



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

EVALUACIÓN DE COMPOST COMO SUSTITUTO DE INSUMOS UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA INTENSIVA PARA LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA Y FLORÍCOLA.

Universidad Nacional de Cuyo- Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

TESIS DE GRADO

Illarreta Heredia, Yésica Daiana

Mendoza, Argentina

2023



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

Título:

EVALUACIÓN DE COMPOST COMO SUSTITUTO DE INSUMOS UTILIZADOS EN LA
AGRICULTURA INTENSIVA PARA LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA Y FLORÍCOLA.

Tesista:

ILLARRETA HEREDIA, Yésica Daiana

yillarreta@est.fca.uncu.edu.ar

Director:

RIZZO, Pedro Federico

rizzo.pedro@inta.gob.ar

Codirector:

PISI, Gabriel Enrique

pisi.gabriel@inta.gob.ar

Comisión Evaluadora:

ULIARTE, Ernesto Martín

uliarte.ernesto@inta.gob.ar

FUNES PINTER, Mariano Iván

ifunespinter@fca.uncu.edu.ar

AGUADO, Germán Darío

aguado.german@inta.gob.ar

RESUMEN

Los residuos orgánicos de los sistemas de producción agropecuarios y agroindustriales pueden ser valorizados mediante la producción de compost. Este producto puede utilizarse como una alternativa al uso de insumos en la agricultura intensiva. Un posible empleo es como enmienda orgánica, que constituye una opción frente a la utilización de fertilizantes inorgánicos, mejorando las limitantes del suelo. Otra variante, es el uso como componente de sustrato para los cultivos, con materiales locales, reemplazando a otros componentes naturales que comprometen la sostenibilidad de los recursos naturales. Actualmente, algunas empresas utilizan inóculos en el proceso de compostaje para acelerar el proceso, reducir costos operativos y volumen de residuos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el compost inoculado por la empresa Soila+ Bio como enmienda de suelos para la producción hortícola en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y como componente de sustrato en la producción de plantines florales de petunias (*Petunia sp.*).

La elaboración de los compost fue realizada por Soila+ Bio en el Municipio de Luján de la provincia de Buenos Aires; y las evaluaciones en sistemas de cultivo, se realizaron en la EEA Mendoza del INTA. En los ensayos con *L. sativa*, se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones; suelo (S), suelo fertilizado (SF), suelo con compost (C) y suelo con compost inoculado (CI). Las variables evaluadas en el cultivo fueron, índice del contenido de clorofila (ICC), clorofila a, clorofila b, carotenoides, clorofila total, pigmentos totales, peso fresco (PF) y peso seco (PS) de la parte aérea. Las variables analizadas en suelo fueron salinidad completa, fertilidad, macro y micronutrientes. En el caso de *Petunia sp.*, el diseño fue completamente aleatorizado (DCA) con 7 tratamientos y 4 repeticiones. Entre los materiales empleados para formular los sustratos se encuentran: compost (C), compost inoculado (CI), sustrato comercial (SC) y sustratos con distintas proporciones de compost, turba y perlita. Se realizó un análisis de los parámetros físico- químicos de los distintos sustratos. En plantas de *Petunia sp.* se midió: ICC, PS de la parte aérea y radicular; y en forma complementaria se cuantificaron número de flores y pimpollos al final del ensayo.

Los resultados demuestran que los compost se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Conjunta de Compost, pertenecientes a la Clase A, con algunas consideraciones en cuanto al pH y la humedad. En los ensayos con lechuga, los valores de clorofila a ($> 34,76 \mu\text{g mL}^{-1}$) y de clorofila b ($> 42,10 \mu\text{g mL}^{-1}$) de los tratamientos C y CI fueron superiores al resto de los tratamientos. El ICC arrojó valores superiores para CI a los 43 días después el trasplante ($23,49 \pm 5,25$). Las plantas que fueron cultivadas en SF, C y CI lograron los mayores PF aéreos ($> 454,74 \text{ g}$). Con relación a los análisis de suelo, se presentaron valores elevados en macronutrientes de suelos enmendados con aplicación de compost C y CI. En lo que respecta a los ensayos con petunia, entre los distintos sustratos analizados, los valores de Mg y K en el sustrato con C y CI fueron mayores y significativamente diferentes. Las plantas cultivadas en un sustrato con 33% de compost, turba y perlita, arrojaron valores altos de ICC (>30). Los valores obtenidos de PS de la parte radicular, fueron superiores para C, CI y los sustratos con un 33% entre compost, perlita y turba. El conteo realizado en pimpollos fue superior en C, SC y CI.

Se puede concluir que el uso de compost inoculado y sin inocular, mejoran las aptitudes del compost en forma de enmienda orgánica y componente de sustrato.

Palabras Claves: Compost, residuos orgánicos, enmienda, sustrato, inóculo.

ABSTRACT

Organic waste from agricultural and agroindustrial production systems can be valorized through the production of compost. This product can be used as an alternative to the use of inputs in intensive agriculture. A possible use is as an organic amendment, which constitutes an option compared to the use of inorganic fertilizers, improving the limitations of the soil. Another variant is the use as a substrate component for crops, with local materials, replacing other natural components that compromise the sustainability of natural resources. Currently, some companies use inocula in the composting process to speed up the process, reduce operating costs and waste volume. The objective of this work was to evaluate the compost inoculated by the company Soila+ Bio as a soil amendment for horticultural production in lettuce crops (*Lactuca sativa*) and as a substrate component in the production of petunia floral seedlings (*Petunia sp.*).

The production of the compost was carried out by Soila+ Bio in the Municipality of Luján in the province of Buenos Aires; and the evaluations in cropping systems were carried out at the EEA Mendoza of INTA. In the trials with *L. sativa*, a randomized complete block design (DBA) with 4 treatments and 4 repetitions was used; soil (S), fertilized soil (SF), soil with compost (C) and soil with inoculated compost (CI). The variables evaluated in the crop were chlorophyll content index (CCI), chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, total chlorophyll, total pigments, fresh weight (FW) and dry weight (DS) of the aerial part. The variables analyzed in soil were complete salinity, fertility, macro and micronutrients. In the case of *Petunia sp.*, the design was completely randomized (DCA) with 7 treatments and 4 repetitions. Among the materials used to formulate the substrates are: compost (C), inoculated compost (CI), commercial substrate (SC) and substrates with different proportions of compost, peat and perlite. An analysis of the physical-chemical parameters of the different substrates was carried out. In *Petunia sp.* plants. The following were measured: ICC, PS of the aerial and root parts; and in a complementary manner, the number of flowers and buds were quantified at the end of the test.

The results show that the composts are within the limits established by the Joint Compost Standard, belonging to Class A, with some considerations regarding pH and humidity. In the trials with lettuce, the values of chlorophyll a ($> 34.76 \mu\text{g mL}^{-1}$) and chlorophyll b ($> 42.10 \mu\text{g mL}^{-1}$) of treatments C and CI were higher than the rest of the treatments. The CCI showed higher values for IC at 43 days after the transplant (23.49 ± 5.25). The plants that were grown in SF, C and CI achieved the highest aerial PF ($> 454.74 \text{ g}$). In relation to the soil analysis, high values were presented in macronutrients of soils amended with the application of compost C and CI. Regarding the trials with petunia, among the different substrates analyzed, the values of Mg and K in the substrate with C and CI were higher and significantly different. Plants grown in a substrate with 33% compost, peat and perlite, showed high ICC values (>30). The values obtained for PS of the root part were higher for C, CI and the substrates with 33% between compost, perlite and peat. The count carried out in buds was higher in C, SC and CI.

It can be concluded that the use of inoculated and uninoculated compost improves the abilities of the compost in the form of an organic amendment and substrate component.

Keywords: Compost, organic waste, amendment, substrate, inoculum.

AGRADECIMIENTOS

Uno de los más grandes valores que me enseñaron desde niña fue el poder del agradecimiento, y hoy con la culminación de mi tesis de grado quisiera agradecer a todos aquellos que desde distintos lugares fueron un sostén:

Agradezco a mis padres, Alicia y Omar, ellos me inculcaron el valor de esfuerzo y la constancia. A Fer y Vale, fueron y son apoyo constante en mi vida. A mi familia por estar presente alentándome.

A Ferchu, por abrirme el camino en esta carrera y compartir largas charlas de lo aprendido.

A Pao, por brindarme siempre su apoyo y ser mi compañía más fiel. Gracias.

A Cinthia, Mari, Cris, Agus, Juanito, Bruno, Mati, Juan; y tantas buenas personas con las que he compartido charlas en los pasillos y el botánico, cursadas, mates y risas. A Feli y Luci, por incentivarnos constantemente, por las carcajadas y los mates.

A los docentes de la FCA por generar un espacio de aprendizaje y enseñarnos lo maravilloso de actuar para la naturaleza.

A Pedro, Gabriel, Iván, Martín y Germán por brindarme todo su apoyo desde el INTA, por acompañarme en este proceso y principalmente por enseñarme. Gracias.

A todos estos seres, y más, mucho más, les agradecí antes y les agradezco hoy.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo General:	2
1.1.2 Objetivos específicos:	2
1.2 Hipótesis	2
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Compostaje	4
2.1.1 Compostaje con inoculación de microorganismos.	5
2.1.2 Etapas del proceso de compostaje.	6
2.1.3 Factores que afectan el proceso de compostaje	8
2.2 Compost.....	9
2.2.1 Calidad del compost	10
2.2.2 El compost como enmienda orgánica de suelo.	11
2.2.3 El compost como componente de sustrato.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Origen de los compost empleados y sus características de calidad.....	13
3.1.1 Localización y origen de los compost.....	13
3.1.2 Elaboración de los compost.....	13
3.1.3 Parámetros analizados en compost.....	13
3.2 Características físico- químicas analizadas en los componentes de sustratos y mezclas.	17
3.2.1 Aprovisionamiento de los componentes de sustratos.....	17
3.2.2 Análisis exploratorio y parámetros analizados en los componentes de sustratos.....	18
3.3 Evaluación del uso del compost como enmienda de suelo en un cultivo de Lechuga.	18
3.3.1 Diseño experimental.....	18
3.3.2. Variables analíticas en biomasa de Lechuga.	20
3.3.3. Variables analíticas medidas en suelo	21

3.4	Evaluación del uso de compost como componente de sustrato en un cultivo de <i>Petunia</i> .	21
3.4.1	Diseño experimental.	21
3.4.2	Variables analíticas medidas en biomasa de <i>Petunia</i> sp.	23
3.5	Análisis estadístico.	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	24
4.1	Caracterización y comparación de los parámetros analizados en los compost.	24
4.2	Caracterización, comparación y elección de los componentes de sustratos a partir del análisis de los parámetros físico-químicos.	27
4.2.1	Prueba preliminar: Determinación de pH y CE para la generación de las mezclas óptimas de componentes de sustratos.	27
4.2.2	Caracterización de los sustratos evaluados.	28
4.3	Utilización de compost como enmienda orgánica de suelo en <i>L. sativa</i> .	31
4.3.1	Caracterización de las variables analíticas determinadas en biomasa vegetal.	31
4.3.2	Caracterización de las variables analíticas medidas en suelo.	34
4.4	Utilización de compost como componente de sustratos en <i>Petunia</i> sp.	37
4.4.1	Caracterización y comparaciones de las variables analíticas en biomasa.	37
5.	CONCLUSIONES	40
6.	BIBLIOGRAFÍA	41
7.	ANEXO	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El Desarrollo Sostenible propone tres pilares fundamentales: lo económico, lo social y lo ambiental, al unir los tres pilares tenemos como resultado las dimensiones de sostenibilidad, lo equitativo, lo soportable y lo viable. Fuente: Castaño Martínez, 2013.	5
Figura 2. Fases de la producción de compost con énfasis en los cambios de temperatura. Fuente: Mazzarino y Satti, 2012.....	7
Figura 3. Recipientes conteniendo los diferentes componentes utilizados para la realización del análisis exploratorio como sustrato	17
Figura 4. Diseño experimental del ensayo con lechuga. a) Parcelas donde se aplicaron los distintos tratamientos y, b) Subparcela implantada con 8 individuos de lechuga por cada tratamiento.....	19
Figura 5. Muestras de suelo extraídas de las subparcelas donde se realizó el ensayo de enmienda orgánica con plantas de lechuga.	21
Figura 6. Ensayos realizados con <i>Petunia</i> sp. a) Totalidad de los tratamientos colocados sobre una mesada con efecto bordura, b) macetas implantadas correspondientes a un tratamiento específico.	22
Figura 7. Peso fresco aéreo (PF Ar) y peso seco aéreo (PS Ar) en gramos de <i>L. sativa</i> (media \pm desvío estándar).	32
Figura 8. Concentración de Clorofila A (ChIA), Clorofila B (ChIB), Carotenoides (Carot), Clorofila Total (TChI) y Pigmentos Totales (Tpig), en base seca. (media \pm desvío estándar). ...	34
Figura 9. Peso Fresco (PF) y Peso Seco (PS) de las partes aéreas y radicular de plantas de <i>petunia</i> implantadas en distintos sustratos (media+ desvío estándar).....	37
Figura 10. Número de flores y pimpollos en plantines de <i>Petunia</i> sp. (media \pm desvío estándar).....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros de estabilidad.	14
Tabla 2. Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros de madurez. .	14
Tabla 3. Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros de microorganismos patógenos.	15
Tabla 4. Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros químicos.	16
Tabla 5. Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros físicos.....	17
Tabla 6. Aplicaciones de insecticidas, fungicidas, fertilizantes inorgánicos y orgánicos en ensayos de <i>L. sativa</i>	20
Tabla 7. Aplicaciones realizadas a lo largo del ensayo con <i>Petunia</i>	23
Tabla 8. Valores de microorganismos patógenos de los compost con y sin inocular.....	24
Tabla 9. Parámetros de estabilidad y madurez de los compost con y sin inocular.	25
Tabla 10. Parámetros físicos- químicos de los compost con y sin inocular.....	26
Tabla 11. Valores de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) arrojados de los compost con y sin inocular.	27
Tabla 12. Análisis exploratorio realizado con distintos componentes de sustratos.	28
Tabla 13. Parámetros químicos determinados en los distintos sustratos.	30
Tabla 14. Parámetros físicos determinados en los distintos sustratos.	30
Tabla 15. Valores de Índice de Contenido de Clorofila (ICC), medidos a los 8 y 43 días desde el trasplante, en plantas de lechuga.	32
Tabla 16. Valores de salinidad completa obtenidos del análisis de suelo en el ensayo de enmienda orgánica con lechuga.	35
Tabla 17. Valores de macro y micronutrientes obtenidos del análisis de suelo en el ensayo de enmienda orgánica con lechuga.	36
Tabla 18. Valores de índice de Contenido de Clorofila (ICC) (media \pm desviación típica) obtenidos a los 46 días desde la plantación de plantines de <i>Petunia</i> en macetas.....	38
Tabla 19. Indicadores para determinar estabilidad y madurez de un compost.....	49
Tabla 20. Nivel de Patógenos para determinar la calidad de compost.....	49
Tabla 21. Parámetros físico- químicos y elementos potencialmente tóxicos (EPT) para determinar la calidad y clases de compost.....	50
Tabla 22. Cantidad de materiales inertes para determinar la calidad de compost (los materiales inertes deben ser igual o menor a 16 mm).....	50

1. INTRODUCCIÓN

La intervención del hombre en los ecosistemas naturales con el objetivo de satisfacer sus requerimientos alimentarios ha generado importantes cambios en los recursos naturales, en especial el suelo, el agua y la vegetación. El uso de la tierra para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias, hortícolas o frutícolas ha ocasionado cambios significativos en los ecosistemas, por lo que hoy se habla de ecosistemas intervenidos o agroecosistemas. Estos agroecosistemas presentