que se busca dar solución a un problema de manejo de residuos producidos en gran cantidad, producto de actividades agroindustriales. También es relevante mencionar que este trabajo de tesis, además del valor investigativo y académico, trata de describir cómo se puede llevar a cabo el dimensionamiento y operación del proceso industrial con materiales de input específicos que tienen volúmenes específicos y con una disponibilidad específica a través del año. Así, el trabajo tiene como objetivo la reutilización y el aprovechamiento de materia orgánica residual, y no busca argumentar la producción de compost de cierta calidad. Por ello, contiene elementos descriptivos e ilustrativos para poder acercar esta intención.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar un plan de construcción y operación de una planta de compostaje de escala industrial bajo condiciones predeterminadas y con material de input proveniente de la actividad agroindustrial, para la valoración y aprovechamiento de los residuos orgánicos.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización y análisis físico-químico de residuos orgánicos generados por una empresa existente en la provincia de Mendoza dedicada a cultivos frutales y la elaboración de mermeladas y conservas de durazno.
- Evaluar la aptitud de los residuos orgánicos analizados de la misma empresa para ser utilizados como materia prima en una planta de compostaje de escala industrial.

- Diseñar una planta industrial de compostaje acorde a las características del tipo de material de input, características geoambientales y de la tecnología e inversión disponible.

3. Marco referencial

3.1. Compost

Podemos definir al compost como el producto que resulta del proceso de compostaje y maduración, constituido por una materia orgánica estabilizada semejante al humus, con poco parecido con la original, puesto que ha sufrido una degradación dando partículas más finas y oscuras. Es un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación al suelo no provoca daños a las plantas y permite su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones (Costa et al., 1991).

Es empleado en agricultura como así también en parques y jardines para mejorar las características del suelo y como fuente de nutrientes para las plantas. A diferencia de los fertilizantes químicos, el compost es más estable en el tiempo por lo que reduce la necesidad y vuelve hasta innecesario emplear otros tipos de fertilizantes (Sánchez Díaz, 2008-2009).

El compost puede ser elaborado en distintas escalas, desde el nivel casero en el que se manejan cantidades pequeñas de bioresiduos y no se requiere utilizar sistemas tecnológicos complejos; hasta procesos a gran escala o industriales que presentan mayores requerimientos, pero también mayores niveles de producción.

3.2. Compostaje

Costa (1991) define compostaje como un proceso biológico controlado de descomposición aeróbica de sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, por medio de la acción de micro y macroorganismos; y cuyo producto final es el compost. Esta definición implica que:

- Es un proceso de descomposición controlado, que debe realizarse bajo condiciones específicas de temperatura, humedad y nivel de oxígeno, entre otros factores.
- Utiliza materia orgánica como sustrato inicial, que actúa como soporte físico y matriz de intercambio, fuente de nutrientes y de agua; todos factores necesarios para la acción natural de micro y macroorganismos (metabolismo microbiano).

En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado de lo anteriormente mencionado. Cabe resaltar que este esquema hace referencia al proceso de compostaje en general, sin diferenciar entre los tipos de compostaje (a nivel casero o a nivel industrial). Más adelante en este trabajo se detalla el proceso de compostaje llevado a cabo en una planta industrial.

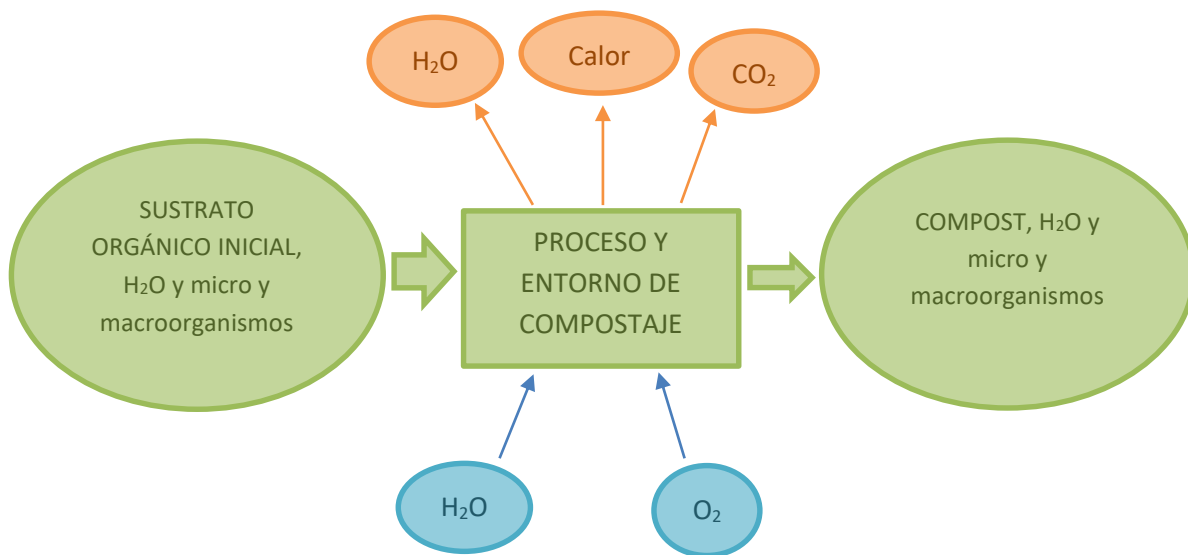


Figura 1: Esquema simplificado del proceso de compostaje.

Fuente: Elaboración propia.

En este proceso, además de lograr la estabilización de la materia orgánica, se reduce en gran medida su volumen. El compost obtenido puede llegar a tener un volumen menor de la mitad que el material de partida (Sánchez Díaz, 2008-2009).

3.2.1. Condiciones del proceso

La efectividad del tratamiento de residuos orgánicos mediante compostaje depende en gran medida de los elementos y procesos tecnológicos aplicados, de la escala y su control. Requiere de unas condiciones apropiadas con la proporción del material de input y su

tamaño de partículas, equilibrio de nutrientes, pH, aireación, temperatura, humedad y relación C/N.

Estas condiciones varían durante el proceso. Por ejemplo, en una primera fase del compostaje, de temperaturas ascendentes de pocas horas de duración, se presentan condiciones mesófilas, relacionadas con la descomposición de los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (azúcares sencillos, aminoácidos, proteínas, etc.) junto con una bajada del pH debida a la producción de ácidos orgánicos.

A continuación, se produce un aumento rápido de la actividad microbiana mesófila y de la temperatura de la masa, con lo que se alcanza una nueva fase denominada termófila. Durante esta fase se inicia la degradación de compuestos más complejos y resistentes a la biodegradación debido a la elevada actividad biooxidativa de los microorganismos termófilos. También en esta etapa se reduce la biodiversidad microbiana, predominando las bacterias y actinomicetos termófilos, a la vez que se aprecia una elevación del pH. Debido a las altas temperaturas alcanzadas y mantenidas por un tiempo establecido durante la fase termófila, se produce la higienización del material orgánico, eliminando agentes patógenos, parásitos y material vegetal con poder germinativo que puedan existir en la mezcla inicial.

Finalmente, el consumo de los materiales biodegradables y la elevada temperatura alcanzada provocan una disminución de la actividad microbiana con el consiguiente descenso de temperatura, alcanzando una nueva fase mesófila y produciéndose la recolonización de la masa por microorganismos mesófilos. Esta fase, también llamada maduración, se caracteriza por la estabilización del material y la polimerización de compuestos, para dar lugar a sustancias con características similares a las del humus (Ros Muñoz, 2012-2014).

En conjunto, este proceso bajo condiciones controladas puede durar de 6 a 12 semanas (Sánchez Díaz, 2008-2009), dependiendo del tipo de material a tratar, del objetivo buscado y de las condiciones en las que ocurre. Para el caso considerado, se apunta a un proceso industrializado, medible y replicable, de entre 9 y 12 semanas de duración.

Existe una gran cantidad de factores que deben controlarse para poder llevar a cabo el proceso adecuadamente y según las cualidades del producto a alcanzar. Estos factores pueden dividirse en 2 categorías dependiendo del momento y la duración en la que deben ser controlados. De esta manera podemos diferenciar factores de seguimiento, es decir, aquellos que deben ser medidos durante todo el proceso y deben regularse en caso de ser necesario para mantenerlos en valores óptimos para el proceso (Jeris et al., 1973); y aquellos que dependen de las características propias del material de input y que deben ser

controlados y/o modificados previamente a iniciar el proceso o durante el pretratamiento. Entre los factores de seguimiento podemos mencionar, mediante la descripción siguiente, la temperatura (A), la humedad (B), la aireación (C), el espacio de aire libre en la masa a compostar (D) y el pH (E). Por otro lado, los que dependen de las características del material de input son el tamaño de las partículas (F), la relación C/N (G), el contenido de nutrientes (H), materia orgánica (I) y la conductividad eléctrica (J). Los valores o intervalos óptimos están influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido (Bueno Márquez et al., 2008). A continuación, se describirán uno a uno los factores antes mencionados.

A) Temperatura

Al comienzo del proceso la temperatura es la misma en toda la mezcla, pero conforme los microorganismos realizan su actividad la masa comienza a elevar su temperatura, producto del calor generado por el metabolismo microbiano. La magnitud de este cambio dependerá también de los demás factores, de la hermeticidad de la pila de compostaje, de las condiciones climáticas, del suministro de oxígeno, de la humedad inicial del material y de las tecnologías empleadas.

Como ya se explicó, existe una relación directa entre la temperatura y el avance del proceso de compostaje. Por ello, la evolución de la temperatura es un indicador decisivo sobre el estado del proceso de degradación. En la Figura 2 se observa gráficamente las etapas del proceso y su duración relativa, con los cambios de temperatura producidos.

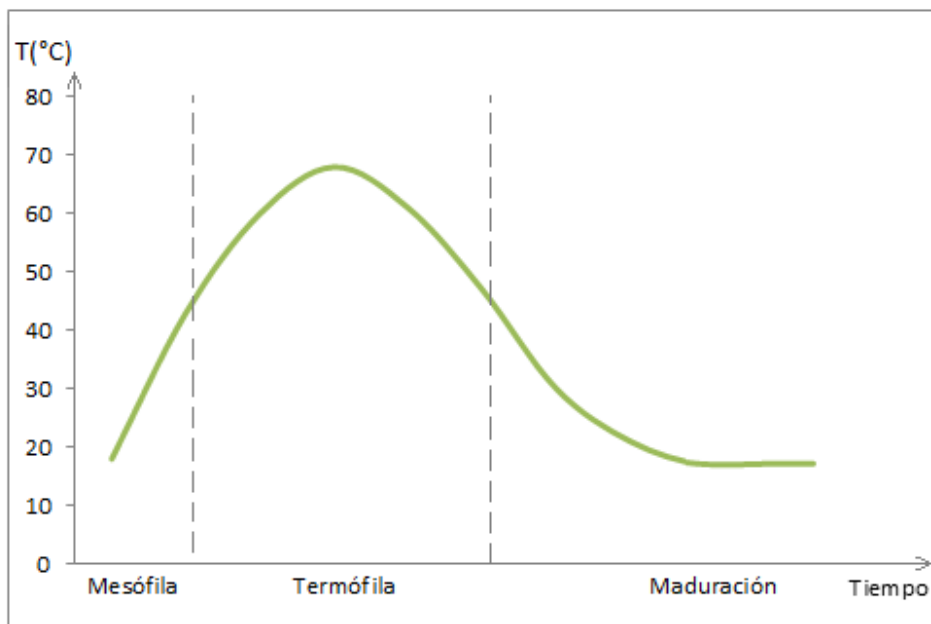


Figura 2: Evolución del proceso de compostaje diferenciado en etapas, en función de la temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva: 15-41 °C para los microorganismos mesófilos y 42-70 °C para los termófilos (Suler et al., 1977). La importancia de controlar este factor se debe a que para lograr un compost higienizado y que ha cumplido las etapas de descomposición y maduración es necesario que cada fase se desarrolle por cierto tiempo determinado, suficiente para que cada grupo de microorganismos logre desarrollarse y descomponer la materia orgánica presente; ya que cada grupo consume diferentes compuestos orgánicos.

B) Humedad

Para que los microorganismos se desarrollen de forma adecuada, es necesaria la presencia de agua, ya que este es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los desechos producidos durante el metabolismo microbiano. Sin embargo, el contenido de humedad en la mezcla de material orgánico no debe ser demasiado alto como para no permitir el ciclado de gases (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) en la masa. Bajos niveles de humedad (menores al 30%) disminuyen la actividad microbiana ralentizando el proceso. Por otro lado, contenidos altos de

humedad (mayores al 70%) no permiten una buena circulación de aire y generan condiciones anaerobias, causando olores desagradables de putrefacción y alterando globalmente el proceso al modificar la microbiología del material (Bueno Márquez et al., 2008).

La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 40-60%. El exceso de humedad puede controlarse adicionando material seco a la mezcla y/o con aireación (Haug, 1993). Este factor está estrechamente vinculado con la aireación, ya que se debe buscar un equilibrio de éstos en los poros que existen entre las partículas. Con un buen manejo de la humedad y la aireación se puede controlar la temperatura.

C) Aireación

Una aireación insuficiente puede provocar el reemplazo de microorganismos aerobios por otros anaerobios, con la generación de malos olores y metano. En contraste, el exceso de ventilación puede llevar al enfriamiento de la pila y a una disminución en el contenido de humedad, disminuyendo la actividad microbiana y frenando el proceso (Bueno Márquez et al., 2008).

En las pilas de compostaje sin ventilación forzada, la aireación ocurre gracias a la convección de aire a través de los espacios de aire libre presentes. Esta difusión es muy limitada en el tiempo excepto en las zonas superficiales de la pila, por lo que estos sistemas presentan valores variables de oxígeno en sus espacios libres a distintas distancias de la superficie: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor a 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinci et al., 2004). Esta variación no se presenta en pilas con ventilación forzada, en donde el contenido de oxígeno es homogéneo en toda la masa. Este tipo de sistemas tiene un costo energético con una inversión adicional mediante la tecnología de aireación, para lograr la circulación de aire en toda la pila.

D) Espacio de aire libre

Este factor está dado por los poros llenos de aire presentes en la pila de compostaje que permiten la circulación de gases. No debe confundirse con la porosidad total, ya que parte de los poros pueden estar llenos de agua y no participarían en la circulación de aire. Es fundamental alcanzar un equilibrio adecuado entre estos dos, a fin de asegurar una correcta aireación y una humedad adecuada.

Jeris y Regan (1973) estudiando diferentes residuos, establecieron que el proceso de compostaje ocurría con mayor rapidez (mayor consumo de oxígeno) cuando el valor del espacio de aire libre era de 30-35%, independientemente de la naturaleza del residuo.

El personal que lleva adelante el proceso de compostaje puede manipular e influir directamente sobre la presencia del espacio libre de aire según el volumen deseado. Esta acción se realiza por medio del tamaño de las partículas de material orgánico a compostar y por ejemplo también mediante la utilización de partículas de material aditivo que no será compostado, pero sí influye beneficiosamente en el proceso: un ejemplo destacado es material triturado hasta un tamaño adecuado de neumáticos de automóviles. Este material no se descompone, pero si permite la circulación de gases. El material aditivo es luego retirado en el proceso de tamizado final del compost; siendo disponible para otras aplicaciones más.

E) pH

El pH, al igual que la temperatura, es un factor que evoluciona durante el proceso, produciéndose una rápida acidificación durante la fase mesófila debido a la formación de compuestos de naturaleza ácida. Luego tiene lugar una subida más lenta y gradual del pH por el consumo de estos ácidos orgánicos por parte de los microorganismos termófilos, finalizando el proceso con un nivel estable y cercano a la neutralidad. La estabilidad observada al final de la descomposición se debe a la formación de compuestos buffer o con efecto tampón (Bueno Márquez et al., 2008).

La importancia de monitorear este factor radica en que un pH muy ácido puede ser indicador de condiciones anaerobias, ya que en ausencia de oxígeno se libera una mayor cantidad de sustancias ácidas disminuyendo aún más el pH. Además, el metabolismo microbiano se inhibe a niveles de pH muy bajo, por lo que es recomendable mantener el pH en valores neutros o ligeramente ácidos (Suler et al., 1977).

La medición del pH se realiza en el laboratorio, sobre el extracto acuoso de muestras tomadas en las pilas (Bueno Márquez et al., 2008). Según los resultados, puede ser necesario elevar o disminuir el pH para mantener el factor en condiciones adecuadas para el proceso. Para ello, pueden incorporarse sustancias ácidas (turbas, corteza de pino, azufre, etc.) o básicas (dolomita, calcita o compost básicos) para disminuir o elevar el pH, respectivamente (Barbaro et al., 2014).

F) Tamaño de partícula

Este factor depende de las características del material de input y debe ser regulado antes de dar inicio al proceso, incorporando materiales de distinta densidad y tamaño, triturándolos para disminuir y homogeneizar su tamaño.

Se debe buscar el tamaño óptimo de partículas a fin de que el proceso se lleve a cabo de la forma más eficiente posible, teniendo en cuenta que cuanto menor sea el tamaño de las partículas, mayor será la relación superficie/volumen de la mezcla y mayor la superficie expuesta para ser aprovechada por los microorganismos. Por otro lado, si el tamaño es muy pequeño, reduce el espacio entre partículas, disminuyendo la circulación de aire y llegando a producir compactación en la parte inferior en casos extremos (Bueno Márquez et al., 2008).

No existe un consenso entre los distintos autores sobre un tamaño óptimo de partículas, pero se hablan de dimensiones entre 1 y 5 cm (Haug, 1993), entre 2 y 5 cm (Kiehl, 1985) o entre 2,5 y 2,7 cm (Tchobanogolus et al., 1994).

G) Relación C/N

Para asegurarse de que el proceso se lleve delante de manera deseada y además lograr un compost de calidad, se requiere de una relación C/N adecuada en la mezcla inicial. Si la relación es mayor a 40, el proceso se ve ralentizado ya que los microorganismos deben descomponer el exceso de Carbono. Por otra parte, una relación muy baja (menor a 20) provoca la pérdida de Nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3), generando malos olores y desperdiciando posibles nutrientes. Una relación C/N adecuada inicialmente se encuentra entre 20 y 40 (Epstein, 2011), pero este valor es modificado durante el proceso y finalizando con valores similares a los valores que presenta el humus, cercana a 10 (Bueno Márquez et al., 2008).

H) Nutrientes

Además de los macronutrientes fundamentales (C, N y P), es necesario que en la mezcla se encuentren también otros oligoelementos que son fundamentales para el crecimiento microbiano, como por ejemplo K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn y, en general presentes en los residuos orgánicos de la agricultura y la industria agroalimenticia. Estos elementos sólo son requeridos en pequeñas dosis por lo que reciben el nombre de micronutrientes, y suelen encontrarse cantidades suficientes en el material de input. Por otra parte, la incorporación de aditivos ricos en estos micronutrientes da como resultado un compost de mayor calidad para su aplicación en cultivos (Epstein, 2011).

I) Materia orgánica

Durante el compostaje, la materia orgánica de la mezcla es transformada y en gran parte mineralizada formando compuestos húmicos más estables que al ser incorporados al suelo liberan gradualmente nutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas. Sin embargo, durante esta transformación también se genera dióxido de carbono lo cual representa una pérdida de materia orgánica. Esto significa que no todo el contenido de materia orgánica inicial será mineralizado, sino que se pierde parte de la masa durante el proceso.

Antes de iniciar el proceso, se debe observar con mayor énfasis y conocer las características físicas y químicas de los materiales de input ya que la velocidad a la cual los microorganismos pueden degradar la materia orgánica depende de ellas (Bueno Márquez et al., 2008).

J) Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica depende principalmente de las características del material de input, en particular de la concentración de sales en el mismo. Además, la conductividad eléctrica tiende a aumentar durante el proceso por la mineralización de compuestos (Bueno Márquez et al., 2008).

Es importante conocer esta característica del compost terminado para determinar en qué dosis puede incorporarse al suelo o en qué dosis puede utilizarse para la preparación de enmiendas y mezclas comerciales. Un compost con una conductividad alta sólo podrá usarse en bajas dosis ya que dosis elevadas podría aumentar la conductividad del suelo, lo cual disminuye la capacidad de las plantas de absorber agua y nutrientes del mismo.

3.3. Planta industrial de compostaje

Una planta industrial de compostaje es una instalación dedicada a la elaboración de compost a escala industrial. Este concepto de proceso es muy diferente del compostaje artesanal a pequeña escala realizado en el hogar y en pequeños negocios familiares agrícolas, ya que requiere de una cantidad mayor de materia prima, costos de inversión, agua, energía y un mayor control del proceso, entre otros factores. Por otro lado, los niveles de producción son mayores y los productos más equilibrados y comercializables, por lo que permiten lograr un beneficio económico al mismo tiempo que se reduce considerablemente la cantidad de residuos orgánicos destinados al abandono o a vertederos.

3.3.1. Diseño de la planta

El diseño de una planta de compostaje es una etapa crucial, ya que debe asegurarse que las instalaciones permitan que el proceso se desarrolle correctamente en todo momento, a fin de garantizar un producto consistente y equilibrado, y de minimizar los impactos (emisiones, lixiviados, polvo) sobre el ambiente como también las posibles molestias (malos olores, ruidos molestos) a las zonas habitadas más próximas a la instalación. Al mismo tiempo se debe buscar una buena relación costo/eficiencia, intentando mantener razonables los costos de construcción, operación y mantenimiento; pero sin afectar la eficiencia del proceso. En este sentido, el costo de construcción y operación dependerán del tipo y cantidad de material de input, de las tecnologías y maquinarias empleadas, así como también del acceso de infraestructura como luz, agua; y de posibles modificaciones que se requieran hacer sobre el terreno, los accesos y de la zona en la que se encuentre la planta.

