



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



TESIS DE GRADO

INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS
ORGÁNICOS DE BODEGA: COMPOSTAJE Y OBTENCIÓN DE
ENMIENDA PARA USO AGRÍCOLA.

Tesista: Noelia Pasqualotto

Director: Ing. Agr. Dr. Ernesto Martin Uliarte

Codirector: Ing. R.N.R. Dr. Iván Funes Pinter

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Mendoza, Argentina

2022

**Caracterización y aprovechamiento de residuos orgánicos de bodega: compostaje y
obtención de enmienda para uso agrícola.**

Autor

Noelia Pasqualotto

Director

Ing. Agr. Dr. Ernesto Martin Uliarte

Codirector

Ing. R.N.R. Dr. Iván Funes Pinter

Comisión Evaluadora

MSc. Ing. Agr. Laura Martínez

Ing. R.N.R Ana Manduca

Dr. Ing. Agr. Pedro Rizzo

RESUMEN

Los residuos orgánicos pueden ser tratados mediante un proceso de compostaje obteniendo insumos para la producción agrícola. En este trabajo, se diseñó el proceso de compostaje a gran escala para Bodega Chandon, permitiendo utilizar en un mismo proceso diversos residuos orgánicos y de esta forma reducir el volumen de residuos generados. Los materiales compostables fueron, en mayor volumen, el orujo fresco y escobajo generado en la bodega, los residuos de jardinería, césped y hojas secas, y, en tercer lugar, como aporte complementario de nutrientes e inoculador de microorganismos, se incorporó guano de vaca de productores locales. A las muestras de materia prima inicial se les determinó pH, humedad, contenido de materia orgánica, cenizas, Nitrógeno, relación C/N y densidad aparente. Los valores obtenidos definieron las proporciones a usar de cada residuo para el compostaje. El volumen inicial total aproximado fue de 2100 m³ y su equivalente de 582 t. Se utilizó un sistema abierto de compostaje de pilas con volteos y riegos periódicos. Finalizado el proceso de compostaje se obtuvieron 330 t de compost para su uso como fertilizante orgánico y mejorador de suelos en las fincas por su alto contenido de materia orgánica y nutrientes. Los resultados físico químicos del compost terminado demuestran, según la Normativa Nacional vigente, que corresponde a un Compost Clase A, sin embargo, algunos indicadores estuvieron próximos a los límites de la clasificación, por lo que se proponen algunas prácticas para mejorar el proceso.

Palabras clave: compost, restos orgánicos, tratamiento, orujo de uva, Relación C/N.

ABSTRACT

Organic waste can be treated through a composting process obtaining inputs for agricultural production. In this work, a large-scale composting process was designed for Bodega Chandon, as organic waste treatment in order to reduce the volume of waste generated, obtaining a product to be used as soil amendment in the vineyard. The compostable materials were, in greater volume, the fresh and broom pomace generated in the winery, gardening waste, grass and dry leaves, and, thirdly, as a complementary contribution of nutrients and inoculator of microorganisms, cow guano from local producers was incorporated. The initial raw material samples were determined pH, humidity, organic matter content, ash, nitrogen, C/N ratio and bulk density. The values obtained defined the proportions to be used of each waste for composting. The approximate total initial volume was 2100 m³ and its equivalent was 582 tons. An open system of row composting with periodic turnings and waterings was used. After the composting process, 330 t of compost were obtained its usage as an organic fertilizer and soil improver on the farms due to its high content of organic matter and nutrients. The physical and chemical results of the finished compost demonstrate, according to current National Regulations, that it corresponds to a Class A Compost, however, some indicators were close to the limits of the classification, so some practices are proposed to improve the process.

Keywords: compost, organic waste, treatment, grape pomace, C/N ratio.

Contenido

1	Introducción	1
2	Objetivos.....	2
2.1	Objetivo general	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
3	Marco Referencial.....	2
3.1	Antecedentes.....	4
3.2	Compostaje	6
3.2.1	Etapas del compostaje	6
3.2.2	Factores del proceso de compostaje	8
3.2.3	Técnicas de compostaje	9
3.3	Compost.....	11
3.3.1	Indicadores.....	11
3.4	Marco Legal.....	12
3.4.1	Indicadores de calidad.....	15
4	Metodología.....	16
4.1	Primera etapa: Caracterización de residuos	16
4.1.1	Residuos	16
4.1.2	Muestreo	17
4.1.3	Análisis de laboratorio	18
4.1.4	Cálculo de proporciones	18
4.2	Segunda etapa: Diagnóstico y factibilidad del operativa	19
4.2.1	Sistema de compostaje	19
4.2.2	Selección del lugar	20
4.2.3	Prueba piloto armado de pila	20
4.2.4	Prueba de técnicas de volteo.....	21
4.3	Tercera etapa: Manejo y monitoreo del compostaje.....	23
4.3.1	Armado de las pilas de compost.....	23
4.3.2	Monitoreo de temperatura.....	23
4.3.3	Monitoreo de humedad.....	24
4.3.4	Control de pH y Conductividad eléctrica	25
4.3.5	Volteos o aireación	26
4.4	Cuarta etapa: Análisis compost final.....	27
4.4.1	Análisis de laboratorio	28
4.4.2	Índice de Madurez del compost	28
4.5	Análisis de costos económicos	30
5	Resultados.....	31
5.1	Análisis del proceso de compostaje.....	31

5.1.1	Temperatura.....	31
5.2	Análisis calidad del compost obtenido	32
5.2.1	Físico-químico	32
5.2.2	Microbiológico.....	34
5.2.3	Índice de Madurez del compost	35
5.3	Análisis de costos económicos del proyecto.....	37
6	Conclusiones del proyecto y consideraciones futuras	39
7	Bibliografía.....	41
8	Anexo I	45

Índice de Figuras

Figura 1 Evolución de la temperatura en la fase termófila.	7
Figura 2 Clasificación general de sistemas de compostaje.	10
Figura 5 Armado de pila de prueba.	21
Figura 6 Pala frontal utilizada para la prueba de volteo.	22
Figura 7 Mecanización del volteo de pilas de compostaje.	22
Figura 8 Pilas de compost con mangueras de riego instaladas.	23
Figura 11 Fotografía tomada el día 29 de diciembre de 2021	27
Figura 12 Muestras representativas de las pilas de compost terminado.	27
Figura 13 Seguimiento de la temperatura promedio de las pilas de compost durante el proceso.	31
Figura 14 Bioensayo de fitotoxicidad para 2 muestras de compost.	35
Figura 15 Curva concentración Zn – respuesta inhibición de la elongación radicular.	36

Índice de Tablas

Tabla 1 Indicadores de Sanidad.	14
Tabla 2 Indicadores de Estabilidad	14
Tabla 3 Indicadores de Madurez	14
Tabla 4 Parámetros de Calidad.....	15
Tabla 5: Valores Límites recomendados de Elementos Potencialmente Tóxicos	16
Tabla 6 Promedios de resultados fisicoquímicos de laboratorio.....	18
Tabla 7 Proporciones de cada residuo para la mezcla de materiales en la pila.	19
Tabla 8 Características fisicoquímicas del efluente de riego.	25
Tabla 9 Análisis de control del proceso de compostaje para pH y Conductividad eléctrica.	25
Tabla 10 Métodos analíticos para estudio físico químico.	28
Tabla 11 Resultados fisicoquímicos promedios y desviación estándar del compost y valores de referencia de la normativa nacional vigente.....	33
Tabla 12 Resultados análisis microbiológico de compost final.....	34
Tabla 13 Costos de inversión del proyecto de compostaje.	38
Tabla 14 Costos operativos del proyecto de compostaje.	38
Tabla 15 Proyección de costos a 5 años expresados en dólar U.S.A.	39

Agradecimientos

El agradecimiento más importante es a mi familia, mis padres Susana y Sergio por la enseñanza y darme la posibilidad de estudiar, por su amor y apoyo de cada día. A mi hermano Gianluca por su compañía en mil tardes y noches de estudio con mates y música. A mi pareja Renzo por estar en cada paso y logro durante estos años y por los viajes compartidos en busca de naturaleza. Agradecer a mis abuelos y a mi padrino, a quienes llevo siempre presente en mi corazón.

Una parte fundamental en la carrera fueron mis compañeras y compañeros quienes se transformaron en grandes amigas y amigos, gracias por compartir esta pasión y por tantos aprendizajes.

Gracias a Iván por los consejos, dedicación y generosidad, por tu buena onda siempre y guiarme ante cada duda.

Gracias a Martín por su experiencia y sabiduría compartida en cada análisis y resultados obtenidos.

Agradecer a INTA EEA Mendoza por darme la posibilidad de participar de este proyecto y desarrollar mi tesis de grado junto a un gran equipo de trabajo. Y al equipo de trabajo del Laboratorio de Suelos por realizar los análisis requeridos.

A la Bodega Chandon, por permitirme colaborar en este proyecto tan interesante, y en especial a Rocío, quién con gran amabilidad me brindó su ayuda y compartió sus conocimientos.

A la Facultad y en especial a los profesores de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por las enseñanzas, motivación y dedicación a lo largo de la carrera.

1 Introducción

La provincia de Mendoza, Argentina presenta un marco natural heterogéneo, signado por la aridez y la restricción del recurso hídrico, asociado a ciertas problemáticas ambientales como la erosión, pérdida de los suelos, pérdida de la biodiversidad, y desertificación. Situada en el centro-oeste argentino, cuenta con una superficie de 150.839 km² y una población de 1.741.610 habitantes (INDEC, 2010). Se localiza en la zona templada, es una provincia de clima árido a semiárido, con un promedio de precipitaciones de alrededor de 250 mm. La distribución de la población, de los principales centros urbanos y de las actividades productivas muestra un agudo proceso de concentración en los "oasis" irrigados. Este desequilibrio territorial constituye la base de casi todos los problemas ambientales en Mendoza, manifestados en la concentración económica y demográfica. Los oasis artificiales, que representan entre el 4,5% del territorio provincial, concentran al 98,5% de la población. Se desarrollan a manera de "islas" en las vastas tierras sin riego, que por su parte representan el 95,5% del territorio y el 1,5% de la población. En contraste, existen vastas tierras no irrigadas, destinadas fundamentalmente a actividades ganaderas de subsistencia (Abraham, et al. 2014).

Uno de los problemas ambientales de las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan tales como restos de poda, de cosecha, de postcosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros. En las Bodegas, el mayor porcentaje de residuos es generado por el proceso de elaboración del vino, principalmente, el que se obtiene a partir del orujo, que representa el 71 % del total. Teniendo en cuenta el total de residuos orgánicos generados a partir de la vinificación, basado en datos del año 2015, se calculó una cantidad anual de 141.365 t año⁻¹ de residuos biomásicos provenientes de esta industria. En cuanto a otras industrias se estiman 15.956 t año⁻¹ de en Frigoríficos de frutas, 11.552,9 t año⁻¹ en Poda urbana y 916,7 t año⁻¹ en Secaderos de frutas (FAO, 2017).

Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su descomposición natural o pudrición. Existen variadas opciones de reutilizar y revalorizar esos residuos a través de técnicas y tratamientos tales como la digestión anaerobia y creación del biogás, o bien el de forma aerobia mediante compostaje. La industria vitivinícola de Mendoza genera importantes volúmenes anuales de residuos sólidos provenientes de los procesos de vinificación.

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. El compostaje es un tratamiento que proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. Se define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas, cuyo producto, se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (FAO, 2013). Mediante esta metodología, se puede estabilizar los residuos de bodega y valorizarlos, transformándolos en una valiosa enmienda orgánica para los suelos de viñedos.

El presente trabajo se desarrolló en la Bodega Chandon, ubicada en el Km 29 del distrito de Agrelo, localidad de Luján de Cuyo, provincia de Mendoza. Es una Bodega de reconocimiento mundial dedicada desde hace 300 años a la producción de Vinos y Espumantes, actualmente integra la filial local del grupo LVMH (Louis Vuitton Moët Hennessy), el cual conforma un conglomerado multinacional francés, grupo de productos de lujo, líder en el mundo que reúne 75 marcas de prestigio de diferentes sectores comerciales. En Argentina, la compañía está conformada por dos unidades de negocio: Chandon Argentina, situada en Mendoza al pie de la cordillera de los Andes, dedicada a la elaboración y abastecimiento de productos a distintos

mercados alrededor del mundo; y Moët Hennessy Argentina, ubicada en Buenos Aires, dedicada al desarrollo de marcas y la comercialización de las mismas.

Actualmente posee 888.41 ha de vid cultivadas para la producción de Vinos y Espumantes, con lo cual se enfrenta todos los años a la generación de grandes volúmenes de residuos orgánicos, como orujo fresco y escobajo. En el año 2021 el total de orujo y escobajo generado fue de 2.431.600 kg. Existen varias alternativas para la gestión y el tratamiento de los residuos orgánicos, que tienen como objetivos reducir el volumen de los mismos y transformarlos en productos de utilidad, disminuyendo el riesgo de contaminación ambiental.

Con el propósito de realizar una gestión y aprovechamiento de los residuos orgánicos de la producción de Vinos y Espumantes, el Área de Sustentabilidad de la empresa Se vinculó con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (INTA EEA Mendoza) área de Agrotecnología Sostenible para el planeamiento y desarrollo de un proyecto de compostaje a gran escala. Bajo este marco, se utilizó el residuo asociado directamente a la producción como es el orujo y escobajo, y los residuos orgánicos frescos y secos de la poda de césped y hojas secas de los jardines. El tratamiento de los residuos orgánicos mediante compostaje, además de gestionar de forma adecuada los mismos, tiene como objetivo utilizar el compost, como enmienda orgánica en los viñedos, colaborando de esta forma a la transición hacia una producción orgánica de las fincas, reemplazando así el uso de fertilizantes químicos.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad de un sistema de compostaje, a gran escala, para el tratamiento de los residuos orgánicos de la empresa Chandon, de acuerdo a las particularidades locales y las capacidades de la empresa, para la obtención de una enmienda con alto valor agregado.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físico-químicamente los residuos sólidos compostables de la bodega.
- Diseñar las pilas de compostaje y adecuar una mezcla óptima de materiales a compostar.
- Evaluar el proceso de compostaje a partir del seguimiento de parámetros claves.
- Caracterizar integralmente el compost final obtenido y evaluar la calidad del producto en base a valores estándar.
- Analizar la dinámica de costos económicos asociados al proyecto de compostaje de la Bodega Chandon.

3 Marco Referencial

La creciente problemática sobre la acumulación de residuos en el ambiente ha llevado a la utilización de diferentes métodos para su posible aprovechamiento y/o revalorización. El proceso de compostaje, se encuentra dentro de las directrices marcadas por la unión europea en cuanto a procesos de revalorización de residuos orgánicos. Para ello, es necesario tener

en cuenta las diferentes etapas que constituyen el manejo de residuos sólidos, se inicia con la generación del o los residuos, sigue con el almacenamiento de los mismos, luego la recolección, el transporte, la transferencia, y finalmente el tratamiento para finalizar con la disposición final (Sáez y Urdaneta, 2014). Cumpliendo estas etapas de forma correcta se disminuye o evita la contaminación del aire, agua y suelo, se promueve la conservación del ambiente y la recuperación de materia orgánica de los suelos. Uno de los campos que presenta mayor cantidad de materia orgánica residual es el sector agrícola, donde la revalorización de estos residuos es necesaria para la obtención de abonos orgánicos que se pueden incorporar a los suelos de cultivo y sustituir el uso de fertilizantes químicos (Fombuena y Domínguez, 2020).

Particularmente en la Industria vitícola, el mayor volumen de residuos sólidos orgánicos se produce en la época de molienda y prensado. Existe una gama variada, lo que determina diferentes destinos y con ello, diferentes clases de impactos de cada residuo. Los mismos se diferencian en escobajo, orujo y borras. El escobajo proviene del proceso de despallado, es el armazón de sostén de los granos en el racimo de uva, una vez generado suelen disponerse en una playa de acopio, generalmente alejada para cuidar la estética visual, y posteriormente son retirados junto a orujo o bien suele ser utilizado en las fincas como mejorador de suelo. El orujo está compuesto por la piel y semillas, suele acumularse en una playa de secado ya que es un residuo que desprende ciertos lixiviados, posteriormente son enviados a otros establecimientos industriales como son las destilerías para producir diferentes subproductos de interés comercial. Las borras, principalmente, se disponen sólidas en contenedores que se retiran con variada periodicidad, con el mismo destino final. También se sacan semifluidas en tanques o se acumulan en playa o pileta hasta su transporte (Fasciolo y Herrera, 2003).

Considerando la cantidad de residuos biomásicos de la industria vitícola del año 2015, (141.365 t año⁻¹) siendo este el último análisis realizado de residuos industriales en la provincia, y los hectolitros de vino producido en toda la provincia (13.361.964 hl) podemos decir que se generan 10,6 k año⁻¹ de residuos orgánicos por cada hectolitro de vino. En 2016 se quintuplicó la cantidad de litros producidos por y en el año 2017 aumentó 20.000 hl. más que en 2016, por lo tanto, ante un aumento en la producción los residuos también aumentan proporcionalmente (INV, 2015; INV, 2018).

Los residuos orgánicos, tratados con microorganismos producen abono de elevada calidad, ya que desarrolla una producción biológica de calor, consiguiendo un producto estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas (Cotacallapa-Sucapuca *et al.*, 2020). El orujo de uva se caracteriza por tener alto contenido de materia orgánica, polifenoles, potasio, fósforo y nitrógeno. Los polifenoles, son compuestos relacionados con efectos fitotóxicos, hace que sea necesario someterlo a un tratamiento de acondicionamiento como el compostaje, antes de utilizar estos residuos con fines agrícolas (Pisi, 2017). Además de los efectos nocivos de la fitotoxicidad, la adición de los residuos de bodega no tratados al suelo puede tener otros inconvenientes, entre los cuales los más relevantes son la inmovilización de nitrógeno, aumento de la conductividad eléctrica del suelo, o un retraso en la mineralización de la materia orgánica. Por lo tanto, la aplicación agrícola de estos desechos necesita someterse a un proceso de estabilización como el compostaje, para eliminar o corregir sus propiedades potencialmente negativas. A su vez, varios autores han informado de la idoneidad del compost de orujo de uva como una enmienda del suelo para diferentes propósitos en agricultura, horticultura o restauración (Paradelo *et al.*, 2013).

El proceso de compostaje abre las puertas a la valorización de residuos orgánicos generados por la industria vinícola, dando un producto de interés agrícola, sustituyente de fertilizantes y creando un modelo de economía circular, aspecto a tener en cuenta dentro de las acciones futuras del marketing de las propias bodegas productoras de vino (Fombuena y Domínguez, 2020).

3.1 Antecedentes

Las primeras referencias al desarrollo de técnicas primitivas de compostaje se registran en China, India y Japón, hace unos 4.000 años. Luego, el contacto entre pueblos y civilizaciones a través de invasiones y conquistas, fueron transmitiendo estas técnicas hacia otras áreas, entre ellas Europa. Con el paso de los años, las diferentes civilizaciones fueron transfiriendo y modificando las técnicas. En el siglo XIX comenzaron a desarrollarse investigaciones científicas y tecnológicas en el área del compostaje y la primera tesis doctoral sobre la aplicación del compost se llevó a cabo en Alemania en 1892 (Albanesi *et al.*, 2012).

Sir Albert Howard, científico inglés que trabajó como investigador, asesor y director de un instituto de investigación agrícola en la India, consideraba que la fertilidad de los suelos pasaba por el reciclaje de todos los residuos orgánicos, ideó un proceso para producir compost al que denominó "Proceso Indore". La primera descripción del método apareció en el libro "The Waste Products in Agriculture" (1931) y posteriormente fue mejorada. Los principios fueron la mezcla de los residuos, la neutralización de la acidez si fuera necesario, y permitir que los microorganismos responsables del proceso se encontraran en las mejores condiciones. El sistema original de Howard se realizaba en superficies alisadas o zanjas, durante tres meses con dos volteos y riego periódico. El método se propagó rápidamente por todo el mundo y en el mismo año de la publicación del libro, se construyó en Holanda la primera planta industrial de compostaje sobre la base "método Indore", y en 1937 aparece en Dinamarca el primer sistema de compostaje cerrado (Albanesi *et al.*, 2012).

Actualmente, en Europa la organización legal prohíbe la inadecuada disposición de residuos desde hace treinta años aproximadamente, dejando como única opción la quema de los mismos o su reintegro al sistema productivo (Camargo Mayorga *et al.*, 2020). El reciclaje y compostaje de materiales orgánicos es común en los países europeos, principalmente por una necesidad de mejorar la eficiencia en la utilización de sus recursos naturales y por una fuerte presión ambiental de los consumidores. Al nivel de las industrias se realizan procesos de reciclaje y compostaje de residuos orgánicos, lo que permite su utilización en suelos agrícolas y forestales (Salazar, 2005).

En España, se realizó el estudio comparativo de compostaje de dos tipos de residuos de bodega, lodos y escobajo de uva, mezclados en dos proporciones (1: 1 y 1: 2), y además se analizó los efectos de moler los escobajos de uva. El compost resultante tuvo un alto valor agronómico, especialmente adecuado para los suelos de los viñedos, que tienen un contenido muy bajo de materia orgánica, y puede reintroducirse en el sistema de producción, cerrando así el ciclo de material residual. Los resultados óptimos se encontraron en el compost con una proporción de 1:2, previa molienda de los escobajos, con una humedad de alrededor del 55% y una temperatura máxima de alrededor de 65 °C y una concentración de oxígeno no inferior al 5-10% (Bertrán *et al.*, 2004).

En América Latina, según la FAO (2013), existen diversas experiencias de compostaje con residuos y mezclas de subproductos de diferentes generadores, hogares e industrias. En Mendoza, Argentina desde la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de INTA, se han realizado diversos proyectos de investigación y asistencia técnica a empresas sobre compostaje a gran escala. Uno de ellos se realizó en conjunto con Derivados Vínicos S.A. (DERVINSAs), una destilería ubicada en Palmira, Mendoza, dedicada a reciclar residuos de bodegas para generar diferentes productos de uso vitivinícola y farmacéutico como Ácido Tartárico Natural, Ácido Metatartárico, Aceite de Pepita de Uva y Alcohol de Vino, entre otros. Se evaluó el efecto en la fertilidad y salinidad del compost de orujo de uva maduro producido en DVSA, en suelos cultivados con vid dentro de la EEA. El compost utilizado tuvo una relación C:N cercana a 15, presentó una salinidad media, pero adecuada para el sistema vitícola, con adecuado contenido nutricional, valores normales de nitrógeno y potasio. El compost de orujo de uva resultó un abono orgánico útil para incrementar la fertilidad de un suelo a 30 días, como así también promisorio para la nutrición nitrogenada de plantas de vid recientemente

implantadas. A corto plazo, entre los 10 y 20 días las condiciones óptimas de temperatura y humedad, dadas por la incubación del suelo y la aplicación de dosis crecientes favorecieron la fertilidad del suelo, observada principalmente en el contenido de nitrógeno y fósforo, sin riesgo de salinidad (Martínez *et al.*, 2020). El compost obtenido a partir de la mezcla de residuos, presentó mayores contenidos de macro y microelementos, especialmente P, Mn y Zn, que el compost elaborado solo con orujo agotado. (Funes Pinter, *et al.* 2019).

La aplicación de abonos orgánicos es una práctica que otorga numerosos efectos beneficiosos, desde el punto de vista de la fertilidad edáfica como de las propiedades físicas relacionadas a la aireación e infiltración del agua. Además, contribuyen a conservar la materia orgánica a lo largo de los años y disminuir la erosión hídrica, es por ello que resulta una práctica recomendada para el manejo sostenible de los suelos áridos agrícolas típicos de Mendoza (Martínez *et al.*, 2020).

Actualmente, hay un gran cambio de paradigma de producción y consumo a nivel mundial. En los últimos años ha aumentado el interés por parte de consumidores y productores, en relación a las problemáticas ambientales asociadas a procesos productivos y se acrecienta la búsqueda por parte de los consumidores de alimentos saludables. Estas demandas han dado lugar al surgimiento de nuevas formas de producción, principalmente relacionadas a la obtención de alimentos. En este contexto, la vitivinicultura regional está reorganizando sus procesos técnicos hacia una producción más amigable con el ambiente, tendiente a mejorar la sustentabilidad ambiental de la actividad (Fruitos *et al.*, 2019).

La Economía Circular contribuye a este nuevo paradigma productivo e intenta contraponerse a la cuestionada economía lineal de producir, usar y tirar, basándose en la reutilización inteligente de desechos y en el ecodiseño como eje de la innovación en la producción de bienes industriales. Entiende a los desechos de materiales involucrados en los procesos industriales y comerciales como nutrientes de otros procesos productivos y biológicos (Suárez, 2021). Desde el punto de vista empresarial y social, es generadora de beneficios económicos, sociales y ambientales, tales como la reducción de la deforestación, residuos sólidos, emisiones de carbono, protección de los recursos naturales, potencializa la innovación, el rediseño mediante un sistema circular de productos mejorando el rendimiento a nivel industrial con productos de mayor duración y creando nuevos puestos laborales (Ortiz-Palomino y Fernández Bedoya, 2021, Arroyo Morocho 2018).

La transformación de agroecosistemas desde una lógica convencional hacia una orgánica o agroecológica, implica atravesar un proceso denominado *transición* en el cual se modifican las técnicas o prácticas desarrolladas hasta el momento. Éstas son reemplazadas por aquellas basadas en principios ecológicos que favorecen procesos naturales e interacciones biológicas que optimizan sinergias, de modo tal que la agrobiodiversidad sea capaz de subsidiar por sí misma procesos claves, tales como la acumulación de materia orgánica, la fertilidad del suelo, los mecanismos de regulación biótica de plagas y la productividad de los cultivos (Fruitos *et al.*, 2019).

Esta transición implica a nivel de finca, restaurar parcial o totalmente las múltiples funciones de un ecosistema sano. Refiriéndose a que un agroecosistema recupere la capacidad para proveer servicios ecosistémicos como la captación, almacenaje y depuración del agua, mejore su balance nutricional, provea un control biológico de plagas para los cultivos, aumenta el secuestro de carbono, la provisión de hábitats para las especies silvestres, el valor cultural y recreacional del paisaje, la generación local de empleo, entre otras (Tittonell, 2019).

La agricultura orgánica es un sistema de producción que, mediante el manejo racional de los recursos naturales, sin la utilización de productos de síntesis química, produce alimentos sanos, manteniendo o incrementando la fertilidad del suelo y la diversidad biológica (Van den Bosch *et al.* 2018). La Producción Orgánica en Argentina está regulada desde el año 1999 por la Ley 25.127, sus Decretos y Resoluciones, estando a su vez definida por organismos oficiales y privados internacionalmente reconocidos, como el Código Alimentario o la

Asociación IFOAM (Federación Internacional de los Movimientos de Agricultura Orgánica); e incluye un sistema de certificación y control. Los términos orgánico, ecológico y biológico son sinónimos y sólo podrán aplicarse a productos que cumplan con esta Ley.

La autoridad competente para el sistema de inspección de la producción orgánica en Argentina es la "Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación" a través del SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). Es quien realiza la fiscalización del cumplimiento de esta normativa oficial del proceso productivo y comercial, tiene la responsabilidad de habilitar, controlar e inspeccionar a las empresas certificadoras privadas para que realicen el control de quienes producen, elaboran y comercializan productos orgánicos (IDR, 2020).

La producción orgánica se basa en el manejo de recursos renovables integrados en sistemas agrícolas, para ello debe minimizar el uso de recursos no renovables, reciclar los residuos y los subproductos de origen vegetal y animal con el objeto de reponer los nutrientes en la tierra para mantener y aumentar la fertilidad del suelo y contribuir a la prevención de la erosión del mismo. Los cultivos deben nutrirse a través del ecosistema edáfico en lugar de hacerlo a través de fertilizantes sintéticos añadidos al suelo, lo cual requiere de un manejo de la fertilidad del suelo basado en el reciclaje de la materia orgánica (Resolución 374, SENASA, 2016).

3.2 Compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición termofílica aerobia para residuos sólidos orgánicos a través de diversas poblaciones de microorganismos en condiciones controladas, para producir un material orgánico estabilizado y humificado. El producto final obtenido, puede ser utilizado como fertilizante y enmienda orgánica. Por lo tanto, el compostaje es considerado una técnica de estabilización y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos (Salazar, 2014).

Es un tratamiento eficiente, ya que permite un reciclaje completo de los residuos orgánicos generados en un proceso productivo agropecuario. Convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico (CIC), incrementa la materia orgánica en el suelo, mejora la variación de la temperatura edáfica y el aumenta la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación. Otro efecto beneficioso desde lo agronómico es la capacidad de colaborar con el control de enfermedades fúngicas de las plantas reduciendo las pérdidas en la cosecha (Román, *et al.* 2013).

3.2.1 Etapas del compostaje

Como ya se mencionó anteriormente, se trata de un proceso biológico aeróbico, es decir, con presencia de oxígeno, adecuada humedad y temperatura, el cual permite una transformación higiénica de los residuos orgánicos. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de macro y microorganismos que difieren en sus características nutricionales lo que provoca variaciones de temperatura en el período de tiempo que dura el proceso completo de descomposición.

La diversidad de microorganismos que participan durante el compostaje, constituye un ecosistema que se va haciendo más complejo, a medida que van degradando la materia orgánica y se van dando cambios en los parámetros fisicoquímicos. Los cambios marcados de las especies microbianas durante el compostaje, depende de su metabolismo e interacción con los parámetros fisicoquímicos y el tipo de sustrato. La composición de las comunidades microbianas es regulada por los parámetros fisicoquímicos de la materia prima empleada, principalmente la relación Carbono-Nitrógeno y la humedad, dependiendo de estos factores pueden existir especies que son universales y otras específicas para cada sistema de compostaje (Vásquez y Millones, 2021).

El proceso de compostaje presenta tres etapas en relación con la temperatura, inicia con una etapa Mesófila, con temperaturas menores a 45 °C; la segunda etapa llamada Termófila, con temperaturas mayores a 45 °C; y, por último, presenta una segunda fase Mesófila o de enfriamiento donde desciende la temperatura a valores cercanos a la temperatura ambiente.

En primera instancia el proceso inicia con una etapa mesófila, la mezcla de materiales adquiere temperaturas entre 10-45 °C, debido a la abundancia de nutrientes y los grupos de microorganismos que intervienen están asociados a la generación de energía como producto del metabolismo de compuestos fácilmente degradables como carbohidratos (Antunes et al., 2016). Predominan las bacterias, levaduras, mohos y actinomicetos mesofílicos. En esta etapa se descompone con rapidez los azúcares, el almidón, las proteínas y las grasas liberando gran cantidad de energía lo que conlleva a que se multipliquen rápidamente los microorganismos y se eleve la temperatura en el interior de la pila. La actividad metabólica y la falta de disipación del calor incrementa paulatinamente la temperatura y, consecuentemente, la microflora termófila, que se encuentra en estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable y depende de numerosos factores siendo particularmente sensible a las condiciones de humedad y aireación (Lavado, 2012).

Le sigue la etapa termófila, la cual inicia aproximadamente a los 45 °C, y puede alcanzar los 75 °C. La microflora mesófila es sustituida por la termófila, principalmente por hongos del grupo de actinomicetos, quienes facilitan la degradación de materia orgánica compleja, es decir, celulosa y lignina. Una característica importante de esta etapa, también llamada de higienización, es permitir, a partir de las elevadas temperaturas alcanzadas, la eliminación de patógenos y bacterias de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, parásitos, esporas de hongos fitopatógenos y también la viabilidad de germinación de semillas tanto de malezas como de residuos orgánicos, lo cual permite usar el compost para cultivos de consumo y evita la propagación de malezas y otras plantas no deseadas (Meena, et al. 2021).

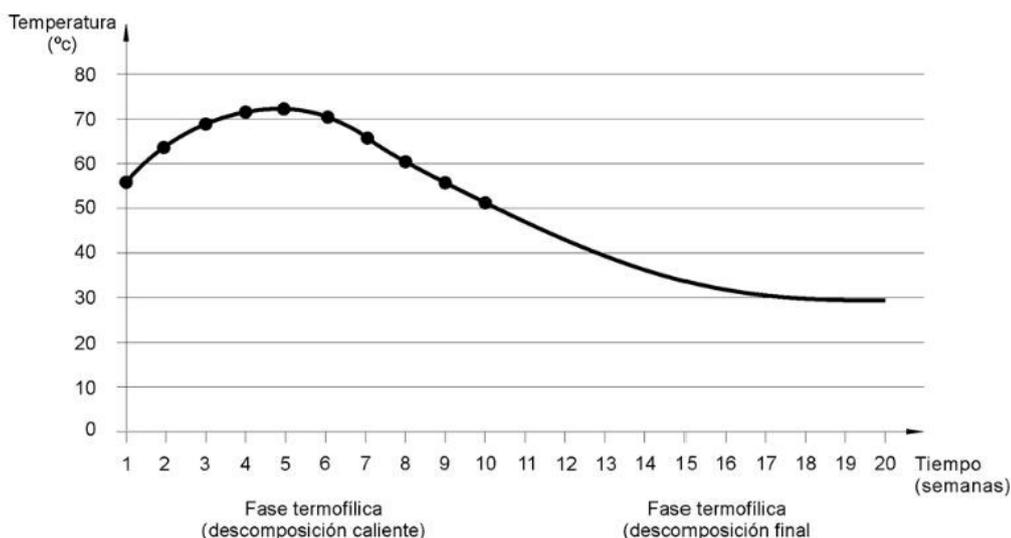


Figura 1 Evolución de la temperatura en la fase termófila.

Como muestra la Figura 1, el nivel de temperatura se mantiene aproximadamente por 8 a 12 semanas, y luego comienza a bajar paulatinamente hasta los 30 o 40 °C dando lugar a una nueva fase (Norma IRAM 29556-1-2011).

La segunda fase mesófila comienza con el descenso de la temperatura, por debajo de los 40 °C y acercándose a temperaturas ambiente. En esta etapa, se desarrollan nuevamente microorganismos mesófilos que utilizan los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como restos de celulosa y lignina.

Finalmente, una cuarta etapa consiste en la maduración del compost, ocurre una degradación lenta de la materia orgánica más resistente a la degradación, por lo que esta etapa puede durar hasta tres meses en algunos casos. La temperatura de la pila de compost desciende al nivel de temperatura ambiente (20-30 °C). Además, durante esta fase se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román, *et al.* 2013).

Es importante tener en cuenta que en las pilas o hileras de compost se distinguen dos regiones o zonas, una zona central o núcleo la cual está sujeta a los cambios térmicos más evidentes y una zona cortical o corteza que rodea al núcleo, que está expuesta y puede verse afectada por la temperatura ambiente y factores climáticos. Con lo cual, la temperatura que evidencia las diferentes fases o etapas son las tomadas en la zona central o núcleo de las pilas.

Otro aspecto a considerar tiene que ver con la dinámica del proceso, es necesario en las pilas sin aireación forzada, remover o voltear las pilas, de forma tal que el material de la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descritas anteriormente se presente por lo general más de una vez. Un momento ideal es cuando la temperatura llega a su máximo, luego de la aireación la temperatura desciende, pero luego vuelve a subir a las pocas horas, de esta forma provocamos que todo el material alcance la fase termofílica el tiempo necesario para eliminar los patógenos presentes.

3.2.2 Factores del proceso de compostaje

Debido a que el proceso de compostaje es llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta aquellos factores que afectan el crecimiento y multiplicación de los mismos. Entre estos factores se encuentran parámetros ambientales, como la temperatura, contenido de humedad y aireación, y parámetros de la naturaleza de los residuos orgánicos como la relación carbono-nitrógeno, pH, tamaño de partículas, densidad, porosidad y contenido de nutrientes (Fernández, 2018).

3.2.2.1 Temperatura

Como se mencionó en la descripción de etapas, la temperatura es el parámetro que permite hacer un seguimiento del proceso, monitorear la evolución de los grupos microbianos intervinientes y alcanzar la higienización del material. Es importante realizar de forma periódica el monitoreo para el óptimo desarrollo de cada etapa y obtener así un producto final higienizado, estable y maduro.

3.2.2.2 Humedad

Para el desarrollo de las comunidades microbiológicas es importante que el contenido de humedad de la mezcla de materiales sea equilibrado en la totalidad de la pila y dentro del rango de 45 y 65% de humedad. Por debajo de 40% la actividad biológica disminuye perjudicando el desarrollo de microorganismos y la degradación de la materia orgánica. De igual forma con exceso de humedad, se pierde la capacidad de contener aire y con ello las condiciones de aerobiosis necesarias. Ambas situaciones pueden revertirse devolviendo las condiciones óptimas del proceso, en caso de falta de humedad, se debe realizar un riego al material, hasta lograr condiciones cercanas al 50%, y en caso de exceso, resulta efectivo el agregado de material seco y mezclar o voltear el material para su incorporación.

3.2.2.3 Aireación

Es el parámetro básico de una fermentación aerobia, La aireación en la mezcla de la materia orgánica debe asegurar la incorporación del oxígeno del aire y la eliminación del dióxido de carbono producido en la oxidación de la materia orgánica. La concentración óptima de oxígeno en el interior de las pilas está comprendida entre el 5% y el 15%. La ventilación de las pilas se asegura por medio de volteos periódicos de las pilas de compostaje o a través de sistemas de aireación forzada. Una insuficiente aireación provoca una limitada evaporación de agua, lo cual comienza a generar exceso de humedad y con ello zonas de anaerobiosis, en estos casos se debe realizar el volteo de la mezcla y/o la adición de material estructurante que permita la aireación. Por el contrario, cuando se excede en ventilación, se reduce la temperatura y la humedad por mayor evaporación del agua, con lo cual es necesario reponer la humedad, con riego o con el agregado de material orgánico fresco.

El tamaño de las partículas también influye en la aireación, dependiendo el tamaño de los materiales a compostar pueden existir casos de compactación cuando intervienen partículas muy finas (menores a 5 cm) que propician una escasa porosidad en la mezcla, y por el contrario partículas muy grandes (mayores a 30 cm) generan un exceso de aireación, diversos efectos ralentizan el proceso por los inconvenientes ya mencionados.

3.2.2.4 pH

Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 6.5 a 8.0. A lo largo del proceso y al atravesar las diferentes etapas del mismo el pH varía en el rango mencionado, de acuerdo a la materia orgánica disponible para degradar y las comunidades microbianas presentes. Es común que al iniciar el proceso y durante la fase mesófila el pH sea más ácido por la formación de ácidos orgánicos, durante la etapa termófila tiende a aumentar y puede llegar a valores de 8 y hasta 9, debido en particular a la conversión de amonio (NH_3) a amoníaco (NH_4^+). Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debería sobrepasar el valor de 8.5.

3.2.2.5 Relación Carbono/Nitrógeno

La Relación C/N es un índice de la cantidad de Carbono y Nitrógeno de un material orgánico o bien del suelo, revelando la calidad del mismo ya que indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas. Es uno de los factores que debemos analizar antes de comenzar el proceso, para determinar la proporción de materiales correcta de cada componente. El rango que debe tener la mezcla inicial de materiales es entre 25:1 y 35:1. La relación C:N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (% C total) sobre el contenido de N total (% N total) de los materiales a compostar. Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

3.2.3 Técnicas de compostaje

Existen variadas técnicas para producir compost, su selección depende del uso que se le quiera dar, del productor, de las necesidades del mercado, de la cantidad de material a procesar y tipo de materia prima. Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos: abiertos y cerrados (Figura 2). En los primeros, el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones que pueden ser estáticos o por volteo, mientras que, en los segundos, la fase de fermentación se realiza en reactores que pueden trabajar en continuo o discontinuo. En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura (Román *et al.*, 2013). El uso de determinado sistema de producción depende del conocimiento del proceso, de las materias primas disponibles, del tipo de comercialización que se le dará al producto, la viabilidad técnica y económica del proyecto y el uso de tecnología disponible y de la localización de la planta de compostaje (Lavado, 2012)

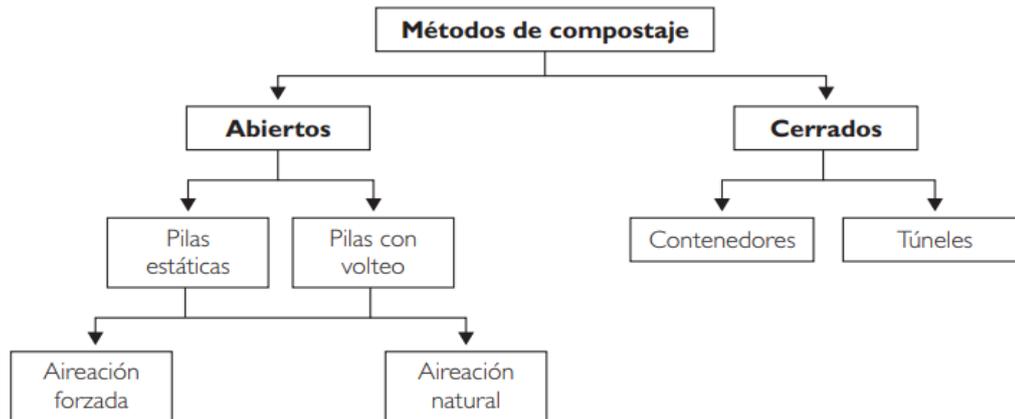


Figura 2 Clasificación general de sistemas de compostaje.

3.2.3.1 Sistemas abiertos

Pilas estáticas

Es el sistema más antiguo y se realiza en pilas, de reducida altura ya que la masa a compostar no se mueve durante el proceso. Es el sistema más económico, ya que la ventilación es la natural, a través de los interespacios de la masa a compostar (Cuadros, 2008). En estos sistemas el proceso se ralentiza, por lo que el tiempo de compostaje puede superar los 12 meses. Además, el material final obtenido puede presentarse como demasiado heterogéneo.

Pilas estáticas con ventilación forzada

La pila de fermentación es estática y en su formación se ha dispuesto en su interior, de un sistema mecánico de ventilación por tubería perforada o por canal empotrado en la solera del parque de fermentación. Las tuberías se conectan con un ventilador que asegura la entrada de oxígeno y la salida de CO₂. Esta ventilación puede ser por inyección o impulsión de aire o por succión o extracción (Cuadros, 2008). El aire puede ser impulsado de forma negativa o positiva, esto quiere decir que el bombeo puede ser por succión o por presión. El sistema de succión permite un tratamiento de olores más efectivo que el de presión, pero éste último es más eficaz en refrescar la pila (Misra, *et al.*, 2003). El período de estabilización dura entre 4 o 6 meses. Es recomendado cuando se dispone de poco espacio y se desea completar el proceso en menos de un año. Esta técnica necesita de una serie de equipamientos, como un compresor de aire, tuberías, válvulas y sistemas de control de presión de aire, temperatura y humedad, por lo tanto, encarece el costo de inversión (Córdova, 2006).

Pilas o hileras de volteo

El material es dispuesto en hileras el cual será volteado durante el proceso, ya sea de manera manual o mecánica. Al voltear frecuentemente las pilas se promueve la descomposición uniforme de los residuos, ya que las capas externas más frescas de la pila de residuos vegetales se mueven a las capas internas donde se exponen a temperaturas más altas y a una actividad microbiana más intensiva. La frecuencia de los volteos está dada según el material a tratar, por ejemplo, los elementos más porosos necesitan de una menor frecuencia de volteos que aquellos materiales que son más densos. Generalmente se recomienda dos veces a la semana durante el primer mes, luego una vez por semana el siguiente mes, al tercer mes cada 15 días y los meses restantes una vez al mes. El proceso se realiza en corto tiempo, ya que se completa entre tres meses y un año, dependiendo del material a compostar (Córdova, 2006).

3.2.3.2 Sistemas Cerrados

En esta técnica el proceso se desarrolla en contenedores cerrados, en general todos los parámetros se encuentran controlados de manera automática. La finalidad de estas metodologías es acelerar el proceso de transformación. Se consiguen tasas de procesamiento de hasta una semana frente a los sistemas tradicionales que duran entre uno y tres meses. Son sistemas más complejos y son más costosos de construir, operar y mantener (Álvarez de la Puente, 2010).

3.3 Compost

El compost es un sustrato sólido con alto poder fertilizante y estabilizante de los suelos, producido a través del compostaje, un proceso metabólico complejo realizado por comunidades microbianas existentes en los residuos orgánicos que, en presencia de oxígeno, contenido de humedad del 50%, temperaturas mesófilas y termofílicas, degradan la materia orgánica aprovechando el nitrógeno y el carbono para producir su propia biomasa (Fernández, 2018). De esta forma el compost es el producto resultante de la transformación mediada por microorganismos de diferentes tipos de materiales orgánicos, procedentes de distintas fuentes naturales y procesos industriales. Ya que los materiales que dan origen a los compost son muy diversos se debe considerar que cada materia prima tiene características propias, lo que obliga a realizar pretratamientos en algunos casos y distintos tipos de mezclas, para asegurar el funcionamiento del proceso de compostaje y también la calidad del compost (Mazzarino y Satti, 2012).

Numerosos estudios han demostrado que el compost utilizado como sustrato de plantas mejora la resistencia a las enfermedades, esto podría deberse a la presencia de bacterias benéficas tales como aquellas pertenecientes a los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*. Estas bacterias son resistentes a las temperaturas, por lo que pueden encontrarse aún después de la etapa termófila. Se clasifican como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB, del inglés Plant Growth Promoting Bacteria), porque participan en el crecimiento vegetal mediante la producción de compuestos fito estimulantes, fijan el nitrógeno atmosférico al suelo por su actividad enzimática nitrogenasa, permiten la solubilización de minerales como el fósforo, son productores de sideróforos para el aprovechamiento del hierro y además, tienen la capacidad de sintetizar compuestos con actividad inhibitoria de fitopatógenos (Fernández, 2018; Funes Pinter, *et al.* 2019.).

3.3.1 Indicadores

Los indicadores de madurez y estabilidad son parámetros que determinan la calidad de un compost para su uso. Estabilidad se refiere a las propiedades del compost relacionadas con la disminución del Carbono fácilmente biodegradable y la actividad microbiana, es decir, a mayor estabilidad, menor degradabilidad y menor actividad microbiana. Mientras que madurez se refiere a la finalización efectiva del proceso de compostaje en un producto sin sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento vegetal (Rizzo, 2020).

Entre los indicadores de estabilidad más utilizados figuran: temperatura, consumo de O₂, producción de CO₂, carbono soluble en agua (CSA) y relación CSA/N total, mientras que para madurez se recomienda amonio, relación amonio/nitratos, índice de germinación y test rápidos de crecimiento vegetal. Luego de cumplimentar estos aspectos de calidad se determina el compost en cuanto a su calidad agronómica, es decir se evalúa su valor como enmienda (mejorador de suelos) o fertilizante (aumentar el rendimiento vegetal) (Mazzarino y Satti, 2012).

3.4 Marco Legal

El derecho ambiental actual en Argentina tiene su base en la reforma de la Constitución Nacional, realizada en 1994, entre otros derechos de tercera generación¹ se establece el artículo 41, el cual se refiere al denominado derecho a una mejor calidad de vida y comprende varios aspectos, como la defensa del medio ambiente y de los recursos naturales, el desarrollo de disciplinas auxiliares de la ecología, la reparación del daño ecológico, la prohibición del ingreso de residuos tóxicos y radiactivos al territorio nacional, y consagra un nuevo principio, al asignar competencia específica y privativa al Congreso Nacional para regular los presupuestos mínimos de protección ambiental, dejando a las Provincias el dictado de la legislación complementaria (Montbrun, *et al.* 2016; Cassagne, 2016).

Una de estas leyes sancionada en Julio de 2002, es específica de los Residuos Industriales, la Ley Nacional N° 25.612 Gestión Integral de Residuos Industriales y Actividades de Servicio, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios, regulando Niveles de riesgo, Generadores, Tecnologías, Registros, Manifiesto, Transportistas, Plantas de tratamiento y disposición final, Responsabilidad civil, Responsabilidad administrativa, Jurisdicción, Autoridad de aplicación y Disposiciones complementarias.

Dicha ley establece, dentro de sus objetivos, garantizar la preservación ambiental, la protección de los recursos naturales, la calidad de vida de la población, la conservación de la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas; minimizar los riesgos potenciales de los residuos en todas las etapas de la gestión integral; reducir la cantidad de residuos que se generan; promover la utilización y transferencia de tecnologías limpias y adecuadas para la preservación ambiental y el desarrollo sustentable; y la cesación de los vertidos riesgosos para el ambiente. En el Artículo 57 establece las funciones de la Autoridad de Aplicación, dentro de las cuales se encuentra la de promocionar la utilización de procesos productivos y métodos de tratamiento que impliquen minimización, reciclado y reutilización de los mismos, y la incorporación de tecnologías más adecuadas para la preservación ambiental, como así también asesorar y apoyar a las jurisdicciones locales en los programas de fiscalización y control de los residuos (Hernández, *et al.*, 2019)

En noviembre del mismo año se promulgó la Ley General del Ambiente N° 25.675 estableciendo los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable, fijando los principios para la interpretación y aplicación de toda norma que ejecute la política ambiental. Tiene entre sus objetivos, promover el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, en forma prioritaria; promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales; mantener el equilibrio y dinámica de los sistemas ecológicos; promover cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal; organizar e integrar la información ambiental y asegurar el libre acceso de la población a la misma; establecer un sistema federal de coordinación interjurisdiccional para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional, así como establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales para la prevención y mitigación de emergencias ambientales y para la recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental (Hernández, *et al.*, 2019)

¹ A diferencia de los derechos tradicionales, donde el interesado es una persona concreta, en los derechos de la tercera generación el interés jurídicamente protegido se relaciona con necesidades comunes a un conjunto indeterminado de individuos que sólo pueden satisfacerse desde una óptica comunitaria. Son derechos cuyo "titular" es indeterminado y donde el perjuicio concreto es difícil de precisar (por ejemplo, la eliminación de un bosque, la construcción de una represa, la mala prestación de un servicio público, etc).

En enero de 2019, la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria aprueban mediante *Resolución Conjunta 1/2019 el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost*. La norma tiene por objeto definir las posibles aplicaciones y establecer los requisitos necesarios que debe cumplir el compost elaborado a partir de residuos orgánicos separados en origen y recolectados de manera diferenciada, a efectos de su registro, asegurando una gestión sustentable y promoviendo su producción, uso y aplicación en las distintas jurisdicciones provinciales. Establece entre otros aspectos, las responsabilidades y atribuciones de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria; los requisitos de sanidad y clasificación del compost maduro; Análisis y Registro del mismo; Límites y parámetros de calidad.

A partir de esta norma se define al Compost como un producto higienizado, estable y maduro que resulta del proceso de compostaje. Está constituido, mayormente, por materia orgánica que presenta poco parecido físico a la materia prima que le dio origen, y al Compostaje como un proceso controlado de transformación biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas y termófilas. Por acción microbiana deben transcurrir tres etapas diferentes y en el orden enunciado: 1) Una primera etapa mesófila; 2) Una etapa termófila; 3) Una segunda etapa mesófila (o de maduración).

Además, define los siguientes conceptos de interés:

-Estabilidad: estado estacionario de un proceso de descomposición biológica. Condición por la cual se alcanza el equilibrio de la actividad biológica y constancia en la temperatura que debe ser similar a la del ambiente.

-Etapa Mesófila: fase del proceso de compostaje en la que se alcanzan temperaturas entre 10 °C y 45 °C.

-Etapa Termófila: fase del proceso de compostaje en la que se alcanzan temperaturas mayores a 45 °C.

-Higienización: proceso que involucra el o los tratamientos tendientes a la disminución del contenido de agentes patógenos por debajo de los límites establecidos en la presente norma, con el objetivo de proteger la salud pública y el ambiente.

-Maduración o segunda etapa mesófila: fase del proceso de compostaje durante la cual la temperatura desciende hasta valores similares a la ambiental aún en condiciones de humedad y aireación óptimas. Durante esta fase el producto se estabiliza y madura alcanzando los valores recomendados por los indicadores de estabilidad y madurez.

-Madurez: cualidad del producto estable y sin sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento vegetal. Se alcanza con la finalización efectiva del proceso de compostaje.

-Materias Primas: residuos, de origen animal o vegetal, factibles de ser compostados. Las mismas están listadas en el Anexo III de la Resolución.

-Residuo: sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación legal de hacerlo.

-Residuo mixto: residuos no separados en origen o provenientes de una recolección no diferenciada.

-Residuo orgánico: cualquier residuo susceptible de sufrir transformación biológica, ya sea aeróbica o anaeróbicamente.

-Separación en origen: segregación de residuos en el sitio en que son generados según categorías que permitan un tratamiento específico de valorización.

Dentro del apartado Requisitos y Clasificación, se establecen los requisitos sanitarios que debe cumplir el compost terminado. En la Tabla 1 los Indicadores de Sanidad Tabla 2, , requisitos de estabilidad (deberán medirse, al menos, un indicador de cada grupo) y Tabla 3, parámetros de madurez (deberán medirse al menos dos indicadores, uno de los cuales debe ser el índice de germinación).

Tabla 1 Indicadores de Sanidad.

Parámetro	Proceso	Valor límite
<i>Coliformes fecales</i>	Sistemas abiertos ≥ 55 °C, 25 días con al menos 5 volteos	< 1000 NMP por gramo de compost en base seca
<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 Ascaris en 4 gramos de compost en base seca

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, Resolución Conjunta 1/2019.

Tabla 2 Indicadores de Estabilidad

Indicadores de estabilidad		
Grupo I	C soluble en agua (CSA)	< 10 g kg ⁻¹
	CSA/N total	≤ 0,7
Grupo II	Producción de CO ₂	< 120 mg de CO ₂ kg ⁻¹
	Test Solvita	≥ 5 mg CO ₂
	Índice Respirométrico Estático (IRE)	≤ 0,5 mg O ₂ g MO.h ⁻¹
	Índice Respirométrico Dinámico (IRD)	≤ 1 mg O ₂ g MO.h ⁻¹

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, Resolución Conjunta 1/2019.

Tabla 3 Indicadores de Madurez

Indicadores de madurez	
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	< 400 mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹
Relación amonio/nitrato	< 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, Resolución Conjunta 1/2019.

3.4.1 Indicadores de calidad

Según la norma, los parámetros de calidad del producto, categorizan el producto del proceso en 2 grupos: *Clase A* y *Clase B*. En la Tabla 4 se muestran los valores de parámetros de calidad que debe cumplir el producto para cumplir con los requisitos de cada clase.

-*Compost Clase A*: Este producto no presenta restricciones de uso ni aplicación.

-*Compost Clase B*: Este producto presenta restricciones en su aplicación, para la aplicación de compost clase B deberá contemplarse la dosis anual de carga y la carga máxima admitida de Elementos Potencialmente Tóxicos según los valores límites indicados en la Tabla 5, que se podrán introducir en suelos anualmente (kg/ha. año) y carga máxima admitida en 10 años (kg/ha).

Tabla 4 Parámetros de Calidad

Parámetros	Compost Clase A	Compost Clase B
pH	5 - 8,5	
Olores	No debe presentar olores desagradables	
Humedad (%)	<60	
Conductividad Eléctrica (CE dS m ⁻¹)	<4	<6
Relación C/N (%)	≤ 20	<30
Materia Orgánica (%)	≥ 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

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, Resolución Conjunta 1/2019.

Tabla 5: Valores Límites recomendados de Elementos Potencialmente Tóxicos .

Elementos potencialmente tóxicos	Valor límite (kg (ha. año) ⁻¹)	Carga máxima admitida (kg ha ⁻¹)
Cadmio	0,15	0,5
Cobre	12	40
Cromo total	3	10
Mercurio	0,1	0,3
Níquel	3	10
Plomo	15	50
Zinc	30	100
Arsénico	0,5	1,8

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost, Resolución Conjunta 1/2019.

4 Metodología

Si bien el proceso de compostaje sigue una serie de etapas preestablecidas y pasos generales a cumplir, cada proyecto presenta condiciones únicas, por lo tanto, es importante acondicionar el proceso y realizar una planificación acorde a las instalaciones, tipos de residuos, maquinaria y recursos humanos disponibles, destino del compost, etc. Se resumen a continuación las diferentes etapas asociadas a cada objetivo específico.

4.1 Primera etapa: Caracterización de residuos

4.1.1 Residuos

Una tarea a realizar, en esta primera instancia, es el muestreo y la caracterización físico química de los diferentes residuos orgánicos a compostar, en este caso se utilizó orujo fresco, escobajo, restos de segados de césped y hojas secas provenientes del predio de la Bodega, y se utilizó una proporción de guano de vaca, proveniente de un productor local., se definirán las proporciones necesarias de los materiales iniciales para realizar la mezcla óptima a compostar

Orujo y escobajo

Procedentes de la producción de vinos y espumantes de forma anual en grandes cantidades, es el tipo de residuo que predomina en la mezcla a compostar. El total de orujo y escobajo generado en el 2021 fue de 2.431,6 t. Para el presente proyecto fueron utilizados 500 t, el resto fue enviado, como es usual, a Derivados Vínicos (DERVINSa), una destilería dedicada a procesar residuos de bodegas como se mencionó anteriormente.

Residuos de jardinería

Tales residuos son generados debido a los parquizados que posee la Bodega, y los diferentes árboles. El césped se genera de forma continua durante todo el año, siendo en mayor volumen en época de primavera y verano. Por otra parte, se cuenta con hojas secas recolectadas principalmente en otoño y parte de invierno. Usualmente estos residuos se disponen de forma conjunta en un sitio de acopio donde se descomponen de forma no controlada ni deseada, ya

que se generan condiciones de anaerobiosis y fermentaciones, generando malos olores y pérdida de nitrógeno, además de liberación de gases contaminantes. Para realizar un estimativo de los volúmenes disponibles de ambos residuos, se tuvo en cuenta la capacidad volumétrica de los carros de transporte de los mismos y la frecuencia con que se realizaban las limpiezas de los jardines. La disponibilidad de los mismos fue de 7 t de hojas secas y 21,6 t de pasto.

Guano

Con el objetivo de aumentar la microflora de la mezcla y mejorar la disponibilidad de nutrientes en el producto terminado, se adquirieron 60 t de guano de vaca, provenientes de un productor local.

4.1.2 Muestreo

Una vez identificados los materiales a utilizar en el compostaje, se realizó la toma de muestras para la caracterización física y química y sobre todo para determinar las proporciones de cada uno en base a una relación C/N óptima de la mezcla final. El orujo y escobajo se encontraban en la playa de secado (Figura 3), las hojas y pastos en el sector de acopio de restos de jardín, y las muestras del guano fueron tomadas en las instalaciones del productor. En todos los casos se extrajeron 3 muestras superficialmente y a una profundidad de 10 cm. Para cada muestra se reunió al menos 1 kg, a partir de porciones tomadas en diferentes puntos elegidos aleatoriamente. Las muestras se dispusieron en envases cerrados rotulando para cada una: el tipo de muestra, fecha de muestreo y ubicación. El guano presentó diferencias organolépticas, se observó mayor descomposición y compactación en profundidad que en superficie, por lo tanto, se tomaron muestras en 3 estratos diferentes: desde la superficie hasta 20 cm; entre 20 cm y 30 cm; y entre 3 cm y 40 cm.

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Riego del Área de Recursos Naturales de la EEA Mendoza, del INTA. Se analizó Humedad, Materia Orgánica y Cenizas en base húmeda y en base seca, Nitrógeno total en base seca, Relación C: N y densidad aparente, en base seca y base húmeda.



Figura 3 Orujo fresco y escobajo en la playa de acopio y secado.

4.1.3 Análisis de laboratorio

En la Tabla 1 del Anexo se muestran los datos obtenidos en los análisis de laboratorio de forma extendida. A continuación, con el objetivo de facilitar el cálculo de las proporciones a utilizar de cada residuo y teniendo en cuenta que el guano recibido contiene proporciones similares de los diferentes estratos muestreados, del mismo modo el orujo y el escobajo se encuentran mezclados en su lugar de acopio, por lo tanto, se realizó un promedio de los valores para hacer más operativo el análisis (Tabla 6).

Tabla 6 Promedios de resultados fisicoquímicos de laboratorio.

Residuo orgánico	Humedad (%)	Materia orgánica (%)	Cenizas (%)	Densidad Aparente (kg(m ³) ⁻¹)	Materia orgánica (%)	Cenizas (%)	Nitrógeno total (%)	Densidad Aparente (kg(m ³) ⁻¹)	Relación C:N
	En base húmeda				En base seca				
Orujo fresco y escobajo	44,67	48,83	6,60	193,80	87,83	12,17	1,64	83,39	32,23
Hojas secas	10,30	65,40	24,30	14,20	72,80	27,20	0,78	12,70	52,50
Pasto seco	73,80	19,30	6,90	108,50	73,70	26,30	2,66	28,40	15,50
Guano	52,83	25,77	21,37	344,20	54,77	45,23	1,88	162,60	16,40

Una vez disponibles los resultados, es el momento de calcular las proporciones a utilizar de cada residuo para lograr una mezcla óptima que cumpla con las condiciones necesarias para un correcto proceso. Con dicha proporción se procede a realizar el pedido de las cantidades de guano necesarias.

4.1.4 Cálculo de proporciones

Para el correcto funcionamiento del compostaje, resulta de significativa importancia emplear los residuos en la proporción adecuada, de acuerdo a las características de cada uno (tiempo de generación y disponibilidad de los mismos a lo largo del año) y cómo interactúan en la mezcla final. Para este paso, se utilizaron dos herramientas de cálculo diferentes de mezclas de compostaje para asegurar el resultado. Se realizaron cálculos en un documento Excel de porcentajes de Carbono y Nitrógeno, para obtener la Relación C/N de cada material a compostar. Se comprobó el resultado con la otra herramienta de la Universidad Nacional de Washington, "WSU-Puyallup Compost Mixture Calculator, versión 2.1" en la cual se realiza la carga de datos de laboratorio de los diferentes residuos y permite probar diferentes proporciones de mezcla, generando resultados de la relación carbono nitrógeno final. De esta forma, se comprobó el resultado obtenido. El valor de la relación C/N de la mezcla resultó en 26, indicando proporciones acordes a los volúmenes de residuos disponibles, siendo el orujo y escobajo el de mayor predominancia. A continuación, en la Tabla 7 se muestran las proporciones elegidas.

Tabla 7 Proporciones de cada residuo para la mezcla de materiales en la pila.

Residuo Orgánico	Proporción	Carbono Proporcional	Nitrógeno Proporcional	C/N Mezcla
Guano	0,05	2,54	0,13	26,08
Orujo	1,9	72,58	2,79	
Hojas	0,6	3,13	0,06	
Pasto	0,03	0,35	0,02	
SUMA	2,58	78,61	3,01	

Una de las tareas previas al armado de las hileras, consistió en acopiar los materiales a compostar en el sitio definitivo. Del componente hojas y pasto, se trasladaron 200 m³ desde el sitio de disposición final de restos de jardinería de la bodega, hasta la platea de compostaje y se recibieron las bateas de guano de vaca, con una densidad en apariencia visual más alta a las de referencia del muestreo realizado. En este caso no se realizó un pretratamiento de los mismos, por lo cual había mucha variabilidad de tamaños en los residuos de jardinería encontrando césped, hojas, ramas finas y ramas de gran espesor.

4.2 Segunda etapa: Diagnóstico y factibilidad del operativa

4.2.1 Sistema de compostaje

A partir de los volúmenes disponibles de cada residuo y considerando la gran variedad de sistemas de compostaje conocidos, los requerimientos de inversión y mano de obra que cada sistema precisa, se optó por el sistema abierto de pilas con volteo o dinámicas. Este sistema es ideal para grandes volúmenes a tratar, por ello requiere grandes superficies para su instalación.

El cálculo del volumen total corresponde al espacio que ocupan cada uno de los residuos en función de su densidad. El mismo será calculado a partir de la siguiente ecuación del volumen del trapecio (Figura 4).

$$Volumen = (((Base\ mayor + Base\ menor) * 1/2) * Altura) * Largo$$

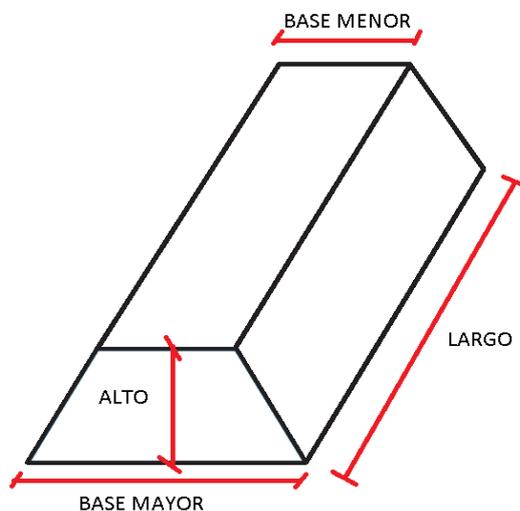


Figura 4 Representación gráfica de la pila de compostaje.

4.2.2 Selección del lugar

Inicialmente se analiza el volumen de residuos a tratar, se previsualiza el sistema de compostaje a utilizar y las dimensiones del lugar requerido para su establecimiento. Se realizó un relevamiento en la Bodega sobre los espacios disponibles donde se realizaría el compostaje. Para un sistema abierto de pilas con volteo fue necesario considerar el espacio necesario de acuerdo al diseño del mismo, es decir, estimando cantidad y dimensiones de pilas, el acceso de la maquinaria pertinente y la disponibilidad de agua para realizar los riegos.

La elección del lugar para el compostaje requiere de una evaluación sobre varios factores para seleccionar el sitio más adecuado. La Bodega puso a disposición tres opciones para ser analizadas por el equipo de trabajo.

El primer lugar propuesto se ubica cercano al camino de ingreso a la bodega, como ventaja cuenta con una gran extensión y accesibilidad, pero fue desestimado por la proximidad al ingreso de visitantes y turistas. La segunda alternativa consistía en construir un playón en un sector del ACRE (Área de Cultivos Restringidos Especiales), aledaño a las instalaciones. Es una zona regada con efluente residual tratado en la planta de tratamientos de efluentes de la bodega, como ventaja y en relación a lo anterior, era su lejanía al ingreso, lo cual permitía su manejo sin ocasionar ruidos para los turistas, pero al visitar la zona se observó una gran diversidad y cobertura de flora nativa con presencia de fauna asociada a la misma, lo cual fue considerado una desventaja de gran peso ya que suponía un impacto negativo el desmonte siendo una superficie de gran extensión la necesaria para las pilas y los caminos de acceso.

Finalmente, el lugar seleccionado fue un sector cercano a la planta de tratamiento de efluentes, es la playa de secado del orujo fresco y escobajo. Dicha playa está diseñada para recolectar los líquidos que desprende el material y derivarlos a una pileta colectora de efluentes, por lo tanto, fue considerada como el lugar más adecuado por diferentes razones, inicialmente por la impermeabilidad de la playa y la colecta de lixiviados, otra ventaja era que el orujo ya se encontraba en esa playa por lo tanto se evitaba el costo del traslado del material, además era un sector que disponía del lugar para acopiar el resto de los materiales a compostar y permitía el acceso de la maquinaria y por último estaba localizada en una zona lejana al ingreso y circulación de turistas.

4.2.3 Prueba piloto armado de pila

Una vez acopiados todos los residuos en el lugar definitivo se propuso realizar el armado de una pila modelo a fin de poner a prueba la eficiencia del tractor disponible de la bodega para el armado y el volteo de las pilas y evitar posibles inconvenientes operativos al momento de la confección de las hileras. Por un lado, se debe pensar en el diseño de las pilas, largo, ancho y alto, y cómo será su ubicación dentro de la playa. También es necesario considerar los espacios de circulación y acceso del equipamiento que se use para realizar el volteo y aireación de todas las hileras.

El armado de la pila piloto se realizó el día 1 de Julio de 2021, con la maquinaria disponible en la Bodega, un tractor con una pala cargadora de aproximadamente 0,5 m³. Considerando estas dimensiones, y las proporciones calculadas de cada material para respetar la Relación C/N, se realizó una equivalencia de los valores de la Tabla 7 para hacer más práctico el armado de la pila con la pala disponible. Se definió la siguiente proporción: 16 partes de orujo, 1 parte de guano, 2 partes de hojas secas y 0.5 partes de pasto, estos últimos ya se encontraban mezclados en proporciones semejantes a causa del traslado de los mismos hasta el playón.

Se utilizó un método de capas, dividiendo las 16 partes de orujo en dos capas de 8, con lo cual, se dispuso una primera capa de orujo con 8 paladas, luego una capa de 1 pala de guano distribuida a lo largo del orujo, después se agregaron las 2 palas de hojas y pasto, y finalmente

las 8 partes restantes de orujo (Figura 5). Se calculó el alto y el ancho de la pila formada y se decidió repetir la secuencia con la misma proporción para alcanzar las dimensiones de la pila deseada, la misma quedó con una base mayor de 2.5 m, alto de 1.2 m, y largo de 9.4 m.

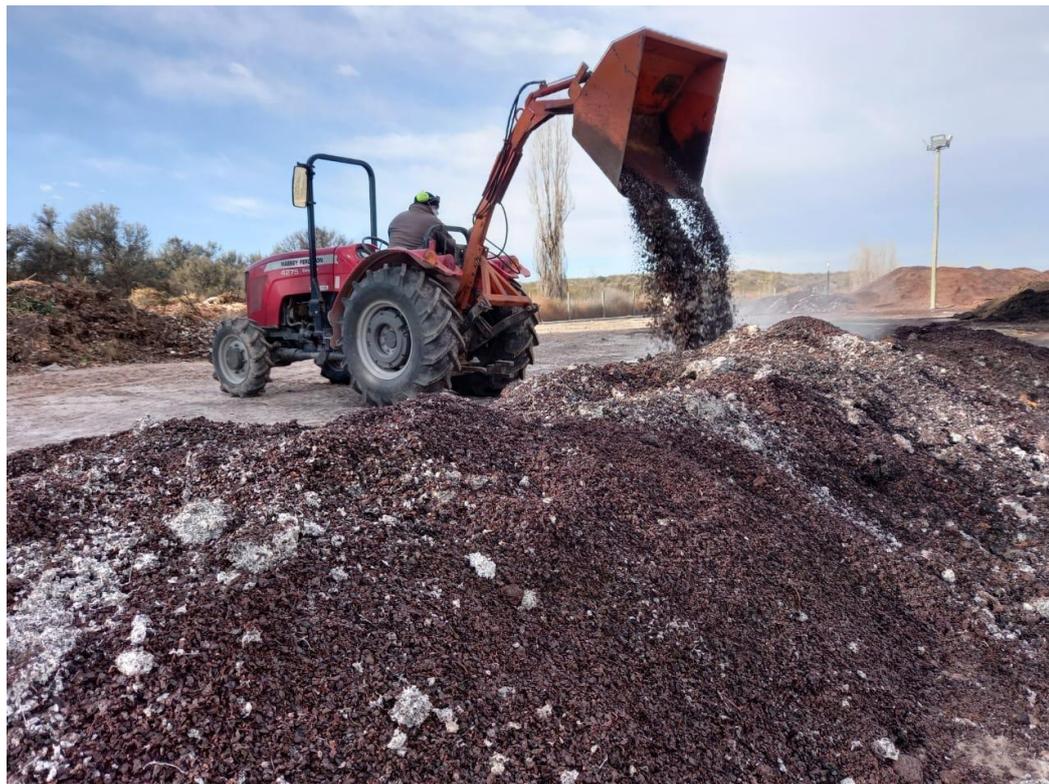


Figura 3 Armado de pila de prueba.

La prueba piloto con la maquinaria propia de la Bodega, permitió analizar el tiempo de armado y la eficiencia del mismo, para estimar el tiempo total incurrido hasta utilizar todo el material. Como conclusión, si bien la pila pudo armarse de forma correcta, por las características del tractor y la capacidad de la pala, el proceso fue muy lento. Considerando la cantidad de material, resultaba conveniente pensar en otra maquinaria más eficiente, por lo que se decidió contratar un tractor de pala frontal con mayor potencia de motor y mayor capacidad de carga y concluir el armado en menos tiempo, lo cual generaría un costo por hora de alquiler de la maquinaria.

4.2.4 Prueba de técnicas de volteo

Uno de los manejos de mayor importancia en el proceso del compost, son las tareas de aireación del material para su homogeneización y entrada de oxígeno al centro de la pila. Con el mismo objetivo de utilizar el equipamiento disponible en la bodega, se realizó una prueba de volteo con una pala cargadora (Figura 6). La capacidad de movimiento del brazo de la pala era muy limitada, si bien servía para remover la pila y mezclar los materiales no era posible rearmar la pila con su formato inicial. El interés de los volteos es remover completamente el material dejando idealmente las partes del centro de la pila en superficie y viceversa. Por lo tanto, era preciso otro implemento más efectivo.



Figura 4 Pala frontal utilizada para la prueba de volteo.

Luego de 7 días del armado, se realizó una segunda prueba de aireación, en esta oportunidad se utilizó un implemento mecánico diseñado por INTA, específicamente para esta tarea. Se trata de una reja móvil, (imagen izquierda, Figura 7). Este implemento permitió, en proyectos de compostaje previos, la obtención de un producto homogéneo, alcanzando estabilidad y madurez con parámetros físico-químicos similares a los obtenidos utilizando una máquina volteadora especializada como se puede ver en la imagen derecha de la Figura 7 (EEA Hilario Ascasubi INTA).

El estudio fue realizado en la EEA, INTA, Luján de Cuyo, Mendoza, se comparó el proceso de compostaje utilizando los dos métodos de volteo, y se concluyó que el tiempo necesario para cada volteo con el uso del implemento es 4 veces mayor al de la máquina volteadora, pero presenta la ventaja a nivel económico, ya que la inversión sería 20 veces inferior. Dado los antecedentes de su buen rendimiento, se concluyó que el método podría ser adecuado para realizar los volteos en este proyecto, por lo tanto, se encomendó la fabricación de la reja a los mecánicos hidráulicos de la bodega, indicando modificaciones en el diseño para adecuar la reja a pilas de mayores dimensiones definidas para esta experiencia (Uliarte, *et al.* 2015).



Figura 5 Mecanización del volteo de pilas de compostaje.

4.3 Tercera etapa: Manejo y monitoreo del compostaje

4.3.1 Armado de las pilas de compost

Entre los días 15 y 20 de julio 2021 se llevó a cabo el armado de las hileras de compost, el material se utilizó en su totalidad y el resultado fueron 4 pilas de 90 metros de largo, 2,5 metros de ancho y 1,5 metros de alto como se puede observar en la Figura 8. Teniendo en cuenta la baja eficiencia de la maquinaria del lugar, se alquiló una máquina con pala frontal de mayor capacidad para realizar el armado.



Figura 6 Pilas de compost con mangueras de riego instaladas.

4.3.2 Monitoreo de temperatura

La medición de la temperatura fue realizada por la profesional de la empresa a cargo del proyecto, utilizando un termómetro digital de punción (Figura 9). La toma de datos fue realizada siempre de la misma forma, en los mismos puntos a lo largo de todo el proceso. Se acordó medir en cuatro puntos cada 20 m distribuidos en los 90 m del largo de las pilas, es decir, a los 20 , 40 , 60 y 80 m, los cuales se promediaron para visualizar su comportamiento y comparar temperaturas entre pilas. Es importante, tomar la precaución de introducir el termómetro lo suficiente para llegar al núcleo de la pila y no cometer un error en la toma del dato.

Durante las dos primeras semanas, desde iniciado el proceso, se midió la temperatura día por medio. En la tercera y cuarta semana se realizó 2 veces a la semana, y pasado un mes se comenzó a medir una vez a la semana. El comportamiento de la temperatura de las pilas a lo largo del proceso se muestra en la Figura 13.



Figura 9 Medición de temperatura con termómetro digital

4.3.3 Monitoreo de humedad

Se realizó el control de humedad, al menos en tres lugares diferentes de las pilas mediante un método manual, tomando un puño de material, la técnica consiste en hacer presión sobre el mismo y observar si se disgrega por falta de humedad o libera líquido excedente, dependiendo la situación observada se realiza el manejo correctivo, de no ocurrir ninguna opción mencionada, la humedad es cercana al 50% y se encuentra en condiciones adecuadas.

Para el riego de las pilas fue necesaria una gran inversión inicial para la instalación del sistema de riego presurizado por goteo de las pilas. Luego de completarse la instalación del sistema de riego, bomba y accesorios, se procedió al llenado del tanque de almacenamiento de efluente para riego, con una capacidad de 20.000 litros.

A los 37 días de iniciado el proceso de compostaje se realizó el primer riego, con agua proveniente de la planta de tratamientos de efluentes de la bodega. Las características del efluente se presentan en la Tabla 8. El Área de Sustentabilidad de la Bodega lleva un control periódico del efluente y sus parámetros controlando pH y conductividad eléctrica realizando las correcciones necesarias para mantener los valores dentro de lo permitido por ley, por lo cual no significaba ningún efecto negativo sobre el compostaje y su evolución.

Tabla 8 Características fisicoquímicas del efluente de riego.

Parámetros	Valores
pH	6.9
Conductividad eléctrica($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1.577
Sólidos sedimentables 10 min (ml L^{-1})	0.1
Sólidos sedimentables 2h (mg L^{-1})	0.4
DQO S/Dec (mg L^{-1})	2.460
Cloruros (mgL^{-1})	211
Calcio (mg L^{-1})	134
Magnesio (mg L^{-1})	15
Sulfatos (mg L^{-1})	138
Sodio (mg L^{-1})	135
Potasio (mg L^{-1})	148
RAS	3

Se realizaron riegos periódicos de aproximadamente 10 a 20 horas semanales, intentando alcanzar un contenido de humedad cercano al 50%. Se utilizaron dos cintas de 90 m por pila, con goteros cada 30 cm.

- ❖ Por hilera
 - 2 cintas (180 m con goteros cada 30 cm) → 600 goteros
 - 600 goteros con un caudal de erogación de $1,5 \text{ L h}^{-1}$ → 900 L h^{-1}
- ❖ En total
 - 9000 L h^{-1} por 4 pilas → 3600 L h^{-1}
 - 3600 L h^{-1} por 142 horas de riego (proceso completo) → 511.200 L h^{-1}

En total el caudal utilizado desde el inicio el riego hasta el retiro de las pilas fue de $511,2 \text{ m}^3$ de efluente.

4.3.4 Control de pH y Conductividad eléctrica

Aproximadamente a los dos meses de comenzado el proceso y tres semanas desde el primer riego se realizó un análisis de control de pH y conductividad eléctrica del compost, se tomaron tres muestras al azar extrayendo las muestras desde el centro de cada pila. En el laboratorio de la bodega, se realizó la solución de 50 gramos de material de cada pila en 250 ml de agua destilada, al cabo de diez minutos de agitación, se filtró la solución para medir el pH y la conductividad eléctrica. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos el día 13 de septiembre de 2021.

Tabla 9 Análisis de control del proceso de compostaje para pH y Conductividad eléctrica.

Parámetros	pH	Conductividad eléctrica (dS m^{-1})
Pila 1	7,04	1,62
Pila 2	8,26	1,78
Pila 3	7,99	1,84
Pila 4	8,04	1,73

Este monitoreo se realizó a mitad del proceso para comprobar que el efluente utilizado para el riego no influye sobre estos parámetros al proceso de compostaje. Los resultados obtenidos demuestran condiciones adecuadas de pH y salinidad para el compost, por lo tanto, no se realizó ningún manejo de corrección.

4.3.5 Volteos o aireación

A los 6 días de finalizado el armado, se realizó la aireación de las pilas con la nueva reja de volteo ya terminada (Figura10), con el objetivo de probar el funcionamiento de la misma y determinar si necesitaba alguna adaptación o arreglo para que funcione de forma adecuada, intentando llegar al centro de las pilas oxigenando y mezclando completamente los materiales. Se acordó realizar un ajuste a la adaptación de la reja al soporte del tractor, ya que con el peso del material cuando atravesaba la pila se producía un desbalance y perdía la altura deseada, con lo cual fue necesario asegurar el soporte. El día 9 de agosto se realizó el segundo volteo de las pilas, pasadas ya dos semanas del primer volteo con las modificaciones mencionadas. Considerando que la misma quedó en condiciones adecuadas, se realizaron los volteos siguientes sin nuevas modificaciones.



Figura 10 Primer volteo de las pilas.

En el proceso completo se realizaron 8 volteos en total, aproximadamente cada 2 a 3 semanas de frecuencia. La decisión de voltear se tomaba a partir de factores como la temperatura, la aireación y humedad de las pilas para mezclar los materiales y homogeneizar la humedad e incorporar oxígeno para el desarrollo de los microorganismos.

Hacia el final del proceso se observó compactación en las pilas, y asociado a esto temperaturas aún muy altas, además, mucha diferencia de humedad entre el interior y el exterior, con lo cual se decidió realizar el séptimo volteo con retroexcavadora ya que se observó mucha humedad y compactación en el centro de las pilas con lo cual era necesario voltear completamente el material. Este penúltimo volteo se retrasó un mes por la rotura de la máquina. El último volteo se realizó el día 31 de enero de 2022, y fue previo a retirar el compost de la playa de secado.

4.4 Cuarta etapa: Análisis compost final

Hacia mediados del proceso se comenzó a detectar la reducción de volumen de las pilas y hacia el mes de diciembre visualmente el volumen de cada pila se había reducido aproximadamente a la mitad (Figura 11). Luego de 5 meses de iniciado el compostaje, se realizó un análisis del compost para su caracterización física, química y microbiológica. Se tomaron en total 8 muestras, 2 de cada pila, de aproximadamente 1 kg a una profundidad de 15 cm (Figura 12). Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Riego del Área de Recursos Naturales de la EEA, del INTA.



Figura 7 Fotografía tomada el día 29 de diciembre de 2021



Figura 8 Muestras representativas de las pilas de compost terminado.

El compost debía ser retirado del lugar debido a que se requiere para depositar el orujo fresco propio de la nueva producción. Pasado 5 días del muestreo se realizó el retiro del compost con retroexcavadora para su acopio en una zona dentro del Bosque Nativo de la bodega, donde completar su maduración y poder almacenarlo hasta su uso como abono en las fincas.

4.4.1 Análisis de laboratorio

4.4.1.1 Análisis Físicoquímico

En la Tabla 10 se mencionan los diferentes métodos utilizados por el personal del Laboratorio para el cálculo de los parámetros. Al mismo tiempo se extrajeron además otras 8 muestras (2 de cada pila, de 1 kg aproximadamente) para enviarlas al INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), para su caracterización microbiológica. Una parte del compost de muestra se utilizó para realizar un ensayo de germinación y determinar la fitotoxicidad del mismo. Este índice es requerido por la Normativa Nacional como obligatorio para demostrar la madurez del compost. Los resultados se muestran en la Tabla 11.

Tabla 10 Métodos analíticos para estudio físico químico.

Conductividad eléctrica pH	Suspensión 1:5 (peso volumen ⁻¹), medición con pH metro y Conductímetro
Materia orgánica (M.O.)	Método de calcinación a 550 °C
Humedad Cenizas	Método gravimétrico (Kolar. K. 1992).
Nitrógeno total	Método Kjeldahl
Fósforo total	Colorimetría
Hierro total Potasio total Zinc total Cobre total Manganeso total	Espectrofotómetro de absorción atómica
Relación Nitrato/Amonio	Nitrato Amonio ⁻¹
Relación Carbono/Nitrógeno	(0.58x M.O.) N ⁻¹

4.4.1.2 Microbiológico

El análisis fue realizado por personal técnico del Laboratorio de Microbiología del INTI, Sede Mendoza. Se determinó el recuento de coliformes totales a través del método ISO 4832:2006. *Escherichia coli* siguiendo el método: ISO 16649:2001 y *Salmonella sp.* Se detectó siguiendo las instrucciones del Manual Analítico Bacteriológico (BAM) de la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos, USA). Los Resultados se muestran en la Tabla 12.

4.4.2 Índice de Madurez del compost

La madurez del compost se puede medir por diferentes ensayos, uno de ellos es el Índice de Germinación dado por el porcentaje de germinación y la elongación de las raíces. En el presente trabajo se llevó a cabo el ensayo basado en el método propuesto en el Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial desarrollado por investigadores de INTA. El mismo consiste en un Bioensayo de fitotoxicidad cuyo principio consiste en exponer semillas de una especie seleccionada, (*Lactuca sativa* (lechuga) o *Raphanus sativus* (rabanito) libres de tratamiento químico), a un extracto acuoso de residuo orgánico o compost para evaluar la toxicidad sobre la germinación y la elongación radicular durante los primeros días del desarrollo. Este método abreviado, permite determinar si una muestra es fitotóxica, mediante los índices de germinación (IG) y de crecimiento relativo (ICR). Las principales normativas internacionales que establecen calidad de compost, se basan en este tipo de método para determinar si una muestra es tóxica. Se requiere realizar un control positivo, el cual determina la sensibilidad de las semillas, y un control negativo. Para ello, las semillas son expuestas a diferentes diluciones

de un tóxico de referencia (Zn), determinando la concentración inhibitoria al 50% en la curva de concentración-respuesta. (Martínez, et al. 2021).

Procedimiento

Siguiendo los pasos indicados, se preparó una solución patrón de zinc de 1000 mg/L. Al disponer de sulfato de zinc ($ZnSO_4$), se pesaron 0,49 gramos de $ZnSO_4$ para un volumen de 200ml de agua destilada. Por otro lado, se realizó el Control positivo para el cual se prepararon 5 soluciones con diferentes concentraciones de zinc: 18,75; 37,5; 75; 150 y 300 mg Zn L⁻¹ a partir de la solución patrón. El control negativo contiene sólo agua destilada y representa la concentración de 0 mg Zn L⁻¹.

La solución de compost se debe inicialmente secar la muestra de compost en estufa hasta humedad constante. Luego se realiza la mezcla con agua destilada en una relación 1:10 (masa:volumen). La mezcla debe agitarse durante tres horas y luego filtrarse.

Una vez disponible todas las soluciones se disponen cajas de Petri con papel de germinación y 4 ml de cada solución con 15 semillas de la especie seleccionada, en este caso se utilizaron semillas de lechuga variedad Grand rapids de INTA. Se realizaron las pruebas por triplicado como sugiere el Compendio y se usaron dos muestras distintas de compost, por lo cual, junto con el control Negativo el ensayo constó de 24 cajas de Petri. las cuales se llevan a incubar en sitio oscuro a 22°C por 5 días. Pasados los 5 días se realiza el conteo de las semillas germinadas y se mide el largo de las radículas. Obteniendo los resultados a través de las siguientes ecuaciones de los controles negativo y positivo y las correspondientes al bioensayo de las muestras de compost. Se exponen los resultados en la Figura 14.

Cálculos

A) Control Negativo

B)

Porcentaje de Germinación.	
$GE (\%) = A/B \times 100$	A= número de semillas germinadas en la placa de Petri.
	B= número de semillas colocadas en la placa de Petri.
Coeficiente de variación de la elongación radicular.	
$CV_{ER} (\%) = C/D \times 100$	C= desviación estándar de la elongación radicular.
	D= promedio de la longitud radicular (mm).

C) Control Positivo

Porcentaje de Inhibición de germinación en cada concentración.	
$I_{GE} (\%) = E/F \times 100$	E= número de semillas germinadas en el control negativo.
	F= número de semillas germinadas en cada concentración de Zn.
Porcentaje de inhibición de la elongación radicular.	
$I_{ER} (\%) = (G - H)/G \times 100$	G= promedio de la longitud radicular en el control negativo (mm).
	H= promedio de la longitud radicular en cada concentración de Zn (mm).

D) Bioensayo de toxicidad

Porcentaje de Inhibición de germinación.	
$I_{GE}(\%) = (E - I) / E \times 100$	E= número de semillas germinadas en el control negativo.
	I= número de semillas germinadas en el elutriado de la muestra.
Porcentaje de inhibición de la elongación radicular.	
$I_{ER}(\%) = (G - J) / G \times 100$	G= promedio de la longitud radicular en el control negativo (mm).
	J= promedio de la longitud radicular en el elutriado de la muestra (mm).
Índice de crecimiento relativo $ICR = J/G$	
Índice de germinación $IG(\%) = ICR \times I/E \times 100$	

4.5 Análisis de costos económicos

Un aspecto de gran interés para una empresa que enfrenta proyectos de sustentabilidad es generar conocimiento sobre los recursos financieros que debe disponer para llevar a cabo el proyecto y determinar su envergadura. Una parte principal consiste en determinar que recursos se disponen y cuáles no.

El proyecto requiere de la inversión en recursos económicos asociados a implementar por primera vez en la Bodega la práctica de tratamiento de residuos orgánicos a través del compostaje de los mismos. Con el objetivo de analizar la dinámica de costos, se realiza una recopilación de todos los costos incurridos y generar un indicador de interés como es el precio por tonelada de compost y proyectar al corto plazo los gastos futuros del compostaje.

5 Resultados

5.1 Análisis del proceso de compostaje

5.1.1 Temperatura

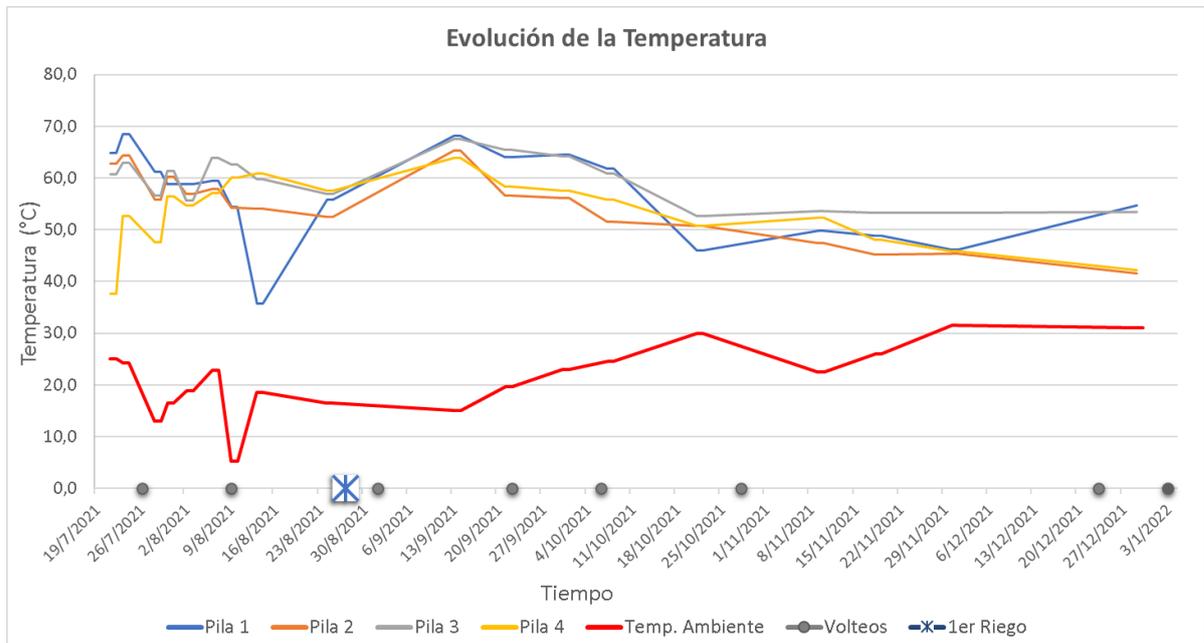


Figura 9 Seguimiento de la temperatura promedio de las pilas de compost durante el proceso.

Si se considera todo el período de seguimiento, el gráfico no muestra una tendencia habitual en los procesos de compostaje. En este punto, es importante observar que las primeras 5 semanas, hubo gran oscilación y heterogeneidad de temperatura en todas las pilas. La causa de esta variación inicial de temperatura fue la falta de riego. Los materiales estaban muy secos y como puede observarse en el gráfico, en el eje horizontal se señala con un asterisco celeste el comienzo del riego, que corresponde al día 27 de agosto y a partir del cual la temperatura comienza a subir y se comporta uniforme el resto del proceso. La pila 1 sufre mayor impacto y disminuye la temperatura a un rango de 30-35°C, el día 13/09, por una elevada sequedad en los materiales, lo cual repercute de forma directa en la actividad microbiana. Luego de los primeros días de riego, dicha actividad se recupera y comienza a aumentar la temperatura alcanzada por el resto de las pilas.

Normalmente al inicio de un proceso ideal de compostaje, el material se encuentra a temperatura ambiente y en pocas horas o días la temperatura aumenta hasta los 45 °C (Etapa Mesófila). En este caso, los diferentes residuos habían comenzado a adquirir temperatura en su lugar de acopio debido a la gran dimensión que ocupaban dichos volúmenes, por lo tanto, al armar la pila ya los materiales poseían cierta temperatura inicial. Además, se observa cierta diferencia entre las pilas debido a que la medición de temperatura se realizó el 21/07 y el armado de las pilas se llevó a cabo en distintos días, primero se completó el armado de la Pila 1, el día jueves 15/07, el día sábado 17/07 se armó la Pila 2, el día lunes 19/07 la pila 3 y el miércoles 21/07 se finalizó el armado con la pila 4. Por lo tanto, el gráfico muestra temperaturas más altas para las pilas 1, 2, y 3 respectivamente y la pila 4 con temperatura más baja debido a que se midió la temperatura luego del armado. Dos días después se realiza el segundo monitoreo y se observa un aumento de 15 °C en los cuatro puntos de muestreo, para luego con el avance de los días acercarse a los promedios del resto de las pilas.

El punto máximo de la etapa termófila ocurre por igual en todas las pilas durante la semana del 13 de septiembre, pasados 18 días desde el comienzo del riego siendo la pila 1 y 3 las que logran mayor temperatura alcanzando 68.1 y 67.5 °C respectivamente, y con 65.3°C y 63.8 °C las pilas 2 y 4 respectivamente. Luego de estas temperaturas máximas termófilas, comienza poco a poco a descender para variar en un rango entre 45 y 55 °C. Estas altas temperaturas pasada la etapa termófila puede deberse en parte a que el orujo de uva presenta partículas más pequeñas que se acomodan entre sí, disminuyen la porosidad de la pila y con ello la transferencia de calor. Sumado a esto, los volteos hacia el final del proceso se realizaron con menor frecuencia.

Las elevaciones transitorias de temperatura correspondieron al efecto de los volteos a causa de la presencia de fracciones aún susceptibles de descomponerse, que quedan expuestas a condiciones aerobias. Si bien la tendencia de las pilas, excepto la pila 1, es el descenso de la temperatura hasta acercarse a la temperatura ambiente, esta situación no pudo comprobarse dado que el compost debía ser retirado a otro sitio para dejar disponible el playón para el orujo fresco.

5.2 Análisis calidad del compost obtenido

5.2.1 Físico-químico

En la Tabla 11 se muestran los resultados promedio y la desviación estándar y los valores límites o rangos establecidos para cada parámetro por la Normativa de Compost. En el Anexo 1, Tabla 2 se exponen los valores correspondientes a cada pila.

Dentro de los análisis físicos, el Art. 7 de la Resolución establece el requisito del contenido de materiales inertes en el compost, su naturaleza y tamaño máximo aceptado.

Las muestras del compost fueron descritas en el laboratorio como un material visualmente heterogéneo, pero sin presentar olores desagradables. El tamaño de algunos materiales puede exceder el tamaño especificado debido a que no se realizó un triturado previo de la materia orgánica seca como hojas y ramas de los residuos de jardinería. Este aspecto no genera inconvenientes mayores, sólo disminuye la superficie específica expuesta, y la posibilidad de encontrar materiales inertes biológicamente o no deseados como plásticos presentes en los residuos de jardinería.

Tabla 11 Resultados fisicoquímicos promedios y desviación estándar del compost y valores de referencia de la normativa nacional vigente.

Parámetros		Promedio Pilas	Parámetro de referencia	
			Compost A	Compost B
Salinidad	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	3,57 ± 0,59	<4	<6
	pH	8,43 ± 0,34	5,0 - 8,5	
MO	Humedad (%)	46,93 ± 4,22	<60	
Humedad	Mat. Orgánica BS (%)	74,33 ± 6,04	≥20	
Macronutrientes	Nitrógeno Total BS (%)	2,13 ± 0,06	s.d.	
	Nitrógeno Amonio BS (mg kg ⁻¹)	351,06 ± 181,13	<400	
	Nitrógeno Nitrato BS (mg kg ⁻¹)	12,67 ± 7,60	s.d.	
	Fósforo Total BS(%)	0,31 ± 0,08	s.d.	
	Potasio Total (%)	2,32 ± 0,19	s.d.	
Micronutrientes	Hierro Total BS (mg kg ⁻¹)	2205,4 ± 1010,91	s.d.	
	Cobre Total BS (mg kg ⁻¹)	42,46 ± 7,13	150	450
	Zinc Total BS (mg kg ⁻¹)	45,78 ± 17,00	300	1100
	Manganeso Total BS (mg kg ⁻¹)	80,95 ± 24,03	s.d.	
Relación C:N		19,57 ± 2,04	≤20:1	<30:1
Relación Amonio/Nitrato		44,21 ± 45,89	<0,3	

Referencias: BS: Base seca; BH: Base húmeda, s.d.: Sin datos de referencia.

Fuente: SCyMA, SENASA, 2019.

Los valores de pH promedio están dentro del rango permitido, Del mismo modo, la Conductividad eléctrica corresponde en promedio a la Clase A, sobrepasando en algunas pilas el límite máximo correspondiente a la categoría de Compost A.

Los valores de humedad y materia orgánica están en todas las pilas dentro del valores óptimos, siendo menores a 60% la humedad y mayor a 20% la Materia Orgánica en base seca.

La relación C/N permite clasificarlo como Clase A considerando el promedio de las pilas, pero la pila 1 y 2 superan levemente el límite de 20, lo cual indica que es un compost que necesita más tiempo para alcanzar niveles superiores de madurez.

Dentro de los indicadores de madurez, el promedio de Amonio lo clasifica como Clase A, pero la pila 1 y 4 superan el límite establecido. La Relación amonio/nitrato presenta valores muy alejados al de referencia, el amonio presenta un valor promedio aceptable, pero supera el límite establecido en las pilas 1 y 4.

Dentro de los elementos potencialmente tóxicos se analizó Cobre y Zinc los cuales están con valores inferiores a los límites de la normativa con lo cual no presenta problema de toxicidad. Los contenidos de N y K son relativamente elevados, mientras que el contenido de P se presenta dentro del rango esperado de concentración. Entre los micronutrientes evaluados, se destaca el elevado contenido relativo de Hierro.

En general a nivel analítico presenta características que permitirían clasificarlo como Clase A, es decir, de mayor calidad, no obstante, algunos de los parámetros como se distinguió están muy próximos a los valores límites y corresponde categorizarlo como Clase B.

Para futuros procesos de compostaje, será necesario reducir levemente el pH, la salinidad, el contenido de amonio con lo cual se corregirá la relación amonio: nitrato, y la relación C/N podría ser más cercana a 15 asegurando una estabilidad superior.

Es importante considerar que el proceso de compostaje, si bien duró aproximadamente cinco meses, el riego de las pilas comenzó un mes después del armado de las mismas, con lo cual las etapas del proceso se desarrollaron de forma interrumpida. Al mismo tiempo cabe mencionar que los volteos con el implemento diseñado pueden haber resultado ineficiente en algunos sectores de las pilas. De esta forma los parámetros de estabilidad y madurez, posiblemente se logren reducir aumentando la frecuencia de los volteos y/o alternando entre el uso de la reja de aireación y una maquinaria volteadora de todo el material.

5.2.2 Microbiológico

A continuación, se muestran los resultados del INTI, se exponen los resultados luego de haber realizado un promedio sobre los dos puntos muestreados de cada pila de compost.

Tabla 12 Resultados análisis microbiológico de compost final.

Parámetros	Pila1	Pila 2	Pila 3	Pila 4	Valor máximo de Referencia
<i>Coliformes totales</i> (UFC g ⁻¹)	7 x 10 ⁵	6 x 10 ⁵	10 x 10 ⁵	6,2 x 10 ⁵	Coliformes fecales <1000NMP g ⁻¹
<i>Escherichia coli</i> (UFC g ⁻¹)	4 x 10 ³	Ausencia	4 x 10 ⁴	1,65 x 10 ²	<1000 UFC g ⁻¹ (peso fresco) Reino Unido
<i>Salmonella sp.</i> (25 g ⁻¹)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	1 NMP 4 g ⁻¹ (peso seco)

Fuente: SCyMA, SENASA, 2019; Rizzo, 2020.

La normativa sobre compost indica el valor máximo de 1000 NMP (Número más probable) g⁻¹ (materia seca) para coliformes fecales, en esta oportunidad el laboratorio analizó coliformes totales. La Normativa de Reino Unido establece para *Escherichia coli* <1000 UFC g⁻¹ (peso fresco) (Rizzo, 2020).

Como indica la normativa se exige al menos un indicador cumpla con las exigencias de patógenos, en este caso *Salmonella sp.* está ausente en todas las pilas. El recuento de *Ascaris lumbricoides* es otro parámetro propuesto para analizar el compost, pero no fue posible analizarlo ya que los laboratorios no realizan dicha medición.

Según la Norma IRAM 29556-1-2011 sobre compostaje aeróbico, los huevos de *Ascaris lumbricoides* mueren en menos de 1 hora con temperaturas mayores de 55 °C, en este caso, por el seguimiento de temperatura del proceso, las pilas alcanzaron temperaturas mayores a 55 °C durante más de 30 días. Si bien en ese periodo de etapa termófila se realizaron aireaciones con el implemento de reja, no hubo volteo completo del material, por lo tanto, se supone la capa más externa de las pilas puede no haber elevado la temperatura como en el centro. En próximos compostajes sería necesario exponer por igual todo el material a temperaturas mayores a 55 °C para asegurar una higienización completa.

Del mismo modo, *Escherichia coli*, es destruida con una exposición de 15 minutos a 55 °C, con lo cual, los recuentos encontrados se deberían a aquellas proporciones de material que quedaron en la corteza durante la etapa termofílica.

5.2.3 Índice de Madurez del compost

Luego de 5 días de realizado el ensayo se realizó el recuento de semillas de lechuga germinadas, y la elongación radicular. La Figura 14 muestra las cajas de Petri representativas de cada repetición realizada.

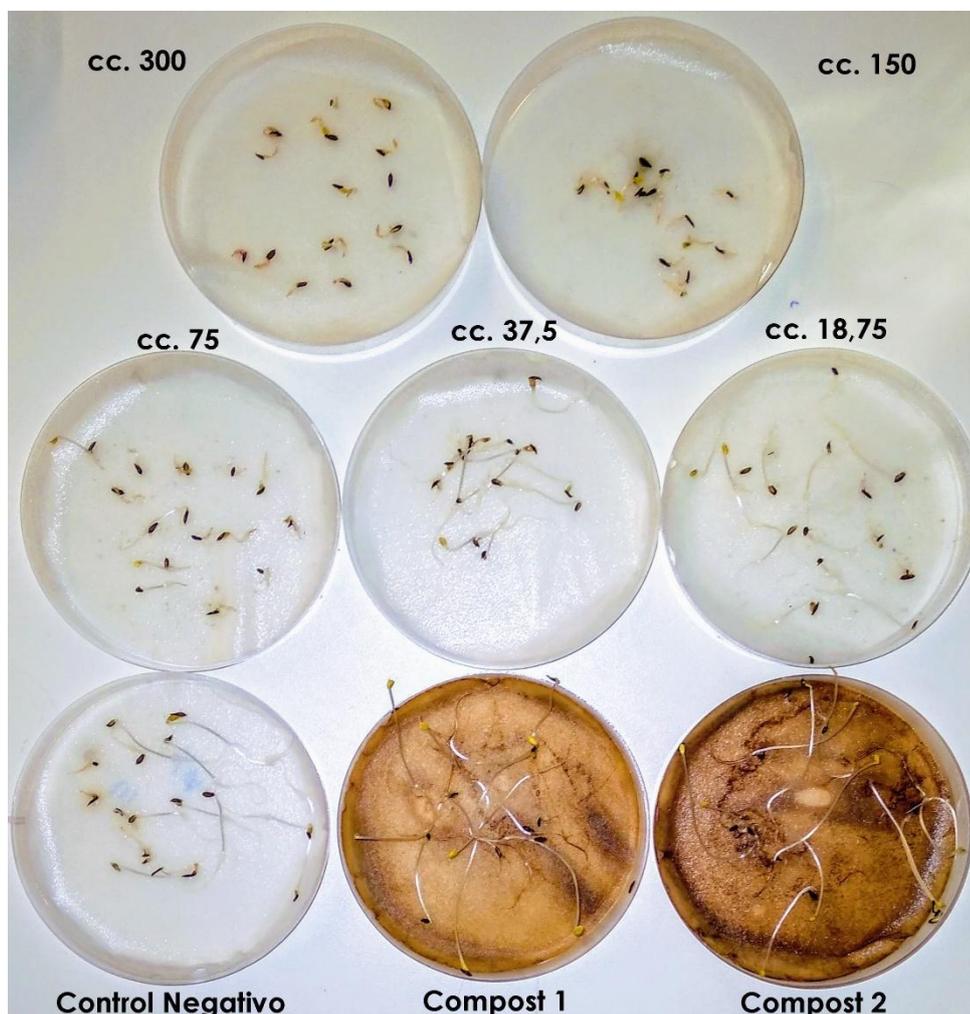


Figura 10 Bioensayo de fitotoxicidad para 2 muestras de compost.

A) Control negativo

Porcentaje de germinación $GE = 93,33\%$
Coefficiente de variación de elongación radicular $CV_{ER} = 65,23\%$

Los resultados del control negativo confirman la viabilidad de las semillas de lechuga utilizadas para el ensayo, provenientes de INTA.

B) Control positivo

Los resultados de la Inhibición de la germinación en las diferentes concentraciones no fueron significativos ya que la concentración 300, 75 y 37,5 mg Zn L⁻¹ no tuvieron diferencia con el control negativo, en todos los casos el $I_{ER} = 0$; en el caso de 150 mg Zn L⁻¹ y 18,75 mg Zn L⁻¹ germinaron menos semillas que el control negativo, y el $I_{ER150} = 10,7$ y $I_{ER18,75} = 7,15$.

A continuación, en la Figura 15 se muestran los porcentajes de inhibición de la elongación radicular en las diferentes concentraciones de Zn además la ecuación de regresión para determinar la inhibición al 50%.

Coefficiente de variación de elongación radicular CV_{ER}

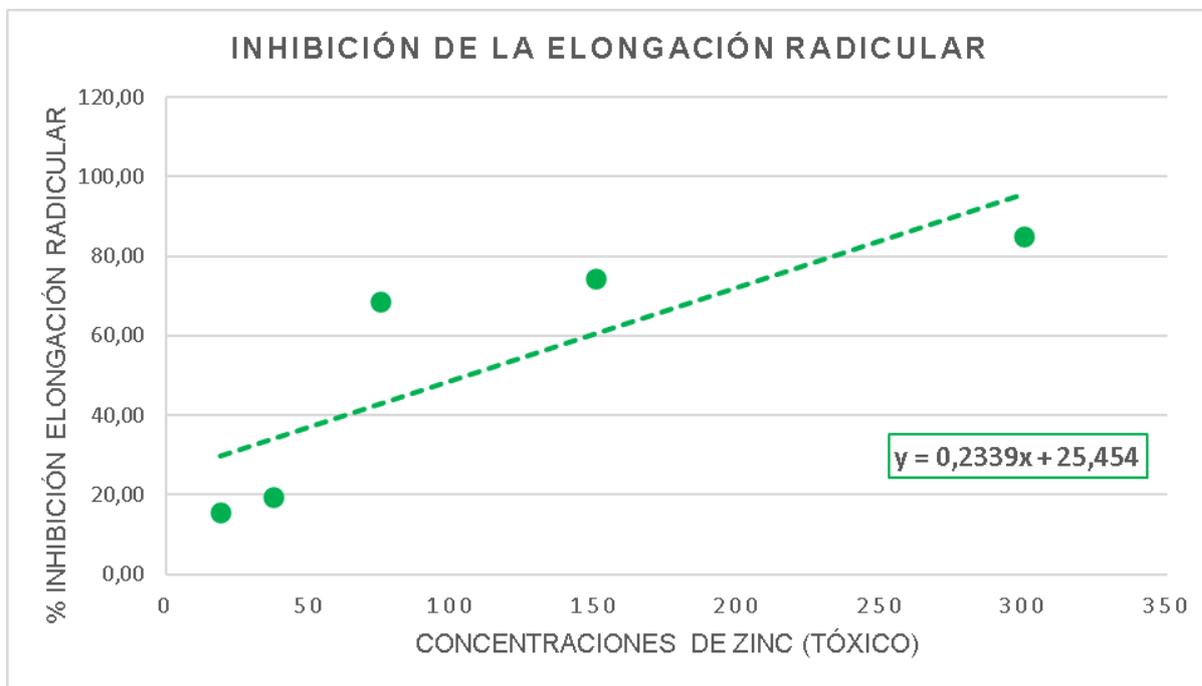


Figura 11 Curva concentración Zn – respuesta inhibición de la elongación radicular.

A través de la ecuación de regresión se determinó la concentración del tóxico de referencia, en este caso el Zinc, para una inhibición del 50%, la concentración $CI_{50} = 104,94$ mg Zn L⁻¹. Es decir, como tóxico de referencia, el Zinc en una concentración de 104.94 mg L⁻¹ inhibe el 50% de la elongación radicular.

E) Bioensayo de fitotoxicidad

Porcentaje de Inhibición de germinación	$I_{GE} = 5\%$
Porcentaje de inhibición de la elongación radicular	$I_{ER} = -8.45\%$

Índices	Referencias
Índice de crecimiento relativo $ICR= 1,08$	Inhibición de elongación radicular $0 \leq ICR < 0,8$
	No existen efectos significativos $0,8 \leq ICR \leq 1,2$
	Estimulación de la elongación radicular $ICR > 1,2$
Índice de germinación $IG= 103,02\%$	Inhibición cuando $IG < 80\%$

Los resultados demuestran que el compost no presenta efectos fitotóxicos, es decir no inhibe la germinación de semillas, ni la elongación radicular. En primera instancia el porcentaje de inhibición de 5% y el Índice de germinación > a 80% indican que el compost no inhibe la germinación de las semillas. De la misma forma la inhibición de la elongación radicular demuestra que en la elongación radicular de la solución de compost en comparación con el control negativo fue mayor. Se confirma la inocuidad del compost con el Índice de crecimiento relativo que corresponde a 1,08 es decir, no hay efectos significativos sobre la elongación radicular.

5.3 Análisis de costos económicos del proyecto.

En un proyecto como el presente trabajo, donde se inicia desde cero es necesario un estudio de mercado para reducir al mínimo la inversión final del proyecto. Ciertos presupuestos deben solicitarse de forma específica, asociado a decisiones particulares, por ejemplo, una vez decidido el lugar donde se realizarían las pilas, fue solicitado el presupuesto del sistema eléctrico para la instalación de la bomba de agua, como así también el sistema de riego por goteo ya que resultaban precisas ciertas medidas que influyen directamente en el precio final del servicio de instalación. Otros costos como el precio del guano varían de acuerdo a la cantidad de volumen requerido, y esto está asociado a las proporciones a compostar de cada material. Dicho cálculo supone un gran efecto en el costo final, evitando comprar de más.

En las Tablas 13 y 14 se detallan los costos inferidos para el proyecto de Compostaje, la información fue proporcionada por la encargada del mismo, el costo total fue de \$ 1.820.763. Es importante distinguir entre costos operativos y de inversión, ya que los operativos son aquellos costos incurridos de forma anual o en este caso asociado al proceso de compostaje y el tiempo que dura el mismo y en próximos proyectos pueden variar. Los costos de inversión significan un aumento de capital para la empresa, que dispone de esa tecnología para realizar el tratamiento en los siguientes años.

Tabla 13 Costos de inversión del proyecto de compostaje.

Costos de Inversión	
Asesoría técnica externa	\$225.600
Refacción tanque cisterna	\$23.137
Termómetros (2 unidades)	\$3.180
Bomba de agua sumergible	\$54.210
Sistema de Riego por goteo	\$296.300
Instalación de sistema eléctrico	\$205.419
Implemento para volteos	\$192.354
Tendido cañería para sistema de riego	\$119.207
TOTAL	\$ 1.119.407

Tabla 14 Costos operativos del proyecto de compostaje.

Costos Operativos	
Guano de vaca – 58 t	\$168.200
Orujo 500 tn	\$15.500
Análisis de laboratorio (Muestreo inicial y final-INTA)	\$88.000
Análisis de laboratorio (Muestreo final-INTI)	\$18.950
Alquiler retroexcavadora (\$4.500 h ⁻¹)	\$191.250
Transporte de residuos de jardinería (Alquiler batea \$3.500/h)	\$26.250
Alquiler tractor viñedos por hora (\$1200 h ⁻¹)	\$40.800
Mano de obra	\$152.406
TOTAL	\$ 701.356

Dada la cantidad final de compost producido (330 t), el costo por tonelada, considerando los costos totales, de inversión y operativos equivale a \$ 5517. A la fecha, el costo de la tonelada de compost a la venta en una empresa que elabora compost a gran escala como Derivados Vínicos) está en \$4200, sin contar el gasto de traslado del mismo al destino. Con lo cual se realizó una proyección a cinco años de costos, Tabla 14, con el objetivo de comparar los costos incurridos en la producción y los costos de comprar el compost a terceros. Para la proyección se adicionó un porcentaje estimativo de aumento acumulativo del 10%.

La tabla se construyó considerando los costos totales por tonelada producida en el año 2021, y a partir del año 2022 se consideran solo los costos operativos con un 10% e interés adicional

alusivo a un incremento generalizado de precios estimativo. En la tercera fila se indica para el año 2021 el precio por tonelada de compost, y para los años posteriores precios estimativos con incremento acumulativo del 10% siguiendo el criterio ya mencionado. El precio del dólar oficial promedio es de \$ 120 (Valor de cotización del día 29/04/2022).

Tabla 15 Proyección de costos a 5 años expresados en dólar U.S.A.

Por tonelada de compost	2021	2022	2023	2024	2025	TOTAL
COSTO DE PRODUCCIÓN	USD 45,98	USD 19,48	USD 21,43	USD 23,57	USD 25,93	USD 136,39
COSTO DE COMPRA	USD 35,00	USD 38,50	USD 42,35	USD 46,59	USD 51,24	USD 213,68

Considerando la suma total de costos, se evidencia que hay un gasto mayor si se compra el compost a terceros, por lo tanto, conviene producirlo en la bodega. Inclusive, esta diferencia podría ser más evidente más aún, si se proyecta aumentar los volúmenes de elaboración de compost, teniendo en cuenta los efectos de reducción de costos que se presentan en economías de escala.

6 Conclusiones del proyecto y consideraciones futuras

El proyecto de compostaje cumplió con el objetivo general residuos orgánicos producidos en la Bodega y obteniendo un producto de gran necesidad en la agricultura como son los abonos o enmiendas orgánicas, para reponer nutrientes y aumentar la resiliencia de los suelos a nivel físico, como también biológico.

Por ser un proyecto innovador, la primera experiencia con compostaje genera diversos aspectos a evaluar y considerar sobre su gestión. A partir de los objetivos planteados, la evolución del proceso y los resultados del compost final, se resaltan a continuación diferentes aspectos a tener en cuenta para mejorar el manejo en el futuro.

Dentro de los resultados de proceso, la evolución de la temperatura demuestro gran variabilidad inicial por la falta de riego y fluctuaciones a lo largo del proceso asociado a los volteos y riegos poco coordinados.

El manejo de la aireación y el riego del material resultó deficiente, se evidenció lixiviación de riego, compactación en algunas zonas de las pilas y en otros sectores falta de humedad.

Los volteos de material de forma completa aseguran la incorporación necesaria de oxígeno, la exposición de superficie de la materia orgánica a degradar, la incorporación de humedad a sectores secos y la regulación de la temperatura. Se recomienda, por lo tanto, eficientizar el sistema de volteo, probablemente sea de interés adquirir una máquina volteadora, y controlar la humedad en todo el material, evitando falta y exceso de agua.

Los resultados promedios fisicoquímicos de la cuarta etapa indican que se logró un compost de calidad, excepto por la Relación Nitrato/Amonio asociada a la madurez del compost, dada la elevada desviación estándar de este promedio, correspondería repetir el análisis para descartar . se confirma con las altas temperaturas que persisten en la fase de maduración. Para próximos proyectos se sugieren analizar indicadores de estabilidad como lo requiere la normativa utilizada de referencia.

Uno de los aspectos a tener en cuenta para próximos compostajes, dentro de los análisis de laboratorio, específicamente el microbiológico sería realizar el pedido de coliformes fecales, en lugar de totales, sobre todos en los casos en donde se utilicen estiércol de animales, ya que es un indicador de gran peso en la normativa nacional.

Otra medida a incorporar para mejorar la calidad del producto consistiría en realizar un pretratamiento de los residuos mediante una separación de los residuos por tamaño y naturaleza, sobre todo los de jardinería. A falta de esta etapa de acondicionamiento el compost final contenía residuos plásticos y ramas de gran tamaño que no alcanzaron a degradarse. Estos residuos gruesos como ramas, idealmente deben triturarse previamente para poder ser degradados al mismo tiempo que el resto de los materiales.

Desde el aspecto económico, el proyecto a futuro es conveniente para la empresa dado que es menos costoso producir el compost en la bodega que adquirirlo a terceros.

La identificación y disminución de los impactos sobre el ambiente, es una política ambiental que conlleva diferentes acciones en cuanto al uso y gestión de los recursos naturales, como el agua y los suelos. Pero también requiere el pensamiento crítico sobre los efectos de diferentes manejos en la agricultura, y los residuos propios del proceso industrial. Por ello, la innovación en tratamientos de aprovechamiento y revalorización de residuos como el compostaje, posiciona a la Bodega dentro de un paradigma de transición dentro de la agricultura, generando procesos más sustentables.

7 Bibliografía

- Abraham, E. M., Soria, D., Rubio, M. C., Rubio, M.C., Virgillito, J. P. (2014). Modelo territorial actual, Mendoza, Argentina, Subsistema Físico, Biológico o Natural de la provincia de Mendoza. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Albanesi, A. S., Anriquez, A. L., Bárbaro, L. A., Basil, J. G., Branzini, A., Contardi, L. T., ...Zubillaga, M. S. (2012) Compostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Alvarez de la Puente, J. M. (2010). Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca Junta de Andalucía. DOI:10.13140/RG.2.2.20182.24647
- Antunes, L. P.; Martins, L. F.; Pereira, R. V.; Thomas, A. M.; Barbosa, D.; Lemos, L. N. y Setubal, J. C. (2016) . Microbial community structure and dynamics in thermophilic composting viewed through metagenomics and metatranscriptomics. *Scientific Reports*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/srep38915>
- Arroyo Morocho, F. R. (2018). La Economía Circular Como Factor De Desarrollo Sustentable Del Sector Productivo. *INNOVA Research Journal*, 3(12), 78-98. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n12.2018.786>
- Bertran E., Sort X., Soliva M., Trillas I. (2004). Composting winery waste: sludge and grape stalks. *Bioresource Technology*, 95(2): 203-208.
- Cabrera Rodríguez, E., León Fernández, V., Montano Pérez, A. y Dopico Ramírez, D. (2016). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro Azúcar*, 43(4), 27-35.
- Camargo Mayorga, D. A., Cardona García, O., González Guzmán, J. M. (2020). Estimación de una función para la producción de compost: el caso europeo. *Revista de Economía e Sociología Rural*, (58)3, 4.
- Cassagne, J. C. (2016). Los nuevos derechos y garantías. *Revista de Investigações Constitucionais*. 3(1), 59-108. <https://doi.org/10.5380/rinc.v3i1.45110>.
- Córdova Molina C. A. (2006). *Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos*. [Tesis de Grado en Ingeniería Forestal.] Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.
- Cotacallapa-Sucapuca, M., Vilca-Curo, R., & Coaguila, M. (2020). El orujo de uva italia como fuente de compuestos bioactivos y su aprovechamiento en la obtención de etanol y compost. *Fave Sección Ciencias Agrarias*, 19(1), 17-32. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i1.9450>
- Cuadros, S. (2008). Compostaje y Biometanización. Módulo: Contaminación por Residuos *Escuela de Negocios*. p. 24-26.
- FAO. (2017). Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa, Metodología WISDOM. Provincia de Mendoza. Colección Documentos Técnicos N° 4. Buenos Aires.
- Fasciolo G. E., Herrera M. C. (2003) Contaminación Ambiental en Bodegas, Percepción en el sitio de trabajo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 35(1), 1-10.

- FE.D.I.A.P. Federación de Institutos Agrotécnicos Privados de la República Argentina. (1999). La Producción Orgánica en la Argentina.
- Fernández, S. (2018). Estudio comparativo de compost de orujo y compost de mezcla de residuos agroindustriales, y factibilidad de uso de cubierta plástica. [Tesis de Grado]. Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza.
- Fombuena, V.; Domínguez, I. (2020). Hacia una economía circular, caso práctico de dimensionado de unidad de almacenaje de residuos orgánicos para proceso de compost. <http://hdl.handle.net/10251/144594>.
- Fruitos, A., Greco, S. y Ferrer Gonzales, C. (2019). Transición Agroecológica y Servicios Ecosistémicos en la Producción Vitícola Certificada de Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. *Primer Congreso Argentino de Agroecología* (p.470-475). Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo. Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado.
- Funes Pinter, I., Fernández, S., Martínez, L. Aguado, G., Uliarte, E., Aroca, M., González C., Arias, M., Escoriaza, M. G., Longone, M. V., Pisi, G. E., (2019). Elaboración de compost, té de compost y biol para su uso como fertilizantes y controladores de enfermedades en plantas. 1er Congreso Argentino de Agroecología. Mendoza Universidad Nacional de Cuyo. Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado, 1014-1018.
- González Ordaz, G. y Vargas Hernández, J. G. (2017). La economía circular como factor de la responsabilidad social. *Economía Coyuntural*, 2(3), 105-130. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222017000300004&lng=es&tlng=es.
- Hernández, V. G., Monserrat, A., Martínez Corso, R., Romero, J. (2019). *Normativa ambiental de Mendoza*. Legislatura de Mendoza. Mendoza: Beta Impresiones.
- Huerta O, Martínez X, Gallart M, Soliva M, López M. (2010). El uso de compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: aportaciones de diferentes componentes según origen. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- INV Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2015). Informe Cosecha y Elaboración Año 2015.
- INV Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2018). Estadísticas Varias De Vinos y Mostos 2017. Mendoza, Argentina.
- INV Instituto de Desarrollo Rural, IDR. (2020). Informe de Producción Orgánica en Argentina.
- INV Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2021). *Informe anual de superficie 2020*. <https://www.argentina.gob.ar/inv/vinos/estadisticas/superficie/anuarios>.
- Lavado, R.S. (2012). Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (Ed.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 3-12.
- Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 1-2. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2)

- Martínez, L. E., Pisi, G., Uliarte, M. E., Pino, M. M., Haist, G. W., Guarise, O. (2020). Efecto de la aplicación de compost de orujo de uva obtenido por Derivados Vínicos en un suelo cultivado de la provincia de Mendoza y evaluación de su aptitud como sustrato en la producción de plantines florales.
- Mazzarino, M. J.; Satti, P. y L. Roselli. (2012). Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (Ed.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 13-28.
- Meena, A., Karwal, M., Dutta, D., Mishra, R.P. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agriculture and Food*, 3(1), 85-90. DOI: 10.13140/RG.2.2.13546.95689
- Misra, R. V., Roy, R. N., Hiraoka, H. (2003). On-Farm Composting Methods. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, Italy. p. 23-24. DOI:10.13140/RG.2.2.13546.95689
- Montbrun, A., Valenzuela, E., Porrás, L. (2016). APUNTES SOBRE LA REFORMA CONSTITUCIONAL DE 1994.
- Norma IRAM 29556-1 (2011). Esquema 1, Compostaje aerobio, Parte 1 - Conceptos básicos, factibilidad del tratamiento y buenas prácticas del proceso de compostaje de materiales verdes.
- Ortíz-Palomino, M. E., y Fernández Bedoya, V. H. (2021) Una revisión sistemática de evidencias en Scielo y Redalyc, 2018-2020. *Espíritu Emprendedor TES*, 5(3), 13-28.
- Paradelo R., Moldes A. B., Barral M. T. 2013. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. *Journal of Environmental Management*, 116: 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.001>
- Pino, P., Varnero, M. T., Alvarado, P. (2005). Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación de guano broiler. *X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, 05(21), 19-25.
- Pisi, G. (2017). *Compostaje del orujo de uva agotado y uso del compost obtenido como componente de sustrato para plantines florales*. [Tesis de Maestría en Floricultura]. Universidad de Lomas de Zamora, Buenos Aires.
- Rizzo, P. (2020) Análisis integral para el manejo del guano de aves ponedoras: caracterización, bioestabilización y valorización de los productos generados. [Tesis de Doctorado]. Facultad de Agronomía, Buenos Aires.
- Román P., Martínez M. M. y Pantoja A. (2013). Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Oficina regional para América Latina y el Caribe.
- Sáez, A., Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Revista Omnia*, 20(3), 121-135.
- Salazar, F. (2005) Reciclaje y compostaje de residuos orgánicos en agricultura. *Tierra Adentro*, 62, 50-51.
- Salazar, T. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3 (2), 74-84.

- Saval S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*, 16(2) 14-46.
- SCyMA y SENASA. (2019). Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost. Resolución Conjunta 1/19. Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692/texto>
- Suárez, F. (2021). Gestión de residuos, la integralidad pendiente: Paradigmas, principios y agendas públicas. *Ambiente En Diálogo*, (2).
- Tittonell, P., (2019) Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(1), 231-246.
- Uliarte, E. M.; Ambrogetti, A.O; Martinez, L.E.; Montoya, M.A.; Rizzo, P.F.; Ferrari, F.N. (octubre 2015) Evaluación de un implemento mecánico que permite airear pilas de compostaje. V Congreso Latinoamericano de Agroecología. La Plata, Buenos Aires.
- Uliarte, E. M., Ferrari, F. N., Martínez, L. E., Dagatti, C. V., Ambrogetti, A.O., Montoya, M. A. (2019). Estrategias de manejo para la transición hacia viñedos sostenibles en Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(2),105-124.
- Van den Bosch, M. E., Abraham, L. y Alturria, L. (2018). Producción orgánica de uva en Mendoza, Argentina: tipos de productores, caracterización técnica y económica. *Cuyonomics. Investigaciones En Economía Regional*, 1(2), 103-119.
- Vásquez, C., Millones, C. (2021). Una revisión sobre la diversidad microbiana y su rol en el compostaje aerobio. *Aporte Santiaguino*, 14(2), 253-275. http://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiagoino.

8 Anexo I

Tabla 1: Resultados de análisis fisicoquímico de residuos orgánicos a compostar.

Material	Humedad en base húmeda (%)	Materia orgánica en base húmeda (%)	Cenizas en base húmeda (%)	Materia orgánica en base seca (%)	Cenizas en base seca (%)	Nitrógeno total en base seca (%)	Relación C:N	Densidad Aparente en base húmeda (kg/m3)	Densidad Aparente en base seca (kg/m3)
Escobajo	12,1	78	10	88,7	11,3	1,36	36,6	45,4	39,9
Orujo	60,95	34,25	4,9	87,4	12,6	1,635	30,05	268	105,14
Hojas	10,3	65,4	24,3	72,8	27,2	0,78	52,5	14,2	12,7
Pasto	73,8	19,3	6,9	73,7	26,3	2,66	15,5	108,5	28,4
Guano (0-20cm)	54,4	25,4	20,1	55,8	44,2	1,81	17,3	308,4	140,6
Guano (20-30cm)	51,8	25,7	22,5	53,6	46,4	1,77	17	353,6	170,4
Guano (30-40cm)	52,3	26,2	21,5	54,9	45,1	2,07	14,9	370,6	176,8

Tabla 2: Resultados fisicoquímico de laboratorio para muestras finales de compost. Referencias: BS: Base seca; BH: Base húmeda.

	Parámetros	Pila 1	Pila 2	Pila 3	Pila 4	Promedio
Salinidad	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	3,05	3,08	3,95	4,22	3,57 ± 0,59
	pH	8,29	8,02	8,62	8,78	8,43 ± 0,34
Materia Orgánica	Humedad BH (%)	47,04	52,83	44,56	43,32	46,93 ± 4,22
Humedad	Mat. Orgánica BH (%)	41,09	38,06	37,9	39,62	39,17 ± 1,50
Cenizas	Cenizas BH (%)	11,87	9,12	17,55	17,07	13,9 ± 4,10
	Mat. Orgánica BS (%)	78,18	80,74	68,53	69,87	74,33 ± 6,04
	Cenizas BS (%)	21,82	19,26	31,47	30,14	25,67 ± 6,04
Macronutrientes	Nitrógeno Total BS (%)	2,12	2,08	2,22	2,12	2,13 ± 0,06
	Nitrógeno Amonio BS (mg kg ⁻¹)	520,53	167,41	224,22	492,07	351,06 ± 181,13
	Nitrógeno Nitrato BS (mg kg ⁻¹)	17,14	20,81	8,31	4,42	12,67 ± 7,60
	Fósforo Total BS(%)	0,37	0,21	0,24	0,33	0,31 ± 0,08
	Potasio Total (%)	2,53	2,34	2,36	2,06	2,32 ± 0,19
Micronutrientes	Hierro Total BS (mg kg ⁻¹)	1785,5	990,5	2826	3219,5	2205,4 ± 1010,91
	Cobre Total BS (mg kg ⁻¹)	49,75	45,06	32,85	42,2	42,46 ± 7,13
	Zinc Total BS (mg kg ⁻¹)	32,38	31,9	67,25	51,6	45,78 ± 17,00
	Manganeso Total BS (mg kg ⁻¹)	63,56	59,13	91,13	110,11	80,95 ± 24,03
Relación C:N		20,68	21,8	17,3	18,5	19,57 ± 2,04
Relación Amonio/Nitrato		30,37	8,05	26,98	111,45	44,21 ± 45,89