3.3.2. Etapas del proceso

Para poder llevar a cabo un buen diseño de una planta de compostaje, es imperativo conocer las distintas etapas que forman el proceso y las distintas actividades que se llevan a cabo en cada una. De esa forma, es posible calcular el espacio necesario para que cada etapa se lleve a cabo eficientemente.

El paso previo para llevar a cabo el proceso de compostaje es identificar y caracterizar los posibles materiales de input, y acordar con el proveedor por medio de un contrato el suministro del material ya que de esta condición dependen el dimensionamiento de la planta, la inversión y los productos. En este acuerdo deben quedar establecidos los tipos de residuos, los volúmenes y/o toneladas a recibir, los días, periodicidad (semanalmente, mensualmente) y los medios de entrega (vehículo propio, del proveedor). Estas tareas sólo deben realizarse al iniciar el proyecto o en el caso de que se produzca una modificación en el material de input, ya sea en el tipo, cantidad de material, u otra posible modificación.

Una vez realizado este paso se puede avanzar hacia el proceso de compostaje a escala industrial. Este consiste en una serie de etapas, enumeradas a continuación, que deben realizarse de manera constante durante la operación de la planta.

A) Transporte, recepción y almacenamiento

Este punto engloba todas las operaciones que tienen lugar entre el transporte de los materiales a la planta y el inicio de su pretratamiento, a destacar:

- Transporte y recepción de los materiales destinados a compostaje y aditivos para la refinación de los productos comercializables.
- Pesaje del transporte en báscula para poder registrar la carga al entrar.
- Identificación y registro de entrada de la instalación (vehículo y conductor, día, hora, tipo de material, volumen, peso, origen, etc.); o rechazo del material por no presentar las características especificadas en el acuerdo con el proveedor. En caso de rechazarse el material, este deberá ser retirado por el mismo vehículo que lo trajo.
- Descarga de estos materiales, ya sea en el punto de almacenamiento o en una zona intermedia desde donde se transportarán a la zona de almacenamiento o pretratamiento.
- La eliminación de impropios que pudieran estar mezclados con el material recibido (por ejemplo, escombros).
- Almacenamiento temporal del material a la espera de su pretratamiento.
- Salida del transporte.

Para cada una de estas operaciones se debe definir y asignar la ubicación, maquinaria necesaria y superficie a ocupar, incluyendo la superficie necesaria para permitir que los camiones y maquinaria puedan maniobrar sin inconvenientes.

A la hora de diseñar la zona de descarga y de almacenamiento de materiales es conveniente valorar algunos aspectos como las características físicas del material a tratar (humedad, pastosidad, granulometría, etc.) y la necesidad de su protección frente a contingencias climáticas.

De existir material que requiera trituración, se deberá destinar un sector particular a la recepción y almacenamiento temporal de éste cerca al sector de trituración, para luego llevar el material triturado a la zona de almacenamiento.

B) Pretratamiento (mezcla/homogeneización)

Consiste en mezclar y triturar diferentes materiales de input para obtener un sustrato inicial homogeneizado que garantice valores y condiciones ideales para compostar (Tabla 1), ya que muy pocos materiales compostables presentan por sí solos estos valores (Garrido Ibáñez, 2015). Las cualidades a considerar son:

- Una porosidad que permita la correcta circulación de aire por el interior de la pila, permitiendo un buen nivel de oxígeno y la retención de agua. Puede ser necesario incorporar material estructural que garantice esta porosidad.
- Una humedad, temperatura y pH adecuados para la actividad microbiana.
- Una proporción adecuada de materia orgánica fresca y material estructural (de preferencia orgánico) para que el proceso pueda llevarse a cabo.
- Una correcta relación C/N que minimice las pérdidas de Nitrógeno y que permita que este elemento no sea un factor limitante en el proceso.

Tabla 1: Variables y valores ideales en la mezcla inicial para el proceso de compostaje.

Variable	Rango ideal
Porosidad	30-35%
Oxígeno	mayor al 10%
Humedad	40-60%
pH	6 a 8
Materia orgánica	mayor al 40%
Relación C/N	20 a 40

Fuente: Epstein (2011).

Las acciones a realizar incluyen:

- Cribado de todos los materiales destinados a compostaje, a fin de separar los materiales extraños que puedan estar presentes en la mezcla.
- La trituración de los bioresiduos gruesos, de modo de achicar su tamaño e incrementar la superficie específica y se facilite la actividad microbiana.
- La mezcla de materiales destinados a compostaje, en las proporciones necesarias.
- La humectación, en caso de que el material o la mezcla a compostar no presenta una humedad adecuada.

Para cada una de las actividades que conforman esta etapa se debe concretar la ubicación (al aire libre, a cubierto, en cuarto cerrado y con ventilación, etc.), la cual dependerá de las disponibilidades y de los requerimientos particulares de cada caso. También se debe disponer de la maquinaria necesaria y calcular la superficie a disponer para las tareas.

Las zonas destinadas al pretratamiento deben ser necesariamente pavimentadas, deben presentar una pendiente adecuada para recoger el agua sobrante de la humectación o de

lluvia y deben presentar una red de conducción para la misma (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

C) Descomposición

Consiste en una fase inicial mesófila de pocas horas de duración y una fase termófila controlada, en la que se produce la descomposición biológica de la pila, junto con la reducción de su peso y volumen, llevando a la estabilización e higienización del material; gracias al mantenimiento de un ambiente óptimo para el desarrollo de los microorganismos (Ros Muñoz, 2012-2014).

Al tratarse del período biológicamente más activo, se deben controlar mediante protocolo establecido las condiciones de trabajo para evitar temperaturas excesivas, condiciones anaeróbicas y pérdidas innecesarias de Nitrógeno en forma de NH_3 .

Este proceso incluye obligatoriamente una etapa de higienización para toda la masa de materiales biodegradables en proceso de compostaje. El objetivo, junto con la maduración, es producir un producto higienizado, con un valor comercial.

Para calcular la superficie de la zona de descomposición se debe tener en cuenta el volumen de residuos a tratar diariamente, la duración del proceso de descomposición, la proporción de material estructurante y los espacios necesarios (espacio entre pilas, espacio para maniobras). Además de la superficie, puede ser necesario un sistema de aireación forzada con su respectivo espacio a ocupar para mantener los niveles de oxígeno y de temperatura en rangos adecuados (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

D) Maduración

Es una fase mesófila controlada, caracterizada porque la descomposición de materia orgánica ya no tiene un consumo elevado de oxígeno ni una gran liberación de energía. Por ello, la temperatura de la masa debería ir disminuyendo gradualmente y ser mantenida en el nivel mesófilo.

Debido a la menor actividad microbiana, este período es mucho menos crítico que el precedente y no requiere un control tan exhaustivo de las condiciones de trabajo. Sin embargo, existen situaciones desfavorables que pueden darse durante la maduración, como la existencia de temperaturas muy elevadas que ralenticen o disminuyan la actividad microbiana, que el material se seque de manera excesiva o que se empape por lluvias en caso que las pilas no se manejan en un sistema cerrado; inhibiendo la actividad microbiana y obteniendo materiales menos maduros de lo esperable. Para evitar estas

situaciones es necesario contar con sistemas de ventilación, así como llevar una buena gestión de riego del material.

Para el cálculo de la superficie de la zona de maduración se debe considerar la cantidad/volumen de residuos que provienen de la etapa de descomposición, las operaciones de reagrupación de materiales procedentes de la misma, la capacidad de carga del material por unidad de superficie, la duración de esta etapa y los demás espacios necesarios (desplazamiento de maquinaria, espacio entre pilas en diferente estado de maduración, etc.). Las instalaciones y tecnologías necesarias en esta etapa son iguales a los requeridos en la descomposición (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

Durante el transcurso de la maduración, en la parte final del proceso de compostaje, se generan mayoritariamente compost con sustancias húmicas estables, de características similares al humus del suelo. El compost, una vez finalizado el proceso, ha de cumplir requisitos mínimos, que se pueden concretar en: un aspecto y olor aceptables, una higienización correcta, un bajo nivel de impurezas y contaminantes, un buen nivel de componentes agrónomicamente útiles y una cierta constancia de características (García Céspedes et al., 2014). Para lograr estos requisitos puede ser necesario un período de postmaduración que, si bien no es necesario que sea controlado, requiere un espacio adicional en el terreno para llevarse a cabo y almacenar el material previo a su postratamiento.

Butler et al. (2001) expresan que no existe una clasificación global del compost, pero de forma general se pueden encontrar tres clases:

- Compost Clase A.
- Compost Clase B.
- Compost inmaduro o subestándar.

La clasificación de un compost en un grupo u otro dependerá del cumplimiento de ciertas exigencias establecidas según las normas de calidad de cada país. Las exigencias de clasificación empleadas en Argentina se encuentran descriptas en el Marco Legal de este trabajo.

E) Postratamiento

El postratamiento incluye un conjunto de operaciones que deben llevarse a cabo una vez finalizado el proceso de maduración, como son:

- Recuperar el material estructurante por medio de tamizado, en caso de que la mezcla aún lo contenga y quiera ser recuperada.

- Obtener de un compost de características físicas o químicas determinadas.
- Preparar mezclas especiales para su comercialización, incluyendo la posible incorporación de aditivos para mejorar la calidad del producto como fertilizante, abono y/o tierra preparada.
- Ofrecer unas determinadas presentaciones del producto, en caso que se desee comercializar.
- Embolsado y empaque de productos.

Se utiliza cierta maquinaria para realizar diferentes tareas, como son cribadoras, mezcladoras (si se van a realizar mezclas comerciales), equipos de envasado (tolvas dosificadoras, ensacadoras, equipo de llenado a granel). A la hora de elegir estos equipos debe tenerse en cuenta la capacidad de la planta, la versatilidad del equipo para poderlo utilizar combinadamente, la facilidad de su mantenimiento y limpieza (en caso de que se manipulen alternativamente materiales diferentes) y los productos que se desean obtener.

Debe existir, además de espacio para almacenar el producto previo a su postratamiento, un espacio para el almacenamiento del material estructurante, en caso de que este deba ser reutilizado. De la misma forma, debe disponerse de un espacio de almacenamiento de residuos e impropios que puedan separarse a lo largo del todo el proceso; para luego ser retirados por un camión de basura de la municipalidad.

Un aspecto muy importante que debe considerarse del postratamiento es el hecho de que muchos de los materiales manipulados presentan una granulometría muy fina y por ello son fácilmente arrastrados por el viento (particularmente importante por el Viento Zonda en Mendoza), por lo que resulta necesario tomar ciertas medidas correctoras, como disponer de barreras físicas y sistemas contra el polvo para asegurar la salud laboral (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

F) Almacenamiento

Se denomina almacenamiento de compost al período comprendido entre el final de las etapas productivas y su salida de la instalación.

Se necesita un espacio y tiempo mínimo de almacenamiento para poder dar respuesta a las siguientes situaciones:

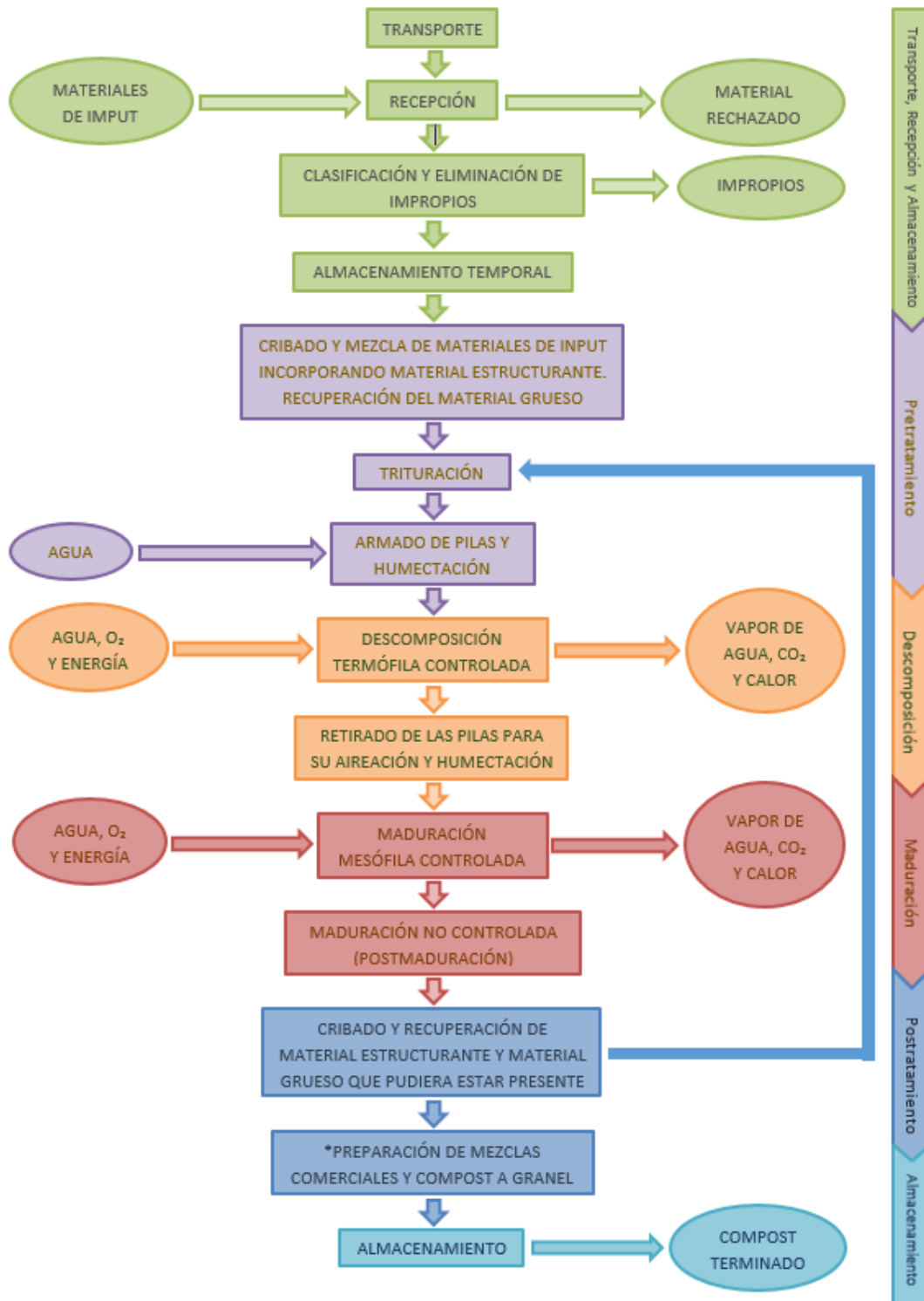
- La estacionalidad en la demanda.
- Las emergencias logísticas.
- La trazabilidad de los productos elaborados.
- Homogeneidad de los productos en el tiempo.

- El control o la reducción de la incidencia del polvo y su dispersión.

No es necesario confinar el almacenamiento en un espacio cerrado ya que los productos que llegan al almacén están estabilizados y no existe motivo para que generen malos olores.

El almacén puede estar cubierto o no, dependiendo de si la lluvia puede afectar la calidad del producto, de si este está envasado o no, de si se comercializa a granel, en peso o en volumen, etc.; pero de no estar envasados estos pueden ser arrastrados por el viento por lo que deben establecerse medidas correctoras como barreras físicas. Además, debe considerarse la necesidad de varios almacenes o de un almacén compartimentado, en caso de existir diferentes productos a almacenar. Por último, hay que disponer de un espacio destinado a la carga de vehículos que transportan los productos al cliente (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

En la Figura 3 se encuentran las principales actividades correspondientes a cada etapa del proceso de compostaje. Si bien este procedimiento es común a la mayoría de procesos, algunas tareas pueden variar o no estar incluidas según los objetivos y sistemas empleados en cada caso.



(*Procesos opcionales cuya realización dependerá del objetivo deseado)

Figura 3: Actividades y etapas que conforman el proceso de compostaje ordenadas secuencialmente.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Sistema y tecnologías disponibles

Existen diversos sistemas empleados para llevar a cabo el proceso, diferenciados principalmente por la necesidad de mezclar o no el material y el tipo de aireación. A partir de estos criterios, Epstein (2011) categoriza los principales sistemas, descritos a continuación:

- A. Sistemas estáticos
 - a. Pilas o hileras con ventilación pasiva
 - b. Con ventilación forzada – pilas estáticas
 - c. En túneles
- B. Sistemas con agitación o por volteo
 - a. En hileras
 - b. En tambores
 - c. En pilas o camas agitadas
 - d. Verticales

A. Sistemas estáticos

Este tipo de sistemas tienen la característica de que el material no se mueve ni se voltea para su aireación, sino que se recurre a otros métodos para el intercambio gaseoso que van desde armar pilas de poca amplitud o ancho de base para permitir la difusión de oxígeno por convección en todo el material, hasta el empleo de un sistema de tuberías conectadas a ventiladores o turbinas para forzar la aireación.

a. Pilas o hileras con ventilación pasiva

Este método aprovecha el intercambio por convección del aire para el intercambio gaseoso, para controlar los niveles de temperatura y lograr la estabilización del material. Este intercambio es limitado y la difusión de oxígeno disminuye conforme aumenta la profundidad de la pila.

Para incrementar el intercambio gaseoso se suelen utilizar tubos perforados (y hasta mangueras de drenaje) abiertos al ambiente colocados debajo y dentro del cuerpo de las hileras de material (Figura 4). El aumento de temperatura en la pila, consecuencia del metabolismo de los microorganismos, provoca el movimiento de aire desde el interior de la pila verticalmente hacia la superficie, lo que a su vez provoca la succión y el suministro de aire fresco desde los tubos hacia el material, incorporando oxígeno. Este efecto puede ser apoyado por caños perforados y con diámetros considerables para colocarlos

verticalmente hasta la base, en el centro de las hileras. El caño actúa como una chimenea y puede mejorar considerablemente el objetivo de aireación. Este sistema es muy económico, pero sólo es útil para trabajar con poco material en relación a los otros disponibles (Epstein, 2011).



Figura 4: Instalación con varias hileras de ventilación pasiva, mostrando tubos horizontales perforados para facilitar el intercambio gaseoso.

Fuente: Sánchez (2006).

b. Con ventilación forzada

Del mismo modo que en las hileras con ventilación pasiva, se utilizan tubos para la ventilación, con la diferencia de que en este caso se utiliza energía aplicando turbinas o ventiladores eléctricos para expulsar el aire desde los tubos hacia la pila, o succionar el aire desde el interior de la pila hacia los tubos. Esto permite un mayor control sobre el intercambio gaseoso y su volumen, y posibilita trabajar con pilas de mayor tamaño que aquellas con ventilación pasiva. La principal desventaja es que requiere energía para la aireación, por lo que supone un costo adicional durante el proceso. Además, no cuenta con un control de posibles malos olores como otros sistemas (a excepción de los sistemas cerrados).

El material a compostar puede disponerse formando hileras abiertas al ambiente (Figura 5) o cubiertas en sistemas semi abiertos con techo o con paredes; o en forma de hileras cerradas. Los sistemas semi abiertos o cerrados ofrecen protección a las hileras frente a las condiciones climáticas de la región (lluvias, temperaturas, vientos fuertes, elevada

insolación) y son un método de controlar los malos olores que puedan llegar a generarse en el proceso. Por otro lado, estos sistemas implican mayores costos de construcción.



Figura 5: Pila de compostaje con ventilación forzada en un sistema abierto.

Fuente: Sánchez (2006).

c. En túneles

Es empleado en zonas donde la generación de malos olores puede ser un gran inconveniente. Se caracteriza por ser un proceso cerrado, en el que la materia orgánica se introduce en un primer momento y permanece en el túnel durante un tiempo determinado que depende del tipo de residuo utilizado como material de input y del resultado buscado. Los gases y vapores generados se purifican mediante biofiltros en una segunda etapa del proceso, de manera de evitar la liberación de posibles malos olores que se generen. Los túneles no se llenan hasta el techo, sino que se deja un espacio vacío de al menos 1,5 m por encima de la pila para colocar el sistema de rociado de agua y la captación de los gases del túnel (Garrido Ibáñez, 2015).



Figura 6: Sistema de compostaje en túneles, mostrando el interior [A y B] y la vista de varios túneles adyacentes desde el exterior [C].

Fuente: Garrido Ibáñez (2015) [A y C]. Recovery Worldwide [B].

B. Sistemas con agitación o por volteo

En estos sistemas se realiza la agitación del material o se volteo mediante el uso de maquinarias como palas cargadoras, volteadoras y agitadoras; con el fin de oxigenar la pila, controlar su temperatura y su humedad.

a. En hileras

Se coloca el material sobre piso de tierra o concreto formando hileras, que luego son movidas por maquinaria, volteando o fresando y hasta trasladando el material desde su sitio al lado de su ubicación original para oxigenar y humedecer las pilas. La disposición de las hileras de compostaje debe de ser en paralelo a la dirección de la pendiente de la zona de compostaje, para permitir que los residuos líquidos fluyan entre las hileras, y no a través de ellas (Sánchez Díaz, 2008-2009).

Este método permite trabajar con grandes cantidades de material, pero con la desventaja de que se produce mayor levantamiento de polvo y molestias por posibles malos olores ya que está expuesto a la intemperie. Además, requiere voltear periódicamente el material para que no se generen condiciones anaeróbicas. Una gran superficie es necesaria para colocar el material y para permitir la circulación de la maquinaria (Figura 7).



Figura 7: Sistema de compostaje en hilera agitada por máquina volteadora.

Fuente: Garrido Ibáñez (2015) [A] y Van der Wurff (2016) [B].

b. En tambores

Tiene lugar en un tambor generalmente metálico, de rotación lenta, que puede trabajar en continuo o por cargas (Figura 8). El residuo orgánico se deposita directamente al alimentador de tambores de compostaje. La principal ventaja es que las condiciones del ambiente en el recipiente son absolutamente controlables y por efecto se consigue un cierto grado de mezcla y homogeneiza los residuos, lo que se traduce en menor tiempo de descomposición comparado con otros tipos de reactores (Garrido Ibáñez, 2015). Se aplica en general con el objetivo de higienizar la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos que, después de esta etapa se pueden colocar en los rellenos sanitarios. Además, no se requieren muchas modificaciones en el terreno.



Figura 8: Sistema de compostaje en tambores.

Fuente: Garrido Ibáñez (2015).

c. En pilas o camas agitadas

Es un método cerrado en pilas o hileras que usa máquinas o un sistema de paletas para agitar el material (Figura 9), y también requiere un sistema de ventilación que fuerce el intercambio gaseoso. Se trabaja en un circuito abierto donde al principio de la pila la máquina agitadora recibe diariamente material y por medio del movimiento rotativo generado también transporta la masa hacia el final de la pila. El material descargado al final de la pila ha pasado por un proceso de estabilización y puede ser depositado en un relleno sanitario en el caso de que se trate de bioresiduos de residuos sólidos urbanos. Si lo que se desea es la producción de un compost comercializable, entonces el material debe ser transportado a una zona de maduración donde continuará su descomposición.

Las principales ventajas de este método es que diariamente se descarga material y gracias a su sistema de agitación regular permite un mayor control sobre la temperatura, humedad y los niveles de oxígeno. Las desventajas son el mayor consumo energético y la necesidad de someter el material descargado a un proceso adicional de maduración para poder lograr la calidad de compost comercializable.



Figura 9: Pila agitada por las paletas de la máquina agitadora en un sistema de camas agitadas.

Fuente: Water Technology.

d. Sistemas verticales

Es un sistema cerrado en continuo, en el que el proceso se desarrolla dentro de cámaras modulares y aisladas térmicamente (Figura 10). El material compostable se introduce por la parte superior de la cámara y el producto se extrae por la parte inferior diariamente. El reactor tiene un sistema de aireación forzada, en el que el aire penetra por la parte inferior del sistema, y se canaliza hasta la parte superior de la cámara, donde existe un ventilador. El control de olores se produce a través de un biofiltro, y no se producen lixiviados (Sánchez Díaz, 2008-2009).

Presenta el inconveniente de una posible compactación del material ubicado en las pilas inferiores. Además, el producto resultante no presenta las cualidades de un compost sino de producto estabilizado, por lo que debería luego llevarse a cabo una etapa adicional de maduración y afinado. Los periodos de retención normales de los residuos dentro de la unidad de compostaje son de entre 7 y 14 días, con un periodo de estabilización del compost producido de unas 4 semanas.

Su principal ventaja es la eficiencia en el uso de espacio, por lo que es empleado en proyectos en los que no se dispone de mucho espacio. También se suele usar para procesar residuos orgánicos municipales e industriales de pequeño y mediano tamaño

(Sánchez Díaz, 2008-2009). Por último, permite una gran facilidad para la ampliación del sistema, en caso de ser necesario, incrementando el número de módulos empleados.



Figura 10: Sistema de compostaje vertical desarrollado por la empresa Traco Iberia, S.L.

Fuente: Traco Iberia, S.L.

En la Tabla 2 se muestran resumidos los sistemas de compostaje mencionados, con sus principales características y particularidades.

Tabla 2: Cuadro comparativo de los principales sistemas tecnológicos empleados en el proceso de compostaje.

Sistema	Tipo de sistema		Ventilación			Volumen a tratar		Control de Posibles Malos olores	Particularidad
	Estáticos	Agitación o Volteo	No requiere energía	Energía eléctrica	Combustible	Pequeños volúmenes	Grandes volúmenes		
Hileras con ventilación pasiva	X		X			X			Más económico
Con ventilación forzada - pilas estáticas	X			X			X		Mayor control sobre el Intercambio Gaseoso, mayores superficies de terreno
En túneles	X			X			X	X	Utiliza biofiltros para purificar los gases que puedan generarse
En hileras		X			X		X		Mayor levantamiento de polvo y malos olores, requiere grandes extensiones de terreno
En tambores		X		X		X			Mayor homogenización, no se requieren muchas modificaciones en el terreno
En pilas o camas agitadas		X		X			X	X	Generación diaria de producto, mayor costo energético
Verticales		X		X		X		X	Uso eficiente de la superficie disponible

Fuente: Elaboración propia.

No existe un sistema que sea mejor que los demás. La selección de un sistema y de las tecnologías a utilizar en la planta depende de varios factores:

- Costo y capacidad de inversión del cliente.
- Tipo y volumen de residuos a tratar.
- Ubicación, en particular si se ubica cerca de zonas residenciales o comerciales.
- Condiciones climáticas. Esto afecta principalmente las etapas de postratamiento y almacenamiento. Debido a que el producto terminado presenta una granulometría fina, es fácilmente transportado por el viento. En Mendoza es especialmente importante que tanto la descomposición como el almacenamiento se lleven a cabo cubiertos por la alta insolación o que el producto almacenado se pueda tapar rápidamente en caso de ser necesario, debido a la ocurrencia del fenómeno de Viento Zonda.
- Disponibilidad de energía. No todos los sistemas y maquinarias requieren la misma cantidad energía para funcionar (Existen por ejemplo trituradoras y cribadoras con motores a combustión y eléctricos).
- Objetivo buscado. Si lo que se busca es la estabilización del material o la generación de un producto para consumo propio, no es necesario realizar un

refinado fino o preparar la presentación del producto. Si se desea comercializar el producto se deberá buscar una mejor calidad en el mismo, lo que trae consigo un mayor costo de producción.

3.3.4. Consideraciones adicionales en el diseño de la planta

Además de comprender las distintas etapas del proceso y los distintos sistemas tecnológicos para llevarlo a cabo, es necesario tener en cuenta otras consideraciones que, si bien no afectan el proceso de manera directa, son relevantes para que la planta opere sin complicaciones. A la hora de planificar una planta de compostaje, es conveniente tener en cuenta estos detalles para evitar inconvenientes a futuro.

- **Consideraciones en la ubicación**

Es recomendable que las instalaciones de compostaje se ubiquen alejadas de zonas habitadas, de cauces de ríos, de zonas inundables y con nivel freático muy superficial.

Debe considerarse también las características topográficas del terreno. Puede ser necesario realizar modificaciones sobre el terreno, como nivelación, movimiento de suelos y generación de pendientes (pendiente ideal es de 2% por efectos de escorrentía de agua de lluvia). También deben analizarse la proximidad de redes de suministro de agua o pozo propio, electricidad, alcantarillado, las vías de acceso y, en particular, la distancia a las fuentes de material de input y a los comercios en los que se piensa actuar; a fin de reducir costos de transporte.

- **Consideraciones en la elaboración del plano**

Para llevar a cabo la elaboración del plano de la planta, es fundamental haber realizado el balance de materiales, ya que para poder dimensionar las zonas en las que se llevarán a cabo las etapas del proceso se debe conocer la cantidad y volumen de material presente. Sin embargo, es importante tener en cuenta otras zonas e instalaciones que no forman parte del proceso pero que son necesarias en la operación. El plano de la planta debe incluir:

- Zona de seguridad perimetral y cercado que delimite toda la planta.
- Dimensionamiento de la planta, para lo cual debe tenerse en cuenta el tipo y volumen de residuo a tratar, tiempo necesario para la obtención de compost, sistema tecnológico utilizado, la maquinaria disponible, sistemas de canalización de posibles lixiviados y la ubicación y dimensionamiento para el supuesto tratamiento de los mismos, sistemas de control de proceso, y todas las zonas o

sectores destinados a etapas particulares del proceso como una zona de procesamiento y almacenamiento, tanto de productos como de residuos generados; zona de limpieza, espacios de circulación para la maquinaria y de camiones de carga y descarga etc.

- Instalaciones complementarias, como edificios de servicio a los trabajadores, oficina, espacio social, taller, estacionamiento, báscula industrial y galpones para guardar la maquinaria.
- Conexiones necesarias de energía y agua. El uso de aspersores de agua como método de control de humedad para sistemas estáticos de pila pueden además reducir la emisión de malos olores y polvo. También puede ser necesario humedecer los caminos dentro del terreno de la planta, a fin de reducir levantamiento de polvo; y como método de control de incendios. Es aconsejable disponer de una cisterna de agua con bomba de caudal, a fin de almacenar agua y tenerla a disposición cuando se desee, y para permitir el seguimiento del volumen utilizado.

Además, durante el diseño es necesario tener en cuenta otros aspectos, como son:

- Vías de acceso

Es uno de los aspectos que generalmente no se tienen en cuenta, pero que pueden afectar significativamente la gestión de la instalación y la posible percepción de molestia de los vecinos, ya sea por ruido o por levantamiento de polvo. Puede ser necesaria la pavimentación de un camino de tierra preexistente para evitar estos problemas.

En este aspecto hay que considerar la capacidad de la vía para vehículos de gran tonelaje, la frecuencia de ingreso de vehículos a las instalaciones y si la vía atraviesa poblaciones.

- Relación con la comunidad

Aunque las plantas de compostaje con sistemas de elaboración controlados y cerrados, sin emplear RSU (Residuos Sólidos Urbanos) como material de input no generan malos olores; en el rubro de empresas de construcción de las plantas circula el dicho “La gente huele con los ojos”. Esto se refiere a que el simple hecho de la propuesta del proyecto de una planta de compostaje ya “genera malos olores”. Por tal razón es recomendable integrar a los vecinos y a la comunidad en general en el proceso de diseño, de modo de minimizar posibles problemas a futuro, en particular, quejas por supuesto mal olor originado en la planta o por sospecha de uso de residuos peligrosos. Esto puede lograrse mediante charlas informativas dirigidas al público en general explicando el programa a seguir, el tipo de materia prima y los múltiples beneficios del compostaje, como reducir la producción de

residuos y de gases de efecto invernadero (Epstein, 2011). La población cercana puede reaccionar positivamente ante la propuesta mediante un programa de cursos y capacitación sobre compostaje en el hogar.

Este tipo de problemas suele estar más asociado con plantas que se encuentran en zonas más urbanizadas o que utilizan otro tipo de materiales de input, como RSU. Sin embargo, estas charlas no solo pueden evitar problemas a futuro, sino que también mejoran la imagen de la empresa al lograr una relación más transparente con los vecinos y la comunidad; y al describir las características del producto y sus múltiples beneficios puede atraer el interés de los vecinos, un beneficio adicional si se busca comercializar el producto en la zona.

- Instalaciones de seguridad

Al trabajar con maquinarias y tecnologías costosas, es importante contar con instalaciones y sistemas de seguridad para evitar posibles robos y asaltos. Dentro de los métodos de seguridad se incluyen el cercado de la planta, sistemas de alarmas y cámaras de seguridad, iluminación adecuada en toda la planta y personal de seguridad que patrulle las instalaciones.

- Visibilidad e imagen

La visibilidad puede influir en la percepción de la gente. Por ejemplo, el vapor producido durante el proceso de compostaje puede llevar a los vecinos a pensar que se está liberando un gas contaminante. Esto puede evitarse empleando barreras forestales o de otro tipo. Estas barreras forestales pueden regarse empleando los lixiviados canalizados que puedan generarse en la planta. La limpieza también es un punto importante, ya que una buena limpieza sugiere una buena administración. Por último, la incorporación de zonas verdes, una huerta orgánica demostrativa y ornamental y algunos arbustos o árboles puede mejorar la percepción del público.

3.4. Marco legal

Antes de iniciar cualquier tarea es indispensable considerar las leyes y normas vigentes relacionadas a la actividad, para asegurarse de cumplirlas durante la planificación, desarrollo y operación del proyecto desde un comienzo; y así evitar pérdidas de tiempo y dinero en la corrección de posibles inconvenientes legales que no hayan sido considerados. En la Tabla 3 se encuentran enumeradas las leyes vigentes relacionadas al proyecto y sus posibles implicancias en el mismo.

Tabla 3: Leyes y Decretos que reglamentan las diferentes tareas relacionadas al proyecto, y sus implicancias.

Ley	Implicancia en el proyecto
Decreto Reglamentario N° 4.830 de la Ley Nacional 20.466 de Fertilizantes y Abonos (1973)	Establece que toda persona física o jurídica que fabrique, importe, exporte, fraccione o distribuya fertilizantes o enmiendas, incluyendo estiércol y compost sometidos a manipulación industrial, debe inscribirse en un Registro Nacional llevado por la Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería.
Artículo 41 Constitución Nacional (1994)	El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.
Ley Provincial 5.961 "Ley de Preservación del Medio Ambiente" (1993)	<p>Todos los proyectos de obras o actividades capaces de modificar, directa o indirectamente el ambiente del territorio provincial, deberán obtener una Declaración de Impacto Ambiental (DIA).</p> <p>La DIA únicamente será expedida cuando se hayan realizado todos los pasos que integran la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), enumerados en la misma ley.</p>
Ley Nacional 25.612 "Ley de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios" (2002)	<p>Minimizar los riesgos potenciales de los residuos en todas las etapas de la gestión integral.</p> <p>Reducir la cantidad de los residuos que se generan.</p> <p>Promover la utilización y transferencia de tecnologías limpias y adecuadas para la preservación ambiental y el desarrollo sustentable.</p> <p>Promover la cesación de los vertidos riesgosos para el ambiente.</p>
Ley Nacional 25.675 "Ley General de Ambiente" (2002)	<p>Asegurar la conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales, tanto naturales como culturales, en la realización de las diferentes actividades antrópicas.</p> <p>Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo.</p>
Ley Nacional 25.688 "Ley de Régimen de Gestión Ambiental de las Aguas" (2002)	Para utilizar las aguas se deberá contar con el permiso de la autoridad competente. En Mendoza esta autoridad es el Departamento General de Irrigación (DGI).

Fuente: Información Legislativa y Documental (InfoLEG), Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación, Argentina.

Como se menciona en la Tabla 3 según la Ley de Preservación del Medio Ambiente (1993), todos los proyectos de obras o actividades capaces de modificar, directa o indirectamente el ambiente del territorio provincial, deberán obtener una DIA.

A los efectos de obtener la DIA, el proponente de las obras o proyectos deberá realizar el procedimiento de **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)**, el cual está integrado por las siguientes etapas:

- a) Presentar ante el Ministerio de Medio Ambiente, urbanismo y vivienda o el municipio jurisdiccionalmente competente, la correspondiente Manifestación General de Impacto Ambiental, conteniendo los requisitos que establezca la reglamentación.
- b) Dar una audiencia pública para todas las partes interesadas y/o afectadas por el proyecto; la cual será convocada por el Ministerio de Medio Ambiente, urbanismo y vivienda, o por el municipio correspondiente.
- c) Presentar ante el Ministerio de Medio Ambiente, urbanismo y vivienda o el municipio correspondiente, un dictamen técnico realizado por personas reconocidamente idóneas en el tema de que se trata o de universidades o centros de investigación; respecto de las Manifestaciones de Impacto Ambiental presentadas.
- d) Cumplidas estas etapas, la autoridad de aplicación dictará la DIA, en la que podrá:
 - Autorizar la realización de la obra o actividad en los términos y condiciones señalados en las manifestaciones presentadas.
 - Autorizar la realización de la obra o actividad proyectada, pero condicionada al cumplimiento de las instrucciones modificatorias de la obra o actividad.
 - Negar dicha autorización.

Además de las leyes mencionadas, existe una normativa que particularmente regula las actividades relacionadas al compost. **El Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost**, aprobado por Resolución Conjunta 1/2019 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental de la República Argentina, establece los requisitos y clasificaciones de compost, análisis y registro; y los límites y parámetros de calidad del producto.

Todas las clases de compost deben cumplir con los requisitos sanitarios, de estabilidad y madurez, y de contenido máximo de materiales inertes permitidos que se muestran a continuación:

Tabla 4: Requisitos sanitarios establecidos para todas las clases de compost contempladas en la normativa.

Parámetro	Proceso	Valor límite
I. Coliformes fecales	Sistemas abiertos ≥ 55 °C, 25 días con al menos 5 volteos	< 1000 NMP por gramo de compost en base seca
II. <i>Salmonella sp.</i>	≥ 55 °C, 3 días consecutivos con cobertura que asegure temperatura en la superficie de la pila	< 1 NMP/4 gramos de compost en base seca
III. <i>Ascaris lumbricoides</i>	Sistemas cerrados ≥ 60 °C, 7 días	< 1 huevo viable de <i>Ascaris</i> en 4 gramos de compost en base seca

NMP: Número más probable

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, aprobado por Resolución Conjunta 1/2019 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental de la República Argentina.

Tabla 5: Requisitos de estabilidad y madurez establecidos para todas las clases de compost contempladas en la normativa.

Indicadores de estabilidad (Deberán medirse, al menos, un indicador de cada grupo)		
INDICADOR		VALOR
Grupo I	C soluble en agua (CSA)	< 10 g/kg
	CSA/N total	≤ 0,7
Grupo II	Producción de CO ₂	< 120 mg de CO ₂ /kg.h
	Test Solvita	≥ 5 mg CO ₂
	Índice Respirométrico Estático (IRE)	≤ 0,5 mg O ₂ /g MO.h
	Índice Respirométrico Dinámico (IRD)	≤ 1 mg O ₂ /g MO.h
Indicadores de madurez (Deberán medirse, al menos, dos indicadores, uno de los cuales debe ser el índice de germinación)		
Amonio (N-NH ₄ ⁺)		< 400 mg N-NH ₄ ⁺ /kg
Relación amonio:nitrato (N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃)		< 0,3
Índice de germinación utilizando dos especies		> 60% (ryegrass perenne o anual, tomate, rabanito, cebada, trigo, lechuga o berro (<i>Lepidium sativum</i>))
Test Solvita		≥ 4 para NH ₃

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, aprobado por Resolución Conjunta 1/2019 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental de la República Argentina.

Tabla 6: Contenidos máximos de materiales inertes permitidos para todas las clases de compost contempladas en la normativa.

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (%MS)
Plásticos flexibles y/o películas	> 4	≤ 5
Piedras y/o terrones de tierra	> 4	≤ 5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	≥ 2	≤ 0,5

MS: Materia seca

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, aprobado por Resolución Conjunta 1/2019 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental de la República Argentina.

Adicionalmente a lo visible en la Tabla 6, la normativa establece que ninguna clase de compost contemplada en la normativa debe presentar impropios de tamaño mayor a los 16 mm.

Según los parámetros de calidad del producto, se categoriza el producto del proceso en 2 grupos: Clase A y Clase B.

Compost Clase A: producto que cumple con los requisitos y límites establecidos para Clase A. Este producto no presenta restricciones de uso ni aplicación.

Compost Clase B: producto que cumple con los requisitos y límites establecidos para Clase B. Este producto presenta restricciones en su aplicación, debiéndose contemplar previa su aplicación la dosis anual de carga y la carga máxima admitida de elementos potencialmente tóxicos.

En la Tabla 7 se muestran los valores de parámetros de calidad que debe cumplir el producto para cumplir con los requisitos de cada clase.

Tabla 7: Parámetros de calidad que debe cumplir un compost para ser clasificado como Compost Clase A o Compost Clase B.

Parámetros	Compost Clase A	Compost Clase B
pH	5,0 - 8,5	
Olores	No debe presentar olores desagradables	
Humedad (h%)	< 60	
Conductividad Eléctrica (CE dS/m)	< 4	< 6
Relación C/N (%)	≤ 20	< 30
Materia Orgánica (MO%)	≥ 20	
Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg MS)		
Cadmio	1,5	3
Cobre	150	450
Cromo total	100	270
Mercurio	0,7	5
Níquel	30	120
Plomo	100	150
Zinc	300	1100
Arsénico	15	30

MS: Materia seca

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, aprobado por Resolución Conjunta 1/2019 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental de la República Argentina.

Si al finalizar el proceso, el producto no cumple con los requisitos establecidos para entrar en las categorías mencionadas, será clasificado como compost inmaduro o subestándar. Este producto se define como materia orgánica que ha pasado por las etapas mesófilas y termófilas del proceso de compostaje, donde ha sufrido una descomposición inicial, pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento o maduración necesarias para obtener un compost Clase A o B (García Céspedes et al., 2014).

4. Materiales y métodos

4.1. Toma de muestras

El muestreo se realizó en un terreno de la empresa ubicado dentro de su finca, en la zona de Agrelo del departamento de Luján de Cuyo de la provincia de Mendoza. El material de input considerado y disponible para el proceso de compostaje incluye diversos subproductos como el bagazo producido durante la elaboración de las conservas y los restos de poda de árboles frutales propios de una empresa existente en el rubro en la provincia de Mendoza; generados en sus instalaciones industriales y su finca de cultivos. También se incluyen orujo de uva y restos de poda de vid, provenientes de una bodega cercana. Sin embargo, únicamente el bagazo fue considerado durante la toma de muestras, ya que las características de los otros residuos son conocidas y no varían respecto de otros residuos del mismo tipo. Estos datos fueron recopilados de análisis preexistentes y son mencionados más adelante en este trabajo.

En el muestreo se tomó en consideración muestras de bagazo residual de frutas de la producción de conservas de la empresa de referencia, durante la época de producción (desde Enero hasta Abril) para la caracterización física, química y biológica de las mismas con el objetivo de determinar su aptitud como material de input para el proceso de compostaje. Se trata de un residuo líquido de consistencia pastosa, subproducto del pelado químico de las frutas industrializadas por la empresa, principalmente durazno y pera; presentando también trozos pequeños de otras frutas como cerezas.

Dado que el residuo a analizar no presenta variaciones estacionales en su proceso de elaboración diaria y que se trata de un residuo homogéneo, no se consideró necesario realizar una segunda fecha de muestreo. Además, en el momento de muestreo se encontraban residuos con diferente tiempo de disposición desde su producción (hasta 6 semanas), diferenciables entre sí por sus características organolépticas (color, densidad, presencia de restos sólidos de frutas, tiempo de las muestras abandonadas desde su producción, etc.); por lo que se seleccionaron 8 muestras, correspondientes a cada porción de residuo con distintas características. Se tomaron muestras superficialmente y a una profundidad de 10 cm. Para cada muestra se reunió al menos 1 kg, a partir de cuotas tomadas en diferentes puntos elegidos aleatoriamente, en su lugar de depósito final (Figura 11).

Actualmente los residuos de bagazo son llevados a un vertedero y en menor volumen abandonados en campo abierto.



Figura 11: Bagazo residual tomado en su lugar de disposición para muestreo, dentro de la finca de la empresa. Zona Agrelo de Luján de Cuyo, 14 de Marzo 2019, 10:00 am, vista hacia el Norte.

Fuente: Fotografía propia.

Una vez tomadas, las muestras se dispusieron en envases cerrados rotulando para cada una: el tipo de muestra, fecha de muestreo y ubicación (superficie o profundidad); para finalmente ser trasladadas a la Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO para su posterior análisis físico-químico (Figura 12 y Figura 13), y al Laboratorio de Suelos y Riego del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) para su análisis microbiológico.



Figura 12: Muestras recolectadas, trasladadas a laboratorio para análisis. Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Marzo 2019.

Fuente: Fotografía propia.



Figura 13: Muestras identificadas según tipo, listas para análisis. Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Marzo 2019.

Fuente: Fotografía propia.

4.2. Análisis de muestras

Se deben realizar diferentes análisis con el fin de lograr la caracterización física, química y microbiológica del bagazo residual. Los análisis son realizados siguiendo los procedimientos utilizados por la cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, e incluyen los parámetros descriptos a continuación:

- **pH:** La medición de pH se realizó utilizando un pHmetro directamente sobre las muestras de bagazo residual.
- **Humedad:** El contenido de humedad en el material de input puede utilizarse para determinar la humedad en la mezcla inicial y calcular el volumen de agua que debe agregarse al comienzo del pretratamiento de la materia prima para alcanzar un nivel adecuado de humedad que permita bombear el material y aplicarlo en el proceso de compostaje. Para la determinación de la humedad se realizó el siguiente procedimiento:
 1. Secar en estufa a 105 °C un pesafiltro abierto con la tapa colocada en la base durante 15 minutos. Llevar a desecador y dejar enfriar.
 2. Tapar y tarar al mg (tara del pesafiltro).
 3. Colocar 5 g de muestra en el pesafiltro y pesar nuevamente al mg.
 4. Llevar nuevamente a estufa a 105 °C durante 4-6 horas, retirar y dejar enfriar en desecador. Pesar al mg. Repetir este paso hasta alcanzar peso constante.
 5. El porcentaje de humedad se calcula de la siguiente forma:

$$h\% = \frac{\text{Peso muestra con humedad} - \text{Peso muestra seca a } 105\text{ °C}}{\text{Peso muestra con humedad}} \times 100$$

- **Cenizas:** Para conocer la composición mineral de la muestra en estudio, es necesario previamente mineralizarla, eliminando los constituyentes orgánicos. Posteriormente, se procede a solubilizar el residuo mineral preparando un extracto, utilizándose como disolvente un ácido fuerte como HCl, HNO₃ o H₂SO₄. Se empleó el método de mineralización por vía seca descrito por Kolar (1992). Este consiste en destruir la materia orgánica por incineración en un recipiente apropiado como una cápsula de porcelana. La temperatura no debe pasar de 500 °C para evitar que se fundan las cenizas y que se pierdan por volatilización algunos elementos como el K, que es sensible a altas temperaturas. Para esta determinación se siguió el siguiente procedimiento:
 1. Calentar a la llama la cápsula de porcelana.
 2. Enfriar en desecador y tarar a mg.
 3. Colocar en su interior 5 g de muestra.
 4. Calentar sobre tela incinerando sin que se produzca llama.

5. Calentar a fuego directo o llevar a mufla a 500 °C, hasta eliminación de partículas carbonosas. Para ello se empleó una mufla marca Indef modelo 332 (Figura 14).
6. Enfriar en desecador, pesar al mg y expresar el porcentaje de cenizas.

$$\text{Cenizas\%} = \frac{\text{Peso cenizas}}{\text{Peso muestra (aprox. 5 g)}} \times 100$$



Figura 14: Cápsula de porcelana ubicada dentro de una mufla para realizar el análisis de cenizas. Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Octubre 2019.

Fuente: Fotografía propia.

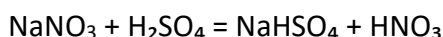
- **Materia orgánica:** Durante el proceso de compostaje, la fracción orgánica del material es aprovechada por los microorganismos y mineralizada; lo que permite su posterior utilización por parte de las plantas al incorporar el compost al suelo. Si bien no toda la materia orgánica inicial es aprovechada en el proceso (pérdidas en

forma de CO₂, NH₃), el contenido de materia orgánica inicial permite estimar el contenido final, de lo que dependerá la calidad final del producto.

Para la determinación de la materia orgánica puede realizarse un cálculo aproximado, utilizando los valores de humedad y cenizas antes calculados:

$$\text{MO\%} = 100 - (\text{h\%} + \text{Cenizas\%})$$

- **Nitrógeno:** Para la determinación de Nitrógeno se empleó una modificación del método Kjeldahl (Kjeldahl, 1883). Esta técnica sirve para dosar el N contenido en la materia orgánica, como también en otras formas nitrogenadas no orgánicas (NH₃ y sus derivados salinos). Sin embargo, en este tipo de compuestos, cierta fracción de N puede hallarse en forma de anión nitrato (NO₃⁻) debido al proceso de nitrificación. Empleando una modificación del método Kjeldahl es posible incluir estas formas de Nitrógeno en el cálculo de N total, de la siguiente forma:
Los nitratos reaccionan con H₂SO₄ dando HNO₃.



Este último, en parte se pierde por ser volátil. Para retenerlo, en la primera etapa (digestión) se introduce junto al H₂SO₄ un compuesto orgánico que lo fije. Este puede ser el fenol o el ácido salicílico, que por nitrificación da un nitroderivado. Este R-NO₂ se transforma en la amina correspondiente R-NH₂ por reducción (se introduce también una sustancia reductora). La amina formada se comporta como una sustancia nitrogenada orgánica, siendo entonces incluida en el valor de "N total".

Para la segunda etapa (destilación del NH₄⁺ en medio alcalino) se recoge el destilado en una solución de ácido bórico H₃BO₃. Este es un ácido muy débil que no alcanza a producir viraje con ciertos indicadores, pero en cambio puede retener el NH₄⁺ hasta cierto grado. Con una mezcla apropiada de indicadores (indicador mixto), puede valorarse directamente el NH₄⁺ recogido con HCl o H₂SO₄ 0,1 N (titulación).

El procedimiento seguido es el siguiente:

1. Pesar entre 0,5 a 1 g de la muestra.
2. Hacer un envoltorio con papel libre de N e introducirlo en balón de 800 mL.
3. Colocar en digestor y agregar bajo campana (Figura 15) 20 mL de H₂SO₄ concentrado + ácido salicílico (C₇H₆O₃), y 2 – 3 g de Na₂S₂O₃.
4. Remover para poner en contacto con la muestra y dejar en reposo.
5. Calentar a suave ebullición hasta que cese el desprendimiento de espuma, retirar y colocar una medida de mezcla catalítica.
6. Volver a calentar a ebullición, hasta que el líquido se aclare totalmente. Dejar enfriar y retirar.



Figura 15: Balones colocados en estufa bajo campana, preparados para la primera etapa del método (digestión). Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Octubre 2019.

Fuente: Fotografía propia.

7. Agregar 220 mL de H₂O por las paredes, lentamente y mezclando. Añadir gotas de fenolftaleína, y una pizca de aleación Devarda (0,1 g). Conectar el balón a un refrigerante cuyo tubo de salida se sumerge dentro de un Erlenmeyer de 500 mL (Figura 16) con nivel marcado a 220 mL que contiene 20 mL de H₃BO₃ + indicador mixto.
8. Neutralizar y alcalinizar con NaOH 40% en exceso (70 mL) por medio de embudo superior. Tapar, agitar y controlar reacción. Destilar en Erlenmeyer hasta el nivel marcado. El NH₃ queda retenido por el H₃BO₃ + indicador, coloreado en verde azulado.
9. Titular con HCl o H₂SO₄ 0,1 N hasta incipiente coloración rosada y calcular el % de N con la fórmula siguiente:

$$\%N \text{ total} = \frac{\text{mL gastados} \times 0,0014 \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$



Figura 16: Balones conectados a equipo de destilación para la segunda etapa. Puede observarse que el tubo de salida del equipo está sumergido en la solución presente en el Erlenmeyer [B]. Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Octubre 2019.

Fuente: Fotografía propia.

- **Relación C/N:** Para el cálculo de este parámetro, primero debe conocerse el valor de Carbono total en la muestra. Para ello, se utiliza el valor de materia orgánica antes encontrado:

$$C = MO \times 0,58$$

Conocido este valor, solo queda hacer la relación del mismo con el valor de Nitrógeno total obtenido por el método Kjeldahl modificado.

Conocer la relación C/N de los materiales de input permite lograr una mezcla inicial con una relación adecuada para que el proceso se lleve a cabo de manera óptima.

- **Fósforo:** Para la valoración del Fósforo total se utiliza el método colorimétrico del nitro-vanado molibdico, y tiene el siguiente fundamento:

El anión fosfato en medio ácido, desarrolla un complejo amarillo en presencia de los iones molibdato y vanadato cuya intensidad responde a la ley de Lambert y Beer. El color que desarrolla la reacción puede medirse a una longitud de onda comprendida entre 400 y 490 nm, según la sensibilidad requerida, ya que ésta varía hasta 10 veces en el intervalo señalado. La determinación se efectúa sobre una alícuota del extracto clorhídrico (preparado para calcular %Cenizas) ajustando el pH en 0,4 – 1,4.

El procedimiento seguido es el siguiente:

1. Tomar 5 mL de extracto clorhídrico.
2. Agregar 20 mL de agua destilada.
3. Agregar 10 mL de reactivo nitro-vanado molibdico.
4. Llevar a volumen y dejar en reposo 15 minutos.
5. Leer en fotocolorímetro (Figura 17) la transmitancia a una longitud de onda de 420 nm y transformar el dato en absorbancia por tabla. Se empleó un fotocolorímetro marca Bausch & Lomb modelo Spectronic 20. Por otra parte, realizar una curva de calibración obtenida con diluciones de una solución patrón.
6. Buscar en la curva patrón cuántas ppm corresponden a la lectura de la muestra en fotocolorímetro.

$$\%P = \frac{\text{ppm} \times Dt}{10.000}$$

Dt: Dilución total, Dt = 1:500



Figura 17: Fotocolorímetro utilizado para la determinación de Fósforo total, junto a un matraz con una dilución de la solución patrón utilizada para realizar la curva de calibración. Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Octubre 2019.

Fuente: Fotografía propia.

- **Potasio:** El Potasio total se determina por fotometría de llama. Las disoluciones de sales potásicas al ser pulverizadas o nebulizadas y sometidas a la acción de una llama proveniente de un gas como propano acetileno, Hidrógeno, etc., se disocian liberándose los respectivos átomos, los cuales en parte son excitados y emiten radiación de determinada longitud de onda, en este caso particular 767 nm. Cuando las soluciones son suficientemente diluidas, la intensidad de la emisión es función de la concentración y puede medirse con un galvanómetro, al ser transformada su energía mediante célula fotoeléctrica. Se efectuó el siguiente procedimiento:
 1. Calibrar el fotómetro de llama (Figura 18) con una solución patrón y diluciones de la misma. Se empleó un fotómetro de llama marca Zeltec modelo ZF-250.

2. Tomar 5 mL del extracto clorhídrico y llevarlo a 100 mL con agua destilada.
3. Colocar parte de la dilución efectuada en la cubeta del fotómetro y realizar la medición.
4. La lectura obtenida da directamente la concentración de iones Potasio en ppm.

$$\%K = \frac{\text{ppm} \times \text{Dt}}{10.000}$$

Dt: Dilución total, Dt = 1:1.000



Figura 18: Fotómetro de llama utilizado para la medición de Potasio total. Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Octubre 2019.

Fuente: Fotografía propia.

- **Actividad microbiana:** La presencia de microorganismos en la muestra, reflejada por actividad microbiana, indica presencia de materia orgánica disponible para el aprovechamiento de los microorganismos para llevar a cabo sus actividades metabólicas. Esto facilita el inicio y desarrollo del proceso de compostaje en una mezcla inicial formada por la muestra como parte de los materiales de input.

Para la determinación de este parámetro, se envió una parte de la muestra al Área de Recursos Naturales del INTA, para ser analizada en el Laboratorio de Suelos y Riego.

- **Conductividad eléctrica:** A la hora de formular la mezcla inicial para el proceso con los materiales de input, se debe analizar previamente la CE de cada material para evaluar el porcentaje a utilizar en la mezcla sin elevar la CE final del producto (Barbaro et al., 2014).

Para la determinación de este parámetro, se utiliza un conductímetro cuyos electrodos se introducen en la muestra, en este caso lo suficientemente húmeda, y se registra el valor dado en la pantalla del aparato.

4.3. Información y datos requeridos para el diseño de la planta industrial de compostaje

Para poder realizar un diseño adecuado se requiere una fluida comunicación entre la empresa o institución que diseña el proyecto y el cliente, para determinar la disponibilidad de materiales de input, suministro de agua, energía, características del terreno, infraestructura, maquinarias; como así también la capacidad financiera para realizar las inversiones y los objetivos de producción y de productos deseados por el cliente. Con el fin de reunir esta información se diseñó un cuestionario detallado dirigido al cliente (véase Anexo I), de manera de recopilar la información necesaria para poder iniciar con el diseño. Algunos datos de interés obtenidos con este cuestionario fueron:

- Materiales de input disponibles: características y cantidad disponible.
- Disponibilidad de suministro de agua.
- Disponibilidad de energía eléctrica, tipo de conexión y potencia instalada.
- Área del terreno disponible y sus características.
- Infraestructura y maquinaria disponible.
- Distancia a otros puntos de interés, como son la distancia a la fábrica productora de residuos y a bodegas vecinas.

Este cuestionario debe ajustarse a las condiciones de la industria agroalimenticia y ganadera de residuos orgánicos. Cada caso deberá presentar un cuestionario acorde.

4.4. Análisis de la información

Posterior a la recopilación de la información y los datos se debe proceder al análisis de los mismos, organizando la información en categorías para armar un balance de materiales, de agua y de energía.

El cálculo del balance de materiales se debe realizar en la fase de diseño de la planta o en el momento en el que el material de input se modifica por alguna razón. El objetivo de hacer el balance de materiales es brindar información sobre el material de input a manejar (volumen, peso y calidad) y sobre el espacio requerido para las áreas en las que se llevarán a cabo los distintos procesos.

El balance de agua está representado por el agua añadida a la mezcla inicial y a la pila durante el proceso, como medida de control de la humedad; y el agua utilizada en los procesos de limpieza. Sin embargo, para el cálculo de éste se tomará sólo el agua que se necesita incorporar a la pila inicial para llevarla a niveles de humedad ideales y para permitir el bombeo del bagazo en caso de ser necesario. Si bien durante el proceso puede ser necesario agregar más agua a la pila, esta cantidad adicional varía en cada ocasión, incluso partiendo de la misma mezcla inicial. La importancia de esto, desde el punto de vista del diseño, es la necesidad de contar con una fuente de agua e incorporar en el diseño un espacio de almacenamiento y un sistema de conducción del agua hacia el sector donde se requiera, empleando bombas de presión.

El balance de energía incluye la energía eléctrica y el combustible necesario para llevar a cabo todas las etapas del compostaje. Además, durante el proceso de compostaje se produce energía en forma de calor. Este calor es muy importante ya que aumenta la temperatura de la pila, lo que produce su higienización destruyendo patógenos y restos vegetales con poder germinativo. Por otro lado, una generación de calor muy elevada puede llevar a la pila a secarse demasiado y en casos extremos, llegar a niveles de combustión. Es por esa razón la necesidad de implementar sistemas de control de temperatura, como ventilación o aireación forzada; y controlar los niveles de humedad de la pila.

Estos balances resultan en las dimensiones necesarias para llevar a cabo las diferentes etapas del proceso de compostaje, la energía y agua que será consumida en la operación de la planta, la maquinaria requerida, el personal a contratar para la operación que debe incluir un capataz con conocimiento en temas de electricidad, plomería, sobre el correcto uso de la maquinaria y del proceso llevado a cabo; y otros operarios dependiendo de las dimensiones de la planta.

5. Resultados y discusiones

5.1. Resultados del análisis de muestras

En la Tabla 8 se detallan los resultados de los parámetros analizados en las muestras de bagazo en la Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO. Por otra parte, los resultados del análisis microbiológico se encuentran en la Tabla 9.

Tabla 8: Análisis de los parámetros estudiados (pH, humedad, cenizas, materia orgánica, Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y relación Carbono/Nitrógeno) en las muestras de bagazo residual proveniente de una empresa dedicada a la producción de conservas y pulpas de frutas.

Muestra	Tiempo desde su disposición	Profundidad de extracción	Presenta trozos de fruta	Parámetro (Valores expresados sobre sustancia seca a 105 °C)								
				pH	h%	Cenizas%	MO%	%C	%N	%P	%K	Rel C/N
1	6 semanas	Superficie	No	----	22,52	6,67	70,81	41,07	0,43	0,45	2,75	95,51
2	5 semanas	10 cm	No	4,27	82,71	5,70	11,59	6,72	1,05	0,16	1,95	6,40
3	Fresco (menos de una semana)	Superficie	No	3,78	74,55	2,44	23,01	13,35	0,43	0,09	0,90	31,04
4	Fresco (menos de una semana)	10 cm	No	4,13	87,35	4,50	8,15	4,73	0,68	0,15	1,00	6,95
5	Entre 2 y 4 semanas	Superficie	Sí	4,44	78,72	4,56	16,72	9,70	0,81	0,12	1,35	11,97
6	Entre 2 y 4 semanas	10 cm	No	3,75	75,90	5,23	18,87	10,94	0,30	0,08	1,00	36,48
7	1 semana	Superficie	No	3,68	79,27	1,96	18,77	10,89	0,86	0,06	0,60	12,66
8	1 semana	10 cm	Sí	4,08	87,17	2,61	10,22	5,93	0,41	0,12	0,45	14,46

Fuente: Elaboración propia, datos brindados por la Cátedra de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO.

Tabla 9: Análisis microbiológico de las muestras de bagazo residual proveniente de una empresa dedicada a la producción de conservas y pulpas de frutas; Marzo 2019.

Microorganismos	
Actividad Microbiana Total en 7 días [mgCO ₂ /g en 7 días]	12,72
Recuento Total Bacterias - Agar Nutritivo 28 °C 48hs [UFC/g]	4,17 x 10 ⁵
(datos expresados en base fresca)	

Fuente: Laboratorio de Suelos y Riego, Área de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Cabe aclarar que, si bien la conductividad eléctrica era uno de los parámetros a analizar, el procedimiento no pudo llevarse a cabo debido a inconvenientes en el conductímetro a la hora de medir la conductividad en las muestras. Además, poco después de la toma de muestras se perdió el contacto con la empresa productora de conservas y pulpas de frutas, por lo que no pudo realizarse una nueva toma de muestras. Por esta razón y dado que este parámetro debe analizarse a partir de muestra fresca, no fue posible realizar el análisis posteriormente.

El resultado positivo de la actividad microbiana de la muestra de bagazo analizada por INTA es una señal clara de que este residuo es susceptible de sufrir una descomposición por microorganismos, lo que afirma su aptitud como material de input.

Puede observarse en la Tabla 8 que existe una gran variación en los valores obtenidos en las distintas muestras analizadas. Esto es razonable considerando que el porcentaje de materia orgánica, el porcentaje de Carbono y la relación C/N se han calculado a partir del valor de humedad, que varía enormemente según el tiempo transcurrido desde su disposición y según si la muestra se extrajo de la superficie del bagazo o a profundidad. En el funcionamiento de la planta se empleará el bagazo inmediatamente se produzca, por lo que se considerarán únicamente los resultados de las muestras 3 y 4. En promedio, estas muestras tienen un elevado contenido de humedad y valores de pH y relación C/N inferiores a los ideales para el proceso. Por otro lado, estos valores pueden complementarse con otros materiales de input considerados (los restos de poda presentan una relación C/N elevada, mientras que el orujo presenta un pH ligeramente ácido o incluso alcalino); por lo que es posible realizar una mezcla a partir de los materiales disponibles y con características cercanas a las ideales para iniciar el proceso.

Para los demás materiales de input considerados no se realizó ningún muestreo y por lo tanto tampoco se realizó ningún análisis. Algunas de sus características se muestran en la Tabla 10 y la Tabla 11.

Tabla 10: Características de restos de poda de durazno, medidas en material fresco.

h (%)	N total (%)	Relación C/N	P (%)	K (%)
Aprox. 50,00	0,59	150 - 200	0,07	0,24

Fuente: Baldini (1992) y Epstein (2011).

Tabla 11: Características de orujo de uva.

pH	h (%)	N total (%)	C (%)	Relación C/N
6,20	54,00	1,80	53,82	29,90

Fuente: Pisi (2017).

5.2. Recopilación y análisis de la información

Basado en la recopilación de datos e información mediante el cuestionario ante el personal de autoridad y gestión de la empresa, se obtuvo el siguiente testimonio acerca de los materiales de interés para los objetivos de la tesis:

5.2.1. Materiales de input disponibles

- Residuos de Conservera (Bagazo):

-Se producen residuos diariamente, de lunes a sábado y desde enero hasta abril: 4 meses.

-La empresa indica que se generan 30 toneladas diarias de bagazo durante estos 4 meses.

Para cada mes se tendría:

Tabla 12: Balance de materiales (Bagazo) en los meses de su producción.

Mes	*Días de producción al mes (días/mes)	Toneladas producidas por día (t/día)	Toneladas producidas por mes (t/mes)
Enero	26	30	780
Febrero	25	30	750
Marzo	26	30	780
Abril	26	30	780

(*cantidad de días calculados como 6 días a la semana, incluyendo feriados, para el año 2020)

Fuente: Elaboración propia.

Dado que los residuos de conservera (Bagazo) se producen únicamente entre enero y abril, y debido a la imposibilidad de almacenar este material de input por períodos prolongados por el inminente inicio del proceso de putrefacción una vez generado, se aplicará el bagazo y su carga como componente de input al proceso de compostaje únicamente en los primeros 4 meses del año. Durante los meses posteriores a abril se llevará a cabo el proceso sin emplear bagazo, pero mezclando los otros materiales de input con compost producido durante los primeros meses del año con el fin de brindar una carga microbiana inicial al material de input nuevo, y de esta manera beneficiar el arranque del proceso.

- Residuos de poda de árboles frutales:

-Se considera que se realizan actividades en la finca de lunes a viernes.

-La empresa cuenta con 286 hectáreas cultivadas, de las cuales 220 corresponden a hectáreas de durazno y 66 de pera.

-En el cuestionario se reportan 80 m³ de material de poda por hectárea y por año. Este volumen, según la declaración de la empresa, representa material chipeado toscamente, y colocado en el suelo entre las hileras de árboles listo para ser retirado. La empresa indica que sobre una hectárea están puestos 50 árboles por hilera y 25 hileras, lo que permite calcular que cada árbol entrega 0,064 m³ de material chipeado de poda por año.

-Se realizan labores de poda desde junio hasta agosto (poda invernal) y desde noviembre hasta abril (poda en verde), siendo en total 9 meses al año en los que se realiza poda.

$$80 \text{ m}^3/\text{ha/año} \times 286 \text{ ha} = \frac{22.880 \text{ m}^3/\text{año}}{9 \text{ meses/año}} = 2.542,22 \Rightarrow \mathbf{2.542 \text{ m}^3/\text{mes}}$$

Se destaca que este volumen refleja los restos de poda sin triturar. Se estima que el material chipeado toscamente, una vez triturado, disminuye su volumen en un 50% (valor resultante sobre la experiencia transmitida por personal operativo de la antigua planta de compostaje en el Zoológico de Mendoza, entrevista con el encargado de la planta, Enero de 2021).

Si expresamos el volumen calculado previamente como restos de poda triturado, se tendrían:

$$2.542 \text{ m}^3/\text{mes sin triturar} \times 0,5 = \mathbf{1.271 \text{ m}^3/\text{mes de restos de poda triturados}}$$

Sánchez Díaz (2008-2009) considera que el volumen de residuos a tratar (incluyendo restos de poda de parques urbanos) se reduce al ser triturado hasta alcanzar una densidad de 0,4 t/m³. Por lo tanto, para expresar el material de poda según su masa:

$$1.271 \text{ m}^3/\text{mes} \times 0,4 \text{ t/m}^3 = \mathbf{508,4 \text{ t/mes de restos de poda triturados}}$$

Por lo tanto, en los meses en los que se realiza poda se tendrían:

Tabla 13: Balance de materiales (restos de poda de frutales) en los meses de su producción.

Mes	*Días hábiles al mes (días/mes)	Toneladas por mes (t/mes)	Toneladas por día (t/día)
Enero	23	508,40	22,10
Febrero	20	508,40	25,42
Marzo	22	508,40	23,11
Abril	22	508,40	23,11
Junio	22	508,40	23,11
Julio	23	508,40	22,10
Agosto	21	508,40	24,21
Noviembre	21	508,40	24,21
Diciembre	23	508,40	22,10

(*cantidad de días calculados como 5 días a la semana, incluyendo feriados, para el año 2020)

Fuente: Elaboración propia.

Si bien la Tabla 13 muestra un balance del material de input según sus meses de producción, resulta importante recordar que los restos de poda pueden almacenarse

durante largos periodos de tiempo sin riesgo de putrefacción, por lo que no es necesario que el material se emplee en el armado de pilas en los mismos meses en los que ingresa a la planta.

Además de los residuos producidos por la empresa, se incluyen entre los materiales de input disponibles los residuos orgánicos generados por una bodega cercana, en particular orujo de uva producto del proceso de vinificación y los restos de poda de la vid.

- Orujo de uva:

-La bodega vecina calcula un rendimiento anual de 7.000 kg/ha de uva.

-Un 5% del peso de uva cosechada corresponde al escobajo, y debe removerse antes de comenzar a vinificar.

$$7.000 \text{ kg/ha} \times 0,05 = \mathbf{350 \text{ kg/ha de escobajo}}$$

Por lo que quedan 6.650 kg/ha de granos de uva.

-Además, aproximadamente un 12% de este peso corresponde a orujo (piel, semillas, pulpa) y el resto del peso representa el jugo de uva empleado en los pasos posteriores del proceso (Datos emitidos por Mónica Mirábile, Coordinadora de Producción Agroindustrial y Directora de Fábrica Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias; en entrevista realizada en Julio de 2020).

$$6.650 \text{ kg/ha} \times 0,12 = 798 \Rightarrow \mathbf{800 \text{ kg/ha de orujo de uva}}$$

-La bodega que entrega sus residuos orgánicos cooperando con la producción de la planta de compostaje cuenta con 175 hectáreas de vid destinadas a la producción de vino. Según el porcentaje del volumen de poda y orujo entregado a la producción de la planta será beneficiado por medio de compost terminado para la fertilización y producción orgánica de sus cultivos.

$$800 \text{ kg/ha} \times 175 \text{ ha} = 140.000 \text{ kg} = \mathbf{140 \text{ t de orujo}}$$

-Por último, el orujo se produce entre febrero y abril, por lo que para cada mes se tendría:

Tabla 14: Balance de materiales (orujo de uva) en los meses de su producción.

Mes	*Días hábiles al mes (días/mes)	Toneladas por mes (t/mes)	Toneladas por día (t/día)
Febrero	20	46,67	2,33
Marzo	22	46,67	2,12
Abril	22	46,67	2,12

(*cantidad de días calculados como 5 días a la semana, incluyendo feriados, para el año 2020)

Fuente: Elaboración propia.

- Restos de poda de vid:

-Se estima que anualmente se producen 4,7 t/ha de residuos de poda de vid (Agencia Extremeña de la Energía. 2013).

$$4,7 \text{ t/ha} \times 175 \text{ ha} = \mathbf{822,5 \text{ t/año de restos de poda}}$$

-Según el momento del ciclo vegetativo en que se efectúa, podemos distinguir dos tipos de poda: Poda invernal y poda en verde, siendo ésta un complemento de la poda invernal. En términos de volumen de poda, únicamente se considerará la poda invernal como material de input. En la región de Cuyo, esta se realiza desde mayo hasta agosto (Aliquó et al., 2010).

-Considerando los datos presentados, para los 4 meses en los que se realiza poda se tendrían:

Tabla 15: Balance de materiales (restos de poda de vid) en los meses de su producción.

Mes	*Días hábiles al mes (días/mes)	Toneladas por mes (t/mes)	Toneladas por día (T/día)
Mayo	21	205,63	9,79
Junio	22	205,63	9,35
Julio	23	205,63	8,94
Agosto	21	205,63	9,79

(*cantidad de días calculados como 5 días a la semana, incluyendo feriados, para el año 2020)

Fuente: Elaboración propia.

Un resumen del balance de materiales se observa en la Tabla 16, que muestra los volúmenes de los diferentes materiales de input disponibles para cada mes a lo largo de un año, y el volumen total de materia prima para llevar a cabo el proceso.

Tabla 16: Balance de todos los materiales de input disponibles, a lo largo de un año.

Mes	Volumen de materiales de input (m ³)					
	Restos de poda (frutales)	Orujo de uva	Restos de poda (vid)	Total de Materiales Secos (Poda y orujo)	Bagazo	TOTAL
Enero	1.271,11	0	0	1.271,11	730,43	2.001,54
Febrero	1.271,11	126,48	0	1.397,59	652,17	2.049,76
Marzo	1.271,11	126,48	0	1.397,59	678,26	2.075,85
Abril	1.271,11	126,48	0	1.397,59	678,26	2.075,85
Mayo	0	0	514,08	514,08	0	514,08
Junio	1.271,11	0	514,08	1.785,19	0	1.785,19
Julio	1.271,11	0	514,08	1.785,19	0	1.785,19
Agosto	1.271,11	0	514,08	1.785,19	0	1.785,19
Septiembre	0	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0	0
Noviembre	1.271,11	0	0	1.271,11	0	1.271,11
Diciembre	1.271,11	0	0	1.271,11	0	1.271,11
TOTAL	11.440,00	379,44	2.056,32	13.875,75	2.739,12	16.614,87

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Datos adicionales de relevancia

Además de la información sobre los materiales de input, se recopilieron otros datos relevantes para el diseño de la planta:

- **Ubicación:** La empresa cuenta con un terreno de 20.000 m² para la construcción de la planta. Éste se ubica dentro de su finca, en conexión directa con el edificio de administración y mantenimiento y a menos de 10 km de la fábrica de la empresa, lo que no supone una distancia como obstáculo logístico a las fuentes de materiales de input. La pendiente Suroeste-Noreste del terreno es de 1,5% y se encuentra lejos (casi 10 km) de la zona urbana más próxima, evitando de esta manera el posible rechazo del emprendimiento por parte de los vecinos.
- **Disponibilidad de suministro de agua:** La empresa cuenta con pozo propio cuyo caudal es de hasta 30 m³/h ubicado en la finca junto al terreno destinado para la planta.
- **Disponibilidad de energía eléctrica:** Se dispone de sistema trifásico de 100 kvar (abreviatura según la Comisión Internacional Electrotécnica), adecuado para el uso industrial.

5.3. Diseño de la planta industrial de compostaje

Para el tratamiento de los residuos estudiados que corresponden al caso de esta tesis, se optó por el sistema estático de hileras de camas cubiertas (sistema cerrado) con ventilación/aireación forzada. Este sistema permite trabajar con grandes volúmenes de residuos a la vez que permite un control sobre la distribución de oxígeno en comparación con otros sistemas (en especial sistemas abiertos). El espacio requerido no resulta un problema considerando la superficie del terreno disponible, e incluso posibilita la ampliación del sistema propuesto en esta tesis en caso de ser necesario. Por último, ya que la planta se proyectará en una zona alejada de zonas urbanas, la posible crítica de vecinos sobre una generación de malos olores no tiene peso en la elección del sistema a emplear.

En el sistema elegido, los materiales de input se mezclarán en proporciones adecuadas para que la mezcla inicial tenga valores cercanos a los rangos ideales para los parámetros estudiados. De esta forma se logra un buen desarrollo del proceso de compostaje. La mezcla inicial se dispondrá en pilas en sistemas cerrados para evitar que el material se seque a causa de la alta insolación y las escasas lluvias de la región. Para ello, se construirán para cada pila camas de maduración hechas de paredes de hormigón y un techo fijo de material plástico (tipo silo de plástico). Se mantendrá la humedad gracias a la humectación adecuada en el momento del armado de las pilas y mediante riego en caso de ser necesario. El suministro de oxígeno será impulsado por tubos perforados colocados longitudinalmente incorporados al suelo debajo de las pilas bajo rejillas de acero. Es esperable que el proceso de compostaje dure más que si se emplearan otros sistemas (como por ejemplo sistema de túneles o de tubos rotativos). El tiempo exacto de duración será determinado experimentalmente, pero puede llevar entre 9 a 12 semanas.

Para el dimensionamiento, se tomaron como referencia el tamaño y capacidad de las plantas de compostaje instaladas en Alemania. Se seleccionaron los datos de este país ya que es un referente destacado en investigación, diseño de tecnologías, diseño de maquinaria y gestión de biomasa residual. Para los objetivos de la presente tesis se observó una amplia disponibilidad de documentación, información y datos. Por ejemplo, en el año 2017 se trataron biológicamente en Alemania alrededor de 15,8 millones de toneladas de residuos biodegradables (en plantas de compostaje y fermentación anaeróbica) y se produjeron 4,2 millones de toneladas de compost (Oficina Federal de Estadística de Alemania). El promedio de la capacidad instalada de las plantas industriales de compostaje en Alemania (medida en toneladas anuales de residuos tratados) es el siguiente:

Tabla 17: Promedio de capacidad de plantas de compostaje industrial existentes en Alemania a mediados de 2020.

Proporción de plantas existentes (%)	Capacidad (t/año)
72	< 15.000
16	15.000 - 30.000
8	30.000 - 50.000
4	> 50.000

Fuente: Statista, 2020.

Teniendo en cuenta estos datos y considerando los balances de materiales calculados, se decidió planificar una planta con capacidad para el tratamiento de 15.000 toneladas anuales, sabiendo que el ingreso de materiales de input a la planta fluctúa considerablemente a lo largo del año.

A continuación, se describe la planificación de la planta diferenciada en áreas o zonas especializadas para cada etapa que conforma el proceso de compostaje:

5.3.1. Área de recepción, clasificado y almacenamiento

La Recepción, el Clasificado y el Almacenamiento representan el primer paso para dar inicio al proceso de compostaje (véase en la Figura 27, marcado con ①). Inmediatamente luego de la entrada del vehículo de transporte de materia prima, se realizará el peso tara del vehículo con su carga para determinar la cantidad (peso) de material orgánico residual ingresado. Se empleará la báscula para camiones modelo SCS-50t, con capacidad de medida de hasta 50 t y con dimensiones ajustables mediante la incorporación de paneles (véase en la Figura 27, marcado con ②). Si bien esta balanza supera la capacidad de medición necesaria para el proyecto, puede que en un futuro se desee ampliar la producción de la planta mediante nuevos productos con aditivos como arcillas, turbas u otros; que requieran camiones con capacidad de entrega mayor. Existen diferentes tipos de básculas, incluyendo algunos modelos móviles. Se optó por el modelo mencionado ya que está diseñado para un uso intensivo y dado que el espacio no es una limitación, no es conveniente optar por una balanza móvil que requiera prepararla diariamente para su uso. En el acto de la recepción, en forma digital o en papel se registrarán los detalles: fecha y hora, patente del vehículo, procedencia del vehículo, propiedad del vehículo, si el vehículo tiene seguro o no, nombre del conductor, su DNI y vigencia de carnet de conducir. Igualmente se realizará una inspección visual de la carga para constatar que la

carga no contenga residuos no deseados para la planta de compostaje; un hecho que puede ocurrir si se trata de una recepción solicitada o extraordinaria de un origen inicialmente no planeado.

Una vez pesado, registrado e inspeccionado, el material ingresante debe ser descargado en una zona prevista de almacenamiento temporal (véase en la Figura 27, marcado con ③) donde se separen los impropios presentes, a los cuales se los trasladarán a una zona de almacenamiento de desechos. Para el caso del bagazo, se debe destinar directamente a una pileta de almacenamiento dimensionada adecuadamente y ubicada en la zona de pretratamiento (véase en la Figura 27, marcado con ④) para ser incorporado a las pilas lo antes posible ya que, debido a sus características y su alta carga microbiana, este material es susceptible de descomponerse anaerobicamente y liberar malos olores.

Los restos de poda se deben triturar para reducir su volumen, facilitar su almacenamiento y optimizar el proceso de descomposición y compostaje. La tarea de triturado se realizará a lo largo de todo el año, se acorta o se intensifica según la disponibilidad de tiempo y/o la necesidad de reducir volúmenes que llenan los espacios de almacenaje. Para realizar esta tarea, se empleará una trituradora de tipo y tamaño de la Willibald Shark EP 5500 (Figura 19), un equipo diseñado para la trituración de ramas y residuos vegetales, con cinta de alimentación y boca con cámara de trituración, motor Diésel y un rendimiento de 150 a 230 m³/h. Las dimensiones de la trituradora son 11,75 m de largo, 2,5 m de ancho y 4,5 m de alto. En el Anexo II se puede encontrar la ficha técnica del equipo para más información.



Figura 19: Fotografía de la trituradora Willibald Shark EP 5500 en funcionamiento [A] y detalle de la cinta y boca de alimentación con los respectivos martillos de trituración [B].

Fuente: Willibald Recycling Technik.

En el cálculo de las dimensiones del área de almacenamiento, debe considerarse la disponibilidad en el tiempo de los distintos materiales de input y la necesidad de guardar cierta cantidad para aquellos meses en los que la producción es menor. Debido a que existen 2 meses seguidos en los cuales no ingresa material nuevo (Septiembre y Octubre), se debe diseñar un área de almacenamiento que pueda guardar el material generado en al menos 2 meses, con el fin de que haya disponibilidad de materiales de input almacenado para preparar pilas en esos meses.

Según lo mencionado en el balance de materiales para restos de poda, se tendrían:

$$1.271 \text{ m}^3/\text{mes} \times 2 \text{ meses} = \mathbf{2.542 \text{ m}^3 \text{ de poda de frutales que deben ser almacenados}}$$

$$\frac{205,63 \text{ t/mes} \times 2 \text{ meses}}{0,4 \text{ t/m}^3} = \mathbf{1.028,15 \text{ m}^3 \text{ de poda de vid que deben ser almacenados}}$$

Los residuos triturados se dispondrán en pilas con forma de prisma cuadrangular, utilizando muros construidos a modo de paredes laterales en el área de almacenamiento temporal. Estas pilas tendrán una altura de 4 m y un ancho de 16 m, por lo que la longitud necesaria para almacenar estos residuos será:

$$V = a \times h \times l$$

Donde a es el ancho de las pilas, h su altura y l su longitud.

$$l = \frac{V}{a \times h}$$

$$l = \frac{3.570,15 \text{ m}^3}{4\text{m} \times 16 \text{ m}}$$

$$l = 55,78 \text{ m}$$

Los diferentes materiales de input se deben almacenar por separado. Dado que la poda de frutales presenta algo más del doble de volumen que la poda de vid, se dispondrán los residuos en 3 pilas de las mismas dimensiones (una pila conformada por poda de vid y dos conformadas por poda de frutales) a fin de aprovechar el espacio disponible. De esta forma, la longitud de cada pila será de 20 m; por lo tanto, serán necesarias 3 pilas de 320 m² para almacenar los restos de poda triturados. Además, se debe agregar el espacio correspondiente a un mes adicional, por entregas no planificadas y/o extraordinarias. Por lo tanto, serán necesarias **4 pilas de 320 m² (20 m de largo x 16 m de ancho)**.

Para el armado de estas pilas (y otras pilas en camas de maduración que se describirán más adelante), se requiere una máquina pala cargadora frontal. Considerando los volúmenes a manejar, se requieren 2 palas cargadoras medianas, cuyos baldes puedan contener hasta 3 m³ de material. Estas palas además deben precisar de un mecanismo hidráulico con dientes tipo horquetas para poder agarrar fácilmente y un mayor volumen posible del material orgánico de input ya que este material se comporta muy diferente a un material como tierra o arena; es mucho más suelto y difícil de llevar. Se optó emplear palas modelo Iron 956 (Figura 20), con capacidad de balde de 3 m³, motor Diésel, de dimensiones 8 m de largo, 3 m de ancho y 3,5 m de alto, y cuya altura máxima de descarga es de 4,1 m. Otras características de la pala cargadora están disponibles como parte de su ficha técnica, en el Anexo II.



Figura 20: Fotografía de la pala cargadora Iron 956 [A] y detalle de una pala con dientes tipo horquetas con sistema hidráulico [B].

Fuente: Grupo Leiva [A] y Düvelsdoft [B].

También se debe disponer de un área que sirva de almacenamiento temporal de los restos de poda previo a su trituración. Debe contar con una superficie suficiente como para almacenar el material correspondiente a no menos de dos semanas. Dicha cantidad corresponde a 1.155,45 m³ de restos de poda (chipeados) de frutales y 935 m³ de restos de poda de vid. Considerando que se disponen en pilas de 4 m de alto y 20 m de largo, se

necesita una superficie aproximada de 300 m² (20 m de largo x 15 m de ancho) para los residuos de poda de frutales y 240 m² (20 m de largo x 12 m de ancho) para los residuos de poda de vid; considerando que en promedio una trituradora puede lograr la reducción del volumen de poda y remanentes de jardín en un 75% (Pendl, 2014), y que por lo tanto el volumen sin triturar sería cuatro veces mayor.

Entre cada pila formada, debe construirse una pared de 25 cm de grosor que sirva de soporte para las pilas. La superficie total ocupada por estas pilas sería de **1.878 m² (20,25 m de largo x 92,75 m de ancho)**.

No es necesario que esta área sea cubierta. Por otra parte, el suelo de este sector debe ser pavimentado para soportar el peso de los camiones y de la pala cargadora que realizan el transporte de materiales de input y para soportar el raspado de los equipos como palas cargadoras que se emplearán en la planta.

5.3.2. Área de pretratamiento

En esta área se llevará a cabo el cribado y trituración del material de input para lograr el tamaño apropiado para armar las pilas de compostaje. Todos los materiales deben pasarse por una cribadora con un tamiz de 100 mm, en base a los datos obtenidos mediante una entrevista con el encargado de la antigua planta de compostaje del Zoológico de Mendoza con materiales de input semejantes al caso de estudio: de poda de árboles y orujo de uva, en Enero de 2021. De esta forma, deben separarse los materiales extraños presentes que pueden dañar la trituradora, así como el material grueso de aquel que presenta una granulometría adecuada para el compostaje. El proceso de cribado conlleva la mezcla y homogenización del producto que luego se deberá colocar en las camas de maduración. Los volúmenes a cribar y mezclar entre poda y orujo son variables y se decide en el momento de disposición del orujo. Para este proceso se empleará una cribadora móvil tipo KOMPTECH Cribus 2800 (Figura 21). Es una máquina diseñada para su aplicación en el tratamiento biológico de residuos, compacta (15 m de largo y 5 m de ancho cuando está operando), que puede operar con energía eléctrica de la red o con un motor Diésel incorporado. Tiene un rendimiento de salida de hasta 175 m³/h (dependiendo del tipo de material) y un área de tamizado efectiva de 28 m², capaz de separar partículas de hasta 10 mm de tamaño. En el Anexo II puede encontrarse una ficha técnica detallada de la cribadora.



Figura 21: Fotografía de la cribadora Cribus 2800 en funcionamiento.

Fuente: Komptech.

El material grueso extraído por la cribadora debe ser triturado para poder ser incorporado. Se debe disponer el espacio necesario para el cribado y el triturado de los materiales de input, para lo cual hay que considerar las dimensiones de las maquinarias a emplear en cada tarea, sumado a un espacio para disponer la materia prima procesada para mezclarla antes de pasar a la próxima etapa (véase en la Figura 27, marcado con ⑤). Diariamente se disponen de 57,78 m³ de restos de poda de frutales triturados y 23,38 m³ de restos de poda de vid triturados (considerando que los restos de poda triturados tienen una densidad de 0,4 t/m³). Si se disponen los restos de poda triturados en pilas semicilíndricas, se puede emplear la siguiente fórmula para el cálculo de las dimensiones necesarias para disponer de los volúmenes mencionados:

$$V = \frac{(\pi \times r^2)}{2} \times l$$

Donde r es la altura de la hilera (radio del semicírculo del semicilindro) y l la longitud de la pila. Si se arman pilas de 2,5 m y 2 m de altura, se tendría una pila de aproximadamente 6m de largo, 5 m de ancho y 2,5 m de alto para los restos de poda de frutales; y una de 4 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto para los restos de poda de vid.

El orujo no requiere triturado previo, ya que presenta un tamaño adecuado para ser incorporado a la mezcla, pero se debe disponer de un espacio para colocar el material de input previo a su mezcla con los demás materiales para formar la mezcla inicial. El orujo de uva tiene una densidad de 0,369 g/cm³ (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; Gobierno de España), por lo que, si se expresa la cantidad de orujo en volumen, se tienen 5,75 m³ de orujo por día. Suponiendo que se coloquen formando una

pila de 1 m de alto, se tendría una pila de 4 m (3,66 m) de largo, 2 m de ancho y 1 m de alto.

Los materiales de input secos (restos de poda y orujo) triturados y mezclados se colocarán en una zona de armado de pilas hasta que se haya reunido suficiente material mezclado para llenar una cama de maduración (véase en la Figura 27, marcado con ⑥). Dado que el volumen de esta pila depende del volumen que albergarán las camas de maduración, sus dimensiones serán calculadas en el siguiente punto.

Por otro lado, el bagazo ingresado a la planta es llevado directamente al área de pretratamiento donde debe ser tamizado para separar los trozos de fruta de gran tamaño remanentes del proceso industrial de la fábrica de conservas. Para esto, se debe disponer de un tamiz o colador con una malla de 15 mm sobre el cual se volcará el bagazo ingresado antes de ingresar a la pileta colectora; para poder facilitar el pretratamiento de esta materia prima. Gracias a la información brindada por la empresa, se sabe que el bagazo llega en contenedores estándar de 6 m³ de volumen. Las dimensiones de estos contenedores son 4,4 m de largo, 0,99 m de alto y 1,8 m de ancho. El tamiz a emplear debe ser dimensionado lo suficientemente ancho y largo para recibir y tamizar el bagazo en el momento en el que es volcado (lo que ocurre en cuestión de segundos). Por la energía del proceso y la resistencia del tamiz, se volcará probablemente en una forma de lengua hacia adelante y en menor medida hacia los laterales. Quiere decir que el tamiz, ubicado a nivel del suelo, debe tener unas dimensiones de 3 m x 3 m. Se agregará agua en el momento del volcado sobre el tamiz, para disminuir la viscosidad y facilitar el tamizado. Gracias a su elevado contenido de humedad, sumado al agua agregada para facilitar el tamizado, es posible emplear el bagazo fresco para humectar el material a compostar.

Luego de ser tamizado, debe ser colocado en una pileta colectora que cuente con un eje central vertical con un rastrillo de fondo giratorio para homogenizar el bagazo con agua y evitar el proceso de sedimentación del material. Esta pileta debe tener una capacidad para almacenar lo ingresado en al menos 3 días. Del balance de materiales del bagazo se sabe que esta cantidad corresponde a 90 t o 90.000 kg. Se desconoce la densidad exacta de este material, por lo que a efectos prácticos se asume que su densidad es similar a la del alperujo de aceituna, la cual ronda los 1.150 kg/m³ (Datos emitidos por Mónica Mirábile, Coordinadora de Producción Agroindustrial y Directora de Fábrica Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias; en entrevista realizada en Julio de 2020). El bagazo de 3 días ocupa un volumen de 78,26 m³. Si consideramos una pileta cilíndrica de 2 m de altura, para calcular las dimensiones de la pileta colectora:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$78,26 \text{ m}^3 = \pi \times r^2 \times 2 \text{ m}$$

Despejando r:

$$r = 3,53 \text{ m}$$

Considerando el espacio que ocuparía el rastrillo mezclador y el volumen adicional de agua agregada para facilitar el tamizado; la pileta colectora de bagazo debe tener unas dimensiones de **8 m de diámetro x 2 m de altura**.

De esta pileta debe ser bombeado al sector de armado de pilas de material a compostar. Para ello se empleará una Bomba de Pistón Simple Efecto D.ESPI modelo MI-75 (Figura 22), con un rendimiento aproximado de 5.000 kg/h. La toma del bombeo se debe ubicar en el mismo eje del rastrillo mezclador, en el fondo del contenedor. Además, este rastrillo debe estar curvado para llevar el material permanentemente hacia la boca del bombeo.



Figura 22: Modelo de Bomba de Pistón Simple Efecto D.ESPI

Fuente: Talleres Espi.

Con el bagazo diluido bombeado de la pileta se humedecerá la pila de material mezclado, hasta alcanzar una humedad ideal para poder armar la pila de compostaje e iniciar el proceso de descomposición. Dunst (2015) estima que se necesitan 140 L/m³ de material seco para lograr una humedad inicial adecuada para el proceso. Una vez humedecida la mezcla, debe ser llevada a la zona de descomposición donde se llevará a cabo la siguiente etapa.

Es importante contar con un tanque o una cisterna de agua de gran volumen (unos 20.000 L) ubicado entre las zonas de pretratamiento y descomposición, como así también de surtidores de agua dispersos en estas zonas. De esta manera, se garantiza que el agua sea accesible y bombeable con presión y caudal adecuados en ambas zonas en toda su superficie. Además de adicionar agua en el tamizado, se requiere agua para la limpieza de los sectores, y en la zona de descomposición para humedecer las hileras de compostaje entre los procesos de descomposición y maduración. El tanque será llenado con agua proveniente del pozo de la finca. Ya que esta agua es empleada para el riego de los cultivos presentes en la finca, no se consideró necesario analizar su conductividad eléctrica.

Además de la superficie destinada a cada tarea, debe considerarse el espacio requerido para permitir el maniobrar de la pala cargadora. Por regla general, deberá permitir una distancia mínima de maniobra de no menos de una vez y media la longitud de la maquinaria que va a mover los residuos (Sánchez Díaz, 2008-2009). Las palas cargadoras a emplear tienen una longitud de 8 m, por lo que se deben agregar 12 m a la longitud de las pilas consideradas.

Toda la zona de pretratamiento debe ser pavimentada y presentar un sistema de canalización de agua, ya que en el mezclado y humectación pueden llegar a generarse lixiviados y no deben entrar en contacto con las maquinarias, materiales de input secos ni con otras zonas de la planta.

5.3.3. Área de descomposición y maduración

Esta área es la más amplia de todas (considerando el sistema tecnológico elegido) y puede llevarse a cabo al aire libre (armado de pilas) o cubierto (camas de maduración). En el caso de las camas, se cerrará el sistema mediante paredes de hormigón y un techo parabólico plástico de membrana de 5m de alto.

Teniendo en cuenta el tiempo de duración del proceso y el sistema tecnológico a emplear, las etapas de descomposición y de maduración se llevarán a cabo en el mismo espacio definido como área de camas de maduración. En la primera etapa, se levantará y se trasladará la mezcla húmeda preparada para el llenado de las camas de maduración (véase en la Figura 27, marcado con ⑦).

En este ciclo el material preparado recibirá aireación forzada por medio de ventiladores y tubería perforada y colocada en el interior del piso de las camas. El sistema de ventilación/aireación estará formado por tubos conectados a ventiladores adheridos a la

pared posterior de la cama, del lado externo (Figura 23). Estos tubos se cierran en el extremo colocado dentro de la cama con una tapa de cierre y cuentan con orificios de ventilación dispuestos en 2 filas en la parte inferior de los caños y ubicadas a 90° entre sí, para evitar que se tapen por partículas y suciedades como también para evitar el ingreso de agua. Los tubos de ventilación tienen un diámetro interior de 100 mm y su longitud se adecúa a la longitud de las camas. Para poder conectar los tubos, la pared posterior debe contar con aberturas para caños con una junta de varios labios ubicada en la parte interior de la cama, para garantizar el cierre hermético al aire entre la parte interior y exterior de la cama. Por la parte exterior de la pared posterior de la cama de maduración sobresalen los caños de ventilación de las aberturas. De este lado de los caños de ventilación se conectan mangueras de ventilación flexible, a las que se les coloca manguitos de goma con juntas en forma de labio en el interior para lograr una conexión hermética al aire y a la presión. Estas mangueras se conectan a un distribuidor, el cual presenta un número igual de salidas al número de aberturas para caños en la pared. Por último, este distribuidor está conectado con el ventilador, que cuenta con un filtro fino colocado en el lado de succión de aire que impide la aspiración de trozos de papel, insectos u otros contaminantes (BIODEGMA, 2001). El sistema de ventilación puede ponerse en marcha de forma permanente o con intervalos, además de poder ser iniciado de forma manual en caso de ser necesario. Los ventiladores que forman el sistema de ventilación deben conectarse a una fuente de energía o corriente eléctrica, por lo que a la hora de construir el área debe considerarse la ubicación de estas conexiones al sistema de energía.



Figura 23: Ventiladores del sistema de aireación adheridos a la pared posterior de camas de maduración.

Fuente: Compost Systems.

Antes del primer llenado de la cama de maduración el sistema de ventilación debe estar montado de manera completa y listo para su uso. Los tubos deben ser retirados únicamente en caso de obstrucción de los mismos, a fin de poder realizar una limpieza de los tubos y canaletas. Esto debe realizarse luego de remover el material de la cama y antes de volver a llenarla.

Durante esta fase, la demanda de oxígeno de los microorganismos es muy elevada, por lo que es especialmente importante el correcto funcionamiento de los ventiladores. Si se establecen cantidades pequeñas de aire, puede que este no llegue a toda la pila y que se generen sectores anaeróbicos. Si, por el contrario, se manda una corriente muy grande de aire, se forman canales de aire en el material de maduración, a través de los cuales el aire pasa por el material muy rápidamente. Como consecuencia, existe peligro de que la mayor parte del aire se escape a través de estos canales y de que otras zonas del material de maduración no reciban suficiente oxígeno.

A lo largo de toda la etapa de descomposición es importante llevar el seguimiento de ciertos parámetros, en particular, de la temperatura y la humedad presentes en las pilas en descomposición.

Como consecuencia de la gran actividad biológica y de las altas temperaturas que ésta ocasiona puede producirse una pérdida de agua comparativamente alta durante el transcurso de la descomposición. En un sistema cerrado, el agua que se evapora en la pila por la actividad de los microorganismos se retiene dentro de la cama. El agua se condensa en forma de gotas del lado interior de la membrana y se reenvía al material de maduración de manera uniforme a través de fajas de escurrimiento. Con ello se mantiene una concentración constante de agua en el material e idealmente desaparece la necesidad de un humedecimiento adicional. Se debe establecer la concentración inicial de manera óptima y garantizar una concentración suficiente de agua en el material durante toda la fase de descomposición, mediante una administración adecuada del aire. La concentración de agua correcta al comienzo del proceso depende del tipo de material de maduración y debe ser establecida in situ.

Por su parte, los cambios en la temperatura de la pila son un buen indicador del avance del proceso, como así también de la necesidad de ajustar otras variables como son la humedad y la aireación, ya que estos están directamente relacionados con la temperatura. La membrana del sistema cerrado evita una pérdida considerable de calor, particularmente en la zona de los bordes de la pila. Mediante el reenvío del agua y al evitar la pérdida de calor se pueden establecer condiciones óptimas hasta en los bordes de la pila y se logra así una higienización de todo el material (BIODEGMA, 2001).

Para el control de estos dos parámetros, se emplearán sensores electrónicos que van insertos en el material y miden los valores de estas variables. Estos sensores serán programados para que realicen mediciones cada cierto intervalo de tiempo (por ejemplo, cada 10 minutos) y envíen la información a una computadora que actúe recopilando la información y permita el monitoreo de todas las pilas desde un mismo lugar; la oficina de administración de la planta de compost y hasta de forma remota y online desde cualquier momento y lugar del mundo. Esta conexión con una computadora permite, en forma permanente, mostrar, guardar y, si se da el caso, procesar gráfica o tabularmente los datos relevantes de los distintos parámetros de maduración y del control de ventilación. También se programarán los sensores para que envíen una señal de alarma cuando los parámetros sobrepasen ciertos valores, estableciendo límites inferiores y superiores para cada variable. Este sistema posibilita una supervisión permanente de los parámetros de descomposición, lo que permite intervenir en todo momento en el control de la descomposición y poder reaccionar ante los cambios en el funcionamiento del establecimiento que se produce a corto plazo (BIODEGMA, 2001). Adicionalmente, pueden darse instrucciones o tareas a través del equipo de monitoreo, lo que ayuda a documentar las tareas realizadas.

Se utilizará el Sensor Sonda de Temperatura Ds18b20 Itytarg (Figura 24-A) y el Sensor de Humedad de Suelo Hd38 Itytarg (Figura 24-B), o el Sensor de Temperatura y Humedad Sht10 Digital Itytarg (Figura 24-C) que mide ambos parámetros, pero es más costoso que los otros. Todos estos sensores deben ser programados con la placa Arduino. Para ello deberá contratarse por única vez a un programador o técnico con experiencia en el uso de Arduino que configure los sensores según las necesidades del proyecto.

Independientemente de los sensores seleccionados, estos deben introducirse en la pila acompañado por una lanza (Figura 24-D) hasta la empuñadura una vez que la cama ha sido llenada. Cuando se registran valores inusuales es necesario cambiar el sensor de temperatura de lugar e introducirlo en otro lado o, de ser necesario, a mayor profundidad en el material. Después de completar el llenado de la cama de maduración y de introducir el sensor de temperatura y humedad, el sistema puede cerrarse.



Figura 24: Imágenes de los sensores a emplear [A, B y C] y lanza empleada junto a sensores de temperatura [D].

Fuente: Tienda IT&T [A, B y C]. Direct Industry [D].

Todo el sistema de cableado, tanto de los sensores como del sistema de ventilación, se debe prever mediante conductos subterráneos con su respectiva conexión al sistema computarizado en la oficina de administración de la planta. Al igual que las conexiones eléctricas, se debe disponer de conexiones subterráneas al tanque de agua para asegurar su disponibilidad en todo momento. Para ello deben colocarse llaves de agua distribuidas por el área de forma de asegurar el alcance a todas las camas de maduración de los materiales orgánicos.

Se debe realizar el pavimentado de la zona y construir un sistema de canalización por canaletas superficiales de agua para recuperar el agua condensada y de salida desde las camas; para poder aprovecharlos para riego. Para este fin, el piso debe tener un desnivel cercano a 2% desde el fondo de la cama hacia su boca.

Para el terreno considerado, no es necesario realizar una nivelación o movimiento importante de suelos para ajustar la pendiente del terreno. Debe tenerse en cuenta la dirección de la pendiente en el armado de las camas, de forma que estas se dispongan en paralelo a la pendiente para que los residuos líquidos fluyan con mayor facilidad y que el flujo no se vea inhibido a través de ellas.

En el dimensionamiento de la estructura de las camas de maduración hay que considerar la altura máxima que permita el volcado de la pala cargadora, definida en 4,1 m. Las pilas formadas deben tener forma de prisma cuadrangular, a fin de aprovechar al máximo el espacio disponible de las estructuras que conforman cada cama de maduración. Al tratarse de un sistema cerrado, debe considerarse el grosor de las paredes de cada cama de maduración, las cuales estarán formadas por hormigón armado y cuyo grosor será de 25 cm. También debe tenerse en cuenta la disposición de los tubos perforados en la base de la cama dentro de canaletas tapadas por rejillas de acero (Figura 25), de forma de permitir el ingreso de la pala cargadora en diferentes carriles para poder alcanzar toda la cama. Para cada cama se emplearán 3 tubos de ventilación de 100 mm de diámetro, ubicados a lo largo de toda la cama de forma que transversalmente estén ubicados en el centro de la cama y a 1,25 m de cada extremo. Esta distribución permitiría un espacio mínimo de 20 cm entre cada tubo y las ruedas de la pala cargadora, considerando que tiene un ancho de 3 m y cada rueda tiene un ancho de 25 cm; y que la cama tiene un ancho de 6,5 m.



Figura 25: Interior de una cama de maduración. Pueden distinguirse 3 canaletas en el piso cubiertas de grava.

Fuente: Compost Systems.

Una vez llenas, se deja el material en las camas durante 3 semanas para que avance con el proceso de compostaje, tiempo en el que ocurren las fases mesófila y termófila del proceso de descomposición (Dato por experiencia de la antigua planta de compostaje del Zoológico de Mendoza, entrevista con el encargado de la planta, Enero de 2021).

Luego de esta fase, se retira el material para ser inspeccionado y comprobar sus características. Puede ser necesario humedecer el material antes de avanzar a la fase de maduración. Si el material despidе un olor muy fuerte, esto indica que el suministro de oxígeno en la pila no fue suficiente. Si el material está excesivamente seco, esto indica que los tiempos de ventilación han sido demasiado altos. Por el contrario, un material muy húmedo o mojado es muestra de ventilación insuficiente. Para cada caso deberán realizarse correcciones para evitar estas condiciones a futuro. El material debería haber cambiado (notablemente) de color por comparación con el color al inicio de la descomposición (BIODEGMA, 2001), adquiriendo un tono oscuro y marrón, similar al del humus.

Para llevar a cabo la inspección y humectación se debe dejar un playón junto a las camas, cuya superficie sea mayor a la superficie de cada cama, para poner disponer el material (véase en la Figura 27, marcado con ⑧).

Finalizada la inspección, el proceso de descomposición se considera finalizado e inmediatamente comienza la etapa de maduración. Como ya se mencionó, este proceso se llevará a cabo en la misma área que la etapa anterior dentro de las camas, considerando que el espacio requerido es significativamente menor debido a la reducción del volumen de las pilas en la etapa anterior. Para iniciar esta nueva etapa, se vuelven a armar las pilas dentro de las camas y se regulan con inyección de aire por intervalos hasta que el proceso de maduración se considere finalizado, lo cual puede llevar entre 6 a 9 semanas (véase en la Figura 27, marcado con ⑨).

Teniendo en cuenta la posible duración del proceso y la disponibilidad de materiales de input en el tiempo, se deberá trabajar con una parte de los residuos generados semanalmente y se deberá almacenar una parte (restos de poda) para los meses en los que ingresan cantidades insuficientes de material o no ingresan materiales de input.

De la Tabla 16 se conoce que se tienen en total aproximadamente 16.615 m³ de residuos entre los meses en los que se incorpora material. De este volumen, 13.875,76 m³ corresponde a material seco a humedecer con bagazo diluido en agua. Considerando que se necesitan 140 L/m³ para humedecer el material inicialmente, el volumen de bagazo diluido a utilizar será:

$$13.875,76 \text{ m}^3 \times 140 \text{ L/m}^3 = 1.942.606,40 \text{ L} = 1.942,61 \text{ m}^3$$

Se necesitan 1.942 m³ de bagazo diluido para humedecer el material. En consecuencia, no se hará uso de la totalidad del bagazo producido por la empresa. Convenientemente, al tratarse de un residuo proveniente de la misma empresa, los volúmenes y periodos de entrega de bagazo pueden variar según la conveniencia del proyecto. Deberá considerarse otro destino final para la fracción de bagazo no empleada en la planta, pero esto no se evaluará en el presente trabajo.

Por lo anterior mencionado se concluye que se necesitan dimensionar camas de maduración suficientes para 13.875 m³, considerando que el bagazo diluido que se agrega para humedecer el material ocupa parte de los espacios de aire libre presentes en el material seco, por lo que a fines prácticos no hay un aumento considerable de volumen al humedecer la mezcla a tratar.

En el cálculo del espacio necesario para esta área se consideró que las pilas de materia orgánica tendrán una forma de prisma cuadrangular, con una altura de 3,5 m, un ancho de 6,5 m y un largo de 20 m. Si bien la pala cargadora permite armar pilas de mayor altura, no es recomendable ya que se debe dejar un espacio de al menos 1,5 m entre la superficie del material y el techo de la cama. Por otro lado, un ancho de 6,5 m posibilita el paso de la pala cargadora en tres carriles diferentes dentro de la pila, sin que las ruedas de la

maquinaria aplasten las rejillas de las canaletas en las que están ubicados los tubos de aireación forzada. Por último, no es recomendable trabajar con longitudes mayores a 20 m ya que armar pilas de longitudes tan grandes podrían dificultar el funcionamiento de los tubos para el intercambio gaseoso, no logrando un caudal de aire suficiente en todo el largo de la pila.

Con estas dimensiones, para calcular el volumen de material por cama, se puede emplear la siguiente fórmula:

$$V = a \times h \times l$$
$$V = 6,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$$
$$V = 455 \text{ m}^3$$

En cada cama de maduración, cabrán 455 m³ de material. Para determinar la cantidad de camas de maduración necesarias en el proceso, debe considerarse lo siguiente:

-Semanalmente se armará como máximo una pila, considerando que pueden existir semanas en las que no se armen nuevas pilas.

-La etapa de descomposición tiene una duración de 3 semanas.

-A efectos prácticos de cálculo del proceso que permite dimensionar el área de descomposición y maduración, se considerará que la etapa de maduración dura 8 semanas.

-Una misma cama de maduración puede emplearse tanto en la etapa de descomposición como en la maduración.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se calcula que serán necesarias al menos 9 camas de maduración en la operación de la planta. En la Tabla 18 se puede observar la distribución del material a tratar a lo largo del año y el uso de las distintas camas con su asignación respecto a procesos de descomposición y maduración; que permite verificar lo antes mencionado. Los procesos marcados con la letra “D” corresponden a Descomposición y los marcados con la letra “M” corresponden a Maduración. Además, los procesos marcados con un mismo número y color indican que se trabaja con el mismo material (por ejemplo: el material marcado como “D1”, pasadas tres semanas, se retira de la cama 1, se lo vuelca en el playón, se lo humedece y se lo introduce en la cama 3 para que continúe con la etapa de maduración marcada como “M1”).

Tabla 18: Distribución del volumen de material (medido en m³) a lo largo del año y en las diferentes camas de maduración.

Volumen Ingresado	Armado de cama nueva	Volumen disponible para la próxima semana	Meses del año	Semanas del año	Camas de maduración										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9		
276,33		276,33	Enero	1											
276,33	X	97,66		2											
276,33		374,00		3	D1										
276,33	X	195,33		4											
305,55		505,88		5		D2									
344,90	X	390,78	Febrero	6											
344,90	X	280,68		7											
344,90		625,58		8	D4										
336,69	X	507,27		9			M1								
317,63	X	369,90	Marzo	10		D5									
317,63		687,53		11											
317,63	X	550,16		12											
317,63	X	412,79		13				M4						D7	
317,63		730,42	Abril	14										D8	
317,63	X	593,05		15											
317,63	X	455,68		16											
317,63		773,31		17			M6							D10	
200,49	X	518,80	Mayo	18											
122,40		641,20		19			M7								D11
122,40	X	308,60		20											
122,40		431,00		21											
235,73	X	211,73	Junio	22											
405,72		617,45		23	D13										
405,72	X	568,17		24											
405,72	X	518,89		25		D14									
405,72		924,61	Julio	26											
388,08	X	857,69		27											
388,08	X	790,77		28	D16										
388,08		1178,85		29											
388,08	X	1111,93	30												
402,85	X	1059,78	Agosto	31											
425,05		1484,83		32	D19										
425,05	X	1454,88		33											
425,05		1879,93		34											
340,04	X	1764,97	Septiembre	35											
0		1764,97		36											
0	X	1309,97		37											
0		1309,97		38											
0	X	854,97	39												
0		854,97	40												
0	X	399,97	Octubre	41											
0		399,97		42											
0		399,97		43											
121,06	X	66,03		44											
302,65		368,68	Noviembre	45											
302,65	X	216,33		46											
302,65		518,98		47											
297,38	X	361,36	Diciembre	48											
276,33		634,69		49	D27										
276,33	X	456,02		50											
276,33		277,35		51											
276,33	X	98,68		52											

(*Los procesos marcados se inician en el año observado, pero finalizan en el año siguiente.)

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 18 describe la situación de la planta en su primer año de funcionamiento. Para los años posteriores, se deberá continuar con los procesos inconclusos del año anterior; y se iniciará con el material de input sobrante del año anterior (restos de poda triturados).

También se observa que cada cama de maduración se deja al menos 1 semana vacía luego de retirar el material y antes de volver a llenarla con material nuevamente; y que en ningún momento del año se emplean todas las camas de maduración de manera simultánea. Esto permite tener un margen de operación ante posibles imprevistos.

Para las camas consideradas, y teniendo en cuenta que a la longitud de las camas debe agregarse el espacio correspondiente al grosor de la pared posterior y espacio para colocar los ventiladores y sus conexiones eléctricas (2 m); y que entre 2 camas contiguas debe sumarse 0,25 m al ancho considerado, correspondiente al grosor de las paredes de hormigón; la superficie que se ocuparía es de **1.342 m²**. Debido a la gran diferencia de las dimensiones de esta opción (22 m x 61 m), una alternativa sería planificar la zona armando 2 filas de camas de material (Figura 26), dejando una distancia de al menos 12 m entre las 2 filas para permitir el maniobrar de la pala cargadora y para poder retirar los tubos perforados cuando sea necesario limpiar los tubos y sus canaletas. Con estos ajustes, el área en cuestión tendría unas dimensiones de **56 m x 34 m**, y sería de **1.904 m²**. Si bien esta disposición requiere de un área considerablemente mayor, no es una limitante considerando el terreno disponible. Por otro lado, esta opción reduciría la distancia que debe recorrer la pala cargadora cada vez que sea necesario mover material. Además, esta disposición permitiría construir una cama de maduración adicional de ser requerida; sin necesidad de ocupar mayor superficie. La alternativa a emplear dependerá de la forma del terreno y de la ubicación de las diferentes zonas en el plano a realizar.

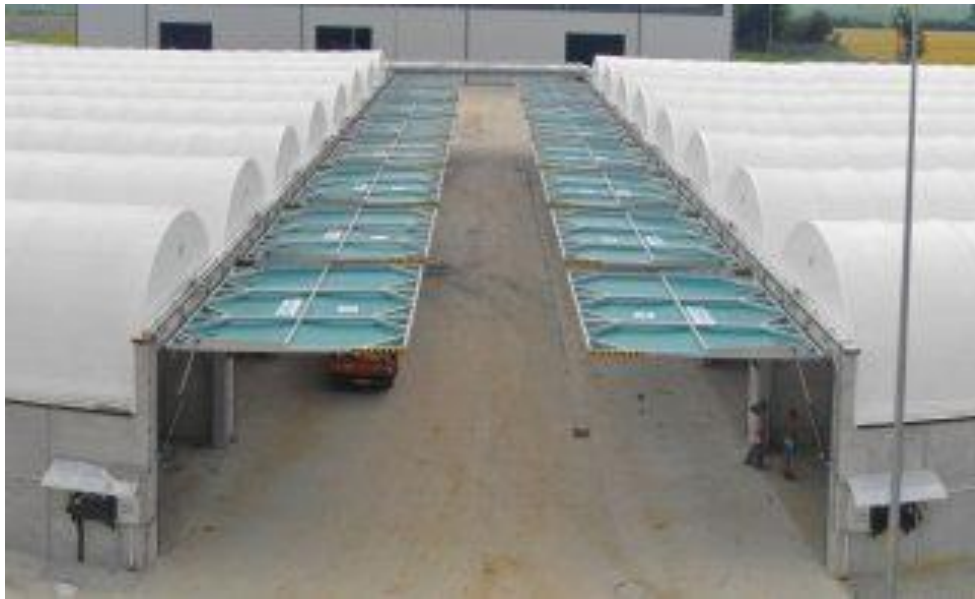


Figura 26: Posible disposición de camas de maduración en la planta de compostaje, mostrándose todas las camas en paralelo [A] y en series de 2 [B].

Fuente: Compost Systems.

A la superficie calculada debe agregarse el espacio que ocupará el playón donde se dispondrá el material para su revisión, aireación por vuelco y humectación antes de volver a ingresarlo a las camas. Considerando que dicho playón tenga una superficie suficiente para colocar el volumen de dos camas, y que el material se colocará en forma de una pila semicilíndrica de 7,25 m de ancho y 3,63 m de alto; este playón tendría unas dimensiones de **44 m de largo y 7,25 m de ancho** si se armara en una sola pila. Si en cambio se armaran

2 pilas, el playón tendría unas dimensiones de **22 m de largo y 14,5 m de ancho**; y en ambos casos tendría una superficie de **319 m²**.

En total, para el área de descomposición y maduración será necesaria una superficie de **1.661 m²** (siendo sus dimensiones **75,5 m x 22 m**), si se construyen las camas en una sola fila; o **2.338 m²** (siendo sus dimensiones **56 m x 41,75 m**), si se construyen las camas de maduración en 2 filas.

5.3.4. Área de postratamiento y almacenamiento

Finalizadas las etapas de descomposición, maduración y postmaduración (de ser necesaria); el compost debe ser trasladado a otra área donde pasará por un proceso de postratamiento antes de poder ser almacenado. Este inicia con el cribado del material terminado a fin de remover los elementos gruesos que todavía estén presentes, los cuales son reincorporados a los materiales “vírgenes” para el armado de nuevas pilas para compostar.

Otra tarea que se lleva a cabo en esta área es la de preparar mezclas comerciales empleando diferentes elementos orgánicos e inorgánicos. La finca de la empresa cuenta con canteras con tierra con gran cantidad de arcilla y limo para elaborar mezclas comerciales con el compost elaborado. La empresa tomará la decisión para este paso en el caso de que se quiera ampliar el plan de negocio y su diversificación comercial.

Aunque los objetivos de la tesis no incorporan el aspecto de comercialización de compost, es válida la observación de que en caso de que el producto se destine a venta, a mayor o menor, a agricultores o a viveros; puede ser necesario envasar el material (dependiendo de si se realizara venta a granel, en bolsas, bolsones de 1 m³, etc.) para lo cual es necesario disponer de una máquina ensacadora o equipos de llenado a granel; y planificar el área en la que se realizará el envasado y la carga. La maquinaria a elegir dependerá de su capacidad y del volumen que se desea comercializar.

El proceso de postratamiento puede llevarse a cabo en la misma área de pretratamiento, ya que esta área cuenta con la maquinaria y el espacio disponible para realizar el cribado (véase en la Figura 27, marcado con ⑩) y las mezclas comerciales (en caso de que se desee).

Finalizado el postratamiento, el material está listo para ser almacenado (véase en la Figura 27, marcado con ⑪). La zona de almacenamiento debe ser cerrada o semi cerrada con paredes laterales, debido a que puede ser necesario almacenar el material por largos

períodos de tiempo. Además, presenta una granulometría muy fina y puede ser transportado fácilmente por el viento, en especial por vientos fuertes como es el Zonda.

Para poder dimensionar el área de almacenamiento es necesario conocer la relación entre el volumen de materiales de input y el volumen de compost terminado y cribado producido en la planta. Sin embargo, esta relación varía significativamente según el sistema tecnológico aplicado y según los materiales de input empleados para llevar a cabo el proceso. Garrido Ibáñez (2015) en su trabajo menciona que el rendimiento de la planta (que emplea un sistema tecnológico de túneles) es del 78%. Por otro lado, Córdova Molina (2006) considera que durante el proceso de compostaje el volumen se reduce a un 60% con respecto al material con el que se armó la pila, para un sistema de hileras con ventilación forzada y empleando residuos desechos vegetales urbanos (principalmente residuos leñosos). Dadas las semejanzas con este trabajo, se considerará ese valor para el cálculo del área de almacenamiento del producto. Otro factor a tener en cuenta es el volumen de producto que se debe almacenar, según los objetivos del proyecto y del propio inversor. Se recomienda mantener una capacidad de almacenamiento de al menos 3 meses (Sánchez Díaz, 2008-2009).

Observando la Tabla 18, el lapso de 3 meses consecutivos en los que hay mayor producción de compost terminado corresponde al periodo entre mayo y julio; y en esos meses se da por finalizado el proceso de 8 camas de maduración.

8 camas de maduración x 455 m³/cama = 3.640 m³ de material al inicio del proceso

$$3.640 \text{ m}^3 \times 0,60 = \mathbf{2.184 \text{ m}^3 \text{ de compost terminado}}$$

En esta área no es necesario separar el compost en pilas, sino que puede colocarse en forma conjunta en un mismo sitio. Esto permite no sólo ahorrar espacio, sino que además tiende a homogeneizar el producto (en caso de que tuviera variaciones estacionales) lo cual es una característica deseable si se desea comercializar el compost. Suponiendo que se disponga el material terminado en una sola pila con forma de prisma cuadrangular, con una altura de 4 m y un largo máximo de 20 m; el ancho necesario para almacenar el volumen calculado es:

$$a = \frac{2.184 \text{ m}^3}{4 \text{ m} \times 20 \text{ m}}$$

$$a = 27,3 \text{ m}$$

Para mantener el orden en el área y que sea posible que el producto se almacene en esta forma, se deben construir paredes que rodeen la pila mencionada y le sirvan de soporte.

Considerando el grosor de las paredes, el área de almacenamiento tendrá aproximadamente una superficie de **560 m²**.

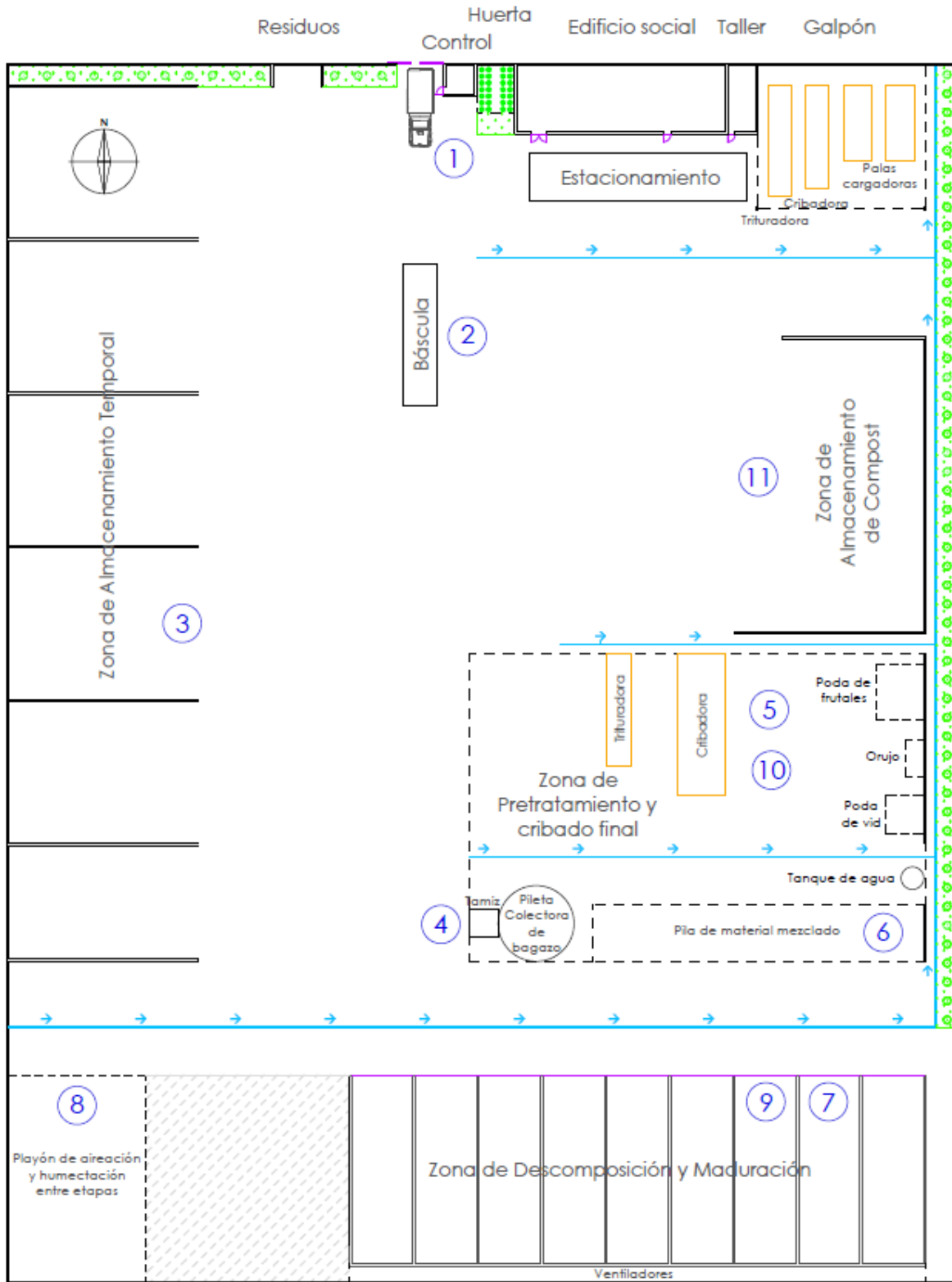
5.3.5. Instalaciones y zonas adicionales

Además de las zonas destinadas a los procesos de compostaje, se deben planificar zonas adicionales. En primer lugar, es necesario construir un edificio que funcione como oficina, vestuario con espacio social y cocina para los empleados y recepción de los visitantes, que cuente con un estacionamiento contiguo. Un edificio de 150 m² sería suficiente para cubrir estas necesidades (desde ahora mencionado como Edificio social), junto a otros 115 m² para el estacionamiento. También se requiere de un galpón de unos 262,5 m² para guardar las 2 palas cargadoras, la cribadora y la trituradora, y un taller edificado para las herramientas y maquinarias pequeñas de mantenimiento (soldadora, compresor, aceites, combustibles y otros) de 21 m² en la planta. Se debe prever el movimiento de la maquinaria empleada en la planta como así de los camiones que transporten el material ingresante, dejando espacio suficiente para permitir la correcta maniobrabilidad de los mismos.

Se armará una huerta pequeña (20 m²) junto al edificio de administración y recepción para mejorar la percepción de los clientes/visitantes, en la cual se empleará el compost producido en la planta y demostrar sus resultados sobre el crecimiento exitoso de hortalizas, flores y plantas ornamentales. Por último, el terreno empleado se rodeará con una barrera forestal a fin de disminuir el impacto visual producido hacia los vecinos de la zona y frenar vientos fuertes.

5.4. Esquema de la planta

En la Figura 27 se presenta un esquema ilustrativo para la planta junto a su cuadro de referencias. Adicionalmente a este esquema, puede encontrarse un plano de planta acotado de la planta diseñada en el Anexo III.



Área Total: 13.002,55 m²

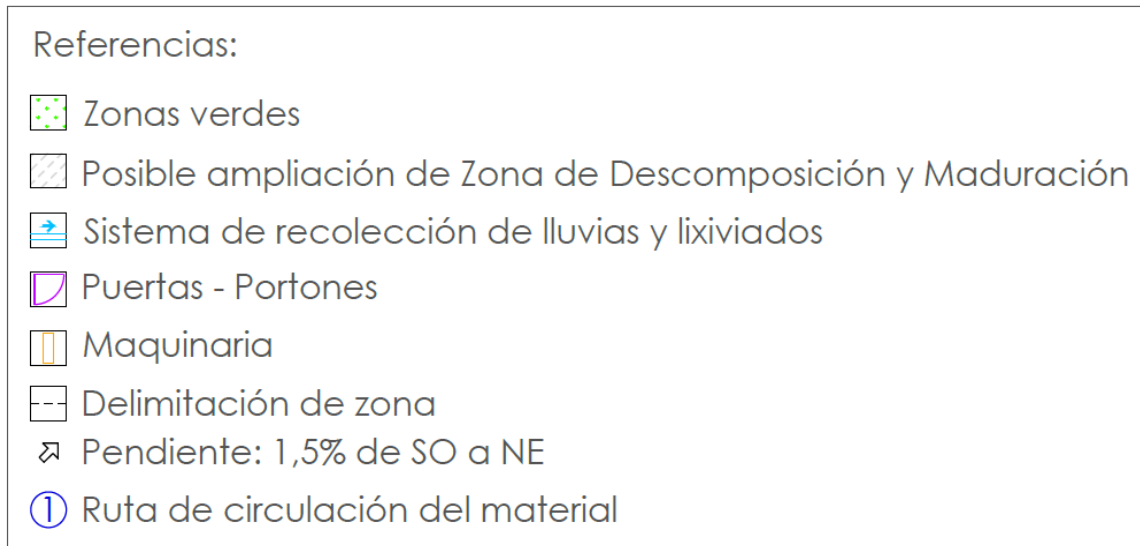


Figura 27: Esquema sugerido para la planta industrial de compostaje [A], y referencias del esquema [B].

Fuente: Elaboración propia.

Para este diseño se optó por colocar las camas de maduración formando una sola fila, ya que de esa forma se aprovechaba más eficientemente el espacio en relación a las demás zonas. También puede observarse que el espacio comprendido entre el playón de aireación y humectación entre etapas, y la Zona de Descomposición y Maduración se ha marcado como “Posible ampliación de Zona de Descomposición y Maduración”, en donde podrían agregarse 2 camas de maduración adicionales, ampliando la capacidad de la planta. Entre tanto, este espacio puede usarse como parte del mismo playón, ya que no requiere ningún tipo de construcción ni separación adicional.

Considerando la distancia mínima que debe dejarse entre las distintas zonas, y dada la cercanía entre la Zona de Almacenamiento de Compost y el galpón, se decidió reducir el largo de la pared norte de esta zona, para facilitar la salida de la maquinaria desde el galpón; por lo que el ancho de la zona es ligeramente mayor al calculado anteriormente para poder almacenar el mismo volumen. Si bien no se ha señalado un camino de circulación para la maquinaria, la ruta que sigue el material de input ingresado a la planta está indicada por la numeración ya mencionada.

Anteriormente se mencionó que la pendiente natural del terreno era adecuada y no era necesario realizar modificaciones sobre el terreno. Sin embargo, debido a la ubicación y orientación de la Zona de Almacenamiento de compost, será necesario modificar la pendiente de esta zona, de forma que su pendiente sea de 2%, de Este a Oeste. De esta forma, se protege el compost terminado del agua de lluvia que pudiera escurrir en la planta. Adicionalmente, se implementó un sistema de recolección de agua junto a las zonas en las que podrían llegar a producirse lixiviados, o en las que el agua de lluvia podría llegar a escurrir hacia el material en tratamiento. Este sistema de canales conduce el agua recogida hacia la principal zona verde de la planta, que está formada por una barrera forestal que cubre la mayor parte del límite Este de la planta. Las demás zonas verdes se han colocado en aquellos sectores visibles al público, a fin de dar una buena impresión a los visitantes.

Finalmente cabe mencionar que, si bien en la teoría se ha trabajado con datos precisos; en la operación de una planta de compostaje se trabaja con valores aproximados (por ejemplo, se menciona que se necesitan 140 L/m³ para humedecer el material seco, en la práctica resulta difícil estimar el volumen empleado con precisión, por lo que se emplean características visibles a simple vista basadas en la experiencia para evaluar esta tarea). Además, en la operación de una planta de compostaje siempre pueden existir imprevistos con los que hay que modificar la gestión según cada caso; como por ejemplo un corte prolongado de luz, la avería de alguna maquinaria, la licencia de empleados por enfermedad, etc.

6. Conclusiones

La actividad agroindustrial de la provincia de Mendoza es acompañada forzosamente con la generación de diversos residuos orgánicos cuyo mal manejo representa un gran impacto negativo en el ambiente.

En este trabajo se estudió el caso de una empresa conservera que cuenta con fincas en las que se cultivan especies frutales que son utilizadas en los procesos industriales que lleva a cabo, y cuyo principal producto residual es bagazo formado fundamentalmente por durazno, junto a otros restos de frutas empleadas en sus productos.

Entre las posibles alternativas de gestión de los bioresiduos generados se optó por el compostaje, a través del cual no sólo se reduce el volumen de desechos, sino que también

se obtiene una enmienda orgánica que proporciona múltiples beneficios en el suelo y que puede emplearse o venderse según se desee.

Luego de confirmar la aptitud de los materiales para ser compostados y teniendo en cuenta su volumen, así como los recursos, necesidades y objetivos de la empresa; fue posible identificar los métodos y sistemas tecnológicos que mejor se adaptaban al caso y con ello diseñar una planta industrial de compostaje acorde a estas características.

Mediante la construcción de una planta de compostaje, se estaría haciendo reuso de los bioresiduos de la empresa, volviéndolos materia prima para un nuevo proceso y generando un nuevo producto de valor. De esta manera, la empresa reduciría los costos de gestión de residuos (transporte y disposición final) y los gastos en fertilizantes para sus fincas.

Como este ejemplo hay muchos productores y agroindustrias con una producción de residuos orgánicos en enormes volúmenes, que enfrentan la dificultad de una gestión inadecuada de estos materiales. En este trabajo se busca brindar las herramientas para la gestión y operación de una planta de compostaje como alternativa para la reutilización de los bioresiduos generados en su actividad y, de esta manera, mostrar el camino hacia un manejo apropiado de estos desechos disminuyendo su impacto ambiental y generando valor a partir de su aprovechamiento económico. Con esto en mente, un breve resumen de esta idea fue presentada en la World Student Environmental Network (WSEN) Tercera Cumbre Ambiental de Estudiantes Latinoamérica, llevada a cabo en los años 2020 y 2021; con el objetivo de compartir los alcances de esta tesis con estudiantes de más de 10 países de Latinoamérica y difundir su efecto positivo en nuestras comunidades.

7. Bibliografía

Agencia de Residuos de Cataluña. (2016). *Guía práctica para el diseño y explotación de plantas de compostaje*. Cataluña, España.

Agencia Extremeña de la Energía. (2013). *Los residuos agrícolas de poda*.

Aliquó, G., Catania, A., Aguado, G. (2010). *La Poda de la Vid*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Mendoza, Argentina

Baldini, E. (1992). *Arboricultura General*. Madrid: Mundi-Prensa. Madrid, España.

Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., Mata, D. A. (2014). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Mendoza, Argentina.

BIODEGMA (2001). *Manual de gestión Planta de Compost Zoológico de Mendoza*. Umweltschutz Nord Argentina SRL. Manual sin publicar

Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., Cabrera Capitán, F. (2008). *Factores que afectan al proceso de Compostaje*. (93-109). Reina Mercedes, Sevilla.

Butler, T., Sikora, L., Steinhilber, P., Douglass, L. (2001). *Compost age and sample storage effects on maturity indicators on biosolids compost*. Journal of Environmental Quality 30. pp 2141 – 2148.

Córdova Molina, C. (2006). *Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Costa, F., García, C., Hernández, T. Polo, A. (1991). *Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y utilización*. Murcia, España.

Dunst, G. (2015). *Kompostierung und Endenherstellung*. Austria.

Ehrenfried, E. (1992). *Introducción al método agrícola biodinámico*. Biodynamics, boletín de la Asociación de Agricultura Biodinámica Estadounidense.

Ekinici, K., Keener, H., & Elwell, D. (2004). *Effects of aeration strategies on the composting process*.

Epstein, E. (2011). *Industrial Composting. Environmental Engineering and Facilities Management*. CRC Press. Boca Raton, Florida. Estados Unidos de América.

Fernández, C., Baroni, A., Ríos Vera, M., Cantaloube, M., Manjón, J., Bonamaison, C., Marianetti, A. (2019). *Matriz Productiva para Mendoza*. Instituto de Desarrollo Rural. Mendoza, Argentina.

García Céspedes, DI, Lima Cazorla, L. A., Ruíz Gutiérrez, L., Calderón Peñalver, P. A. (2014). *Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compostaje a nivel de fincas*. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Ecuador.

Garrido Ibáñez, A. (2015). *Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles*. Escuela técnica superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

Giusquiani, P. L., Pagliai, M., Gigliotti, G., Businelli, D., Benetti, A. (1995). *Urban waste compost: effects on physical, chemical and biochemical soil properties*. Journal of Environmental Quality 24. pp 175 – 182.

Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Boca Raton, Florida, Estados Unidos de América.

Jeris, J. S., Regan, R. W. (1973). *Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting*. Compost Sci, (14). 8-15.

Kiehl, F.J. (1985). *Fertilizantes orgánicos*. Editora Agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo, Brasil.

Kjeldahl, J. (1883). *New method for the determination of nitrogen in organic substances*. Zeitschrift für analytische Chemie, 22 (1). pp 366 – 383.

Kolar, K. (1992). *Gravimetric determination of moisture and ash and in meat products*. Journal of AOAC 75(6). International (USA). pp 1016 – 1022.

Mirábile, M. Entrevista realizada por Sebastián Llaver, Julio de 2020. Mendoza, Argentina.

Pendl, S. (2014). *Optimierung einer Schneideeinheit für einen Leisehäcksler*. Tesis de Licenciatura en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Ciencias Aplicadas de Mittweida, Austria.

Pisi, G. (2017). *Compostaje del orujo de uva agotado y uso del compost obtenido como componente de sustrato para plantines florales*. Trabajo final de Magister en Floricultura, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

Regairaz, M. (2000). *Suelos de Mendoza*. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina. CONICET. Argentina.

Ros Muñoz, M. (2012-2014). *Guía para la obtención de compost a partir de residuos y subproductos de la industria agroalimentaria*. Proyecto Life + AGROWASTE. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Murcia, España.

Sánchez, A. (2006). *Estudio de maquinaria idónea para las labores de compostaje de alperujos*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Sánchez Díaz, I. (2008-2009). *Estudio técnico y económico de una planta de tratamiento de residuos vegetales en Getafe*. Máster profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Getafe, España.

Suler, D. J., Finstein, S. (1977). *Effect of Temperature, Aeration and Moisture on CO₂ Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste*. Environ, Microbiol., 33 (2). 345-350.

Tchobanogolus, G., Theisen, H., Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Ed. McGrawHill. 1107p. Madrid, España.

Thomas, P. Entrevista realizada por Sebastián Llaver, Enero de 2021. Mendoza, Argentina.

Van der Wurff, A. (2016). *Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture*. BioGreenhouse COST Action. European Cooperation in Science and Technology.

Whitten, K., Davis, R., Peck, M. (1998). *Química General*. McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U.

Apartado: Links de internet

Compost Systems. <https://www.compost-systems.com/es/>

Contém – Gestión Verde SL. <http://www.contemcontenedores.com/2011/01/medidas-contenedores.html>

Direct Industry. <https://www.directindustry.es/>

Düvelsdoft. <https://www.duevelsdorf.de/en/>

Grupo Leiva. <http://www.grupoleiva.com.ar/>

Información Legislativa y Documental (InfoLEG). Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación. Argentina. <http://infoleg.gob.ar/>

Komptech. <https://www.komptech.com/>

Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost. Disponible en <https://argentinambiental.com/>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España. https://www.mapa.gob.es/app/sustratos-cultivo/consulta_analisis.asp?tipo=4&sustrato=94&analisis=80

Oficina Federal de Estadística de Alemania. <https://www.destatis.de/EN/Home/node.html>

Recovery Worldwide. <https://www.recovery-worldwide.com/>

Statista. <https://es.statista.com/>

Talleres Espi. <https://talleresespi.com/>

Tienda IT&T. <https://tiendaityt.com/>

Traco Iberia, S.L. <https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Sistema-de-compostaje-vertical-VCU-165776.html>

Water Technology. <https://www.water-technology.net/>

Willibald Recycling Technik. <https://www.willibald-gmbh.de/willibald/produkte/shredder/baureihe-ep-5500-shark.php>

Anexo I

Cuestionario dedicado a la empresa, para la proyección de una Planta de Compostaje

(Dr. Peter Thomas. Cátedra de Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO)

Una Planta de COMPOST recupera y transforma los residuos orgánicos de la agricultura, la industria alimenticia y los residuos de la poda de cultivos en un mejorador de suelo y fertilizante orgánico de alta calidad para el agro, la producción orgánica en huertas, la jardinería y la producción de sustratos de aplicación específica.

Con la aplicación de una tecnología adecuada se puede certificar al compost según normas internacionales; es libre de semillas y restos vegetales con poder germinativo y libre de gérmenes patógenos.

Además del objetivo comercial, indudablemente la operación de una planta de compost tiene un objetivo de reputación (verde, ambiental) y un impacto publicitario extraordinario para la empresa. La producción de compost fomenta la producción agrícola en general y la producción orgánica en especial, apoyando a los agricultores a aumentar su productividad, participando en el mercado orientado a la exportación de alimentos orgánicos saludables.

No es solamente un emprendimiento para tratar residuos orgánicos sino un rubro de negocio y comercial novedoso ya que **COMPOST es un mejorador de suelo y un fertilizante.**

El COMPOST disminuye la necesidad de la aplicación de fertilizantes químicos, en la aplicación de insecticidas y bactericidas de los cultivos y, ayuda además en desligarse parcialmente o totalmente de la importación de fertilizantes químicos o de guano y estiércol en general con una carga sanitariamente cuestionable.

Para la evaluación de la factibilidad técnica, del rendimiento y de la economía de una Planta de Compost, se debe tomar en cuenta el origen del material de input, objetivo de la producción y costos de construcción, equipamiento, insumos y operación.

La rentabilidad de la inversión depende:

...de la capacidad anual en volumen o toneladas de recepción de material de INPUT en la planta a proyectar.

...de la clasificación y distribución porcentual en tiempo del volumen y las toneladas del material de INPUT por año.

...de la capacidad, tamaño y tipo de trituradora, cribadora y equipamiento a aplicar en el proceso.

...de las características de construcción y del proceso de producción de la planta.

...del volumen de OUTPUT/producción de COMPOST y productos de la planta.

Material de INPUT para compostar (llenar una hoja para cada material)

	Marcar	Especificar / Denominación
Tipo de material Puede nombrar varios	Poda de árboles frutales	
Origen del material	Cultivo de finca propia	X
Periodicidad de entrega Puede nombrar varios	Invernal (de Junio a Agosto) En verde (de Noviembre a Abril)	
Volumen y/o peso por periodicidad de entrega	Tonelada m ³ otro	Calculamos 80 m ³ de madera por ha/Año. El volumen entregado por día depende del rendimiento del chipeado y de la recolección.
Estructura del material	Troncos Ramas (indicar diámetro) Hojas	Troncos y ramas verdes desde 5 hasta 15 cm de diámetro y largo variable. Hojas de Duraznero
Contiene aditivos químicos Puede nombrar varios	No	
Contiene aditivos físicos Puede nombrar varios	Cuáles	Distintas fracciones de tierra, dependiendo el método de recolección / carga para su traslado
¿Hay material alternativo disponible?	Otro	Tierra con gran cantidad de arcilla y limo.

Material de INPUT para compostar (llenar una hoja para cada material)

	Marcar	Especificar / Denominación
Tipo de material Puede nombrar varios	Residuos de conservera	Residuos obtenidos por el pelado químico de las frutas industrializadas, principalmente Durazno y Pera.
Origen del material	Fábrica conservera	X
Periodicidad de entrega Puede nombrar varios	Diariamente	Desde Enero hasta Abril, de Lunes a Sábado.
Volumen y/o peso por periodicidad de entrega	Tonelada m ³ otro	30 t diarias.
Estructura del material	Pastoso húmedo Líquido	Ej.: Pastoso húmedo y líquido
Contiene aditivos químicos Puede nombrar varios	SÍ	Soda cáustica
Contiene aditivos físicos Puede nombrar varios	NO	

Especificaciones del Material de INPUT que viene de la Finca

Tipos de cultivos (nombrar cultivos) Cantidad de hectáreas para cada cultivo	1 Durazno (220 Has) 2 Pera (66 Has)
---	--

Distancia de plantación en un tipo de cultivo en metros (nombrar cultivo 1): a) distancia entre hileras b) distancia entre plantas en una misma hilera	Durazno: A) 4 B) 2
--	--------------------------

Volumen de poda entre dos hileras (nombrar cultivo 1): a) volumen estimado sin triturar b) volumen estimado triturado	Durazno: A) 120 B) 4
---	----------------------------

<p>Distancia de plantación en un tipo de cultivo en metros (nombrar cultivo 2):</p> <p>a) distancia entre hileras</p> <p>b) distancia entre plantas en una misma hilera</p>	<p>Pera:</p> <p>A) 6</p> <p>B) 3</p>
<p>Volumen de poda entre dos hileras (nombrar cultivo 2):</p> <p>a) volumen estimado sin triturar</p> <p>b) volumen estimado triturado</p>	<p>Pera:</p> <p>A) 180</p> <p>B) 6</p>
<p>¿Se puede retirar la poda con hojas en algún cultivo? En caso afirmativo - CUÁL</p>	<p>Si, en ambos cultivos, siempre y cuando se retire los restos de una poda efectuada en verde (Primavera-Otoño)</p>
<p>DURAZNO</p> <p>Fecha de inicio finalización de poda</p>	<p>Inicio poda invernal: 1 de Junio</p> <p>Finalización poda invernal: 15 de Agosto</p> <p>Inicio poda en verde: 15 de Noviembre</p> <p>Fin poda en verde:20 de Abril</p>
<p>PERA</p> <p>Fecha de inicio finalización de poda</p>	<p>Inicio poda invernal: 1 de Junio</p> <p>Finalización poda invernal: 15 de Agosto</p>

COSTOS y GASTOS actuales (llenar una hoja para cada material)

El costo o gasto actual para deshacerse y/o el tratamiento de los residuos orgánicos: Se invierte mano de obra, horas hombre, horas camión y máquina, combustible, insumos, otros. Este costo es parte del rendimiento de inversión y presupuesto para una planta de compost y los productos a obtener.

	Marcar	Especificar / Cuantificar X, dinero, horas hombre, horas máquina, litros, unidad de medida, otro
Tipo de material	Poda de árboles frutales	
Origen del material	Cultivo de finca	Finca
Tipo de inversión o pago por... Puede nombrar varios	Trituración en el lugar	0,5 Jornal por ha, 40 L de GASOIL Un costo aproximado de \$650 /ha (mayo 2019)
Periodicidad de entrega Puede nombrar varios	Diariamente	Durante los meses de poda
Volumen y/o peso por periodicidad de entrega	Tonelada m ³ otro	SIN DATO
Unidad de medida por volumen y/o peso indicado	Pesos argentinos	Pesos Argentinos por Hectárea

INFRAESTRUCTURA de la Finca

Superficie de Finca en hectáreas Agregar Plano de Mensura	320 has
--	---------

Cantidad de hectáreas cultivados	286 has
----------------------------------	---------

Superficie disponible en metros cuadrados para la Planta de Compost	20.000 m ²
--	-----------------------

Pendiente del terreno para la Planta de Compost; marcar dirección en el plano; en “%” o “grado”	1,5% de Suroeste a Noreste
Disponibilidad de suministro de agua; marcar ubicación en el plano Caudal y/o Presión	Sí. Hasta 30 m ³ /h a 3 kg de presión
Disponibilidad de energía eléctrica; marcar ubicación en el plano Indicar si es mono- o trifásico y potencia instalada en kW	Sí. Trifásica. 100 kvar
Posibilidad de desviar agua sobrante del proceso de compostaje para el riego de árboles de cultivo frutales	Sí
Pala cargadora para trabajar en la Planta de Compost	No
Galpón para oficina, taller, guardar maquinaria y herramientas	Sí
Distancia al basural o relleno sanitario municipal en km; dirección de ubicación	20 km
Cercanía a productores de residuos orgánicos de otras empresas ajenas que pueden aumentar la productividad de la Planta de Compost	Bodega cercana. 10 Km

Anexo II

Fichas Técnicas de las maquinarias sugeridas

- **Ficha Técnica Trituradora Willibald Shark EP 5500 (traducida del alemán)**

Motor	MAN Diesel
Potencia	353 kW / 480 PS
Rev. de trituración	1.200 por min
Martillos	48 unidades (3,5 kg/cu) sobre 3 ejes
Capacidad de trabajo	150 a 230 m ³ /hora
Dimensiones	Ancho 2.500, Alto 4.500, Largo 11.750mm

- **Ficha Técnica Pala Cargadora Iron 956**

Peso operativo	18.000kg
Capacidad del balde	3 m ³
Motor	Weichai
Modelo	WD10G220E23
Potencia	215hp
Número de cilindros	6
Tipo	Diésel Turbo
Transmisión	4+2
Comando de operación	Pilot Control
Dimensiones	Ancho 3.030, Alto 3.400, Largo 7.920 mm
Articulación máxima	35°
Neumáticos	23.5 - 25
Altura máxima de descarga	4.300 mm
Capacidad de carga	5.000 kg

- **Ficha Técnica Cribadora Cribus 2800**

Entrada de energía eléctrica	25 kW
Generador Diésel	30 kVA
Volumen de la tolva	>5 m ³
Dimensiones (transporte)	Ancho 2.550, Alto 4.000, Largo 10.600 mm
Dimensiones del tambor	Largo 4.600, Diámetro 2.200 mm
Rendimiento (dependiendo del material)	Hasta 170 m ³ /h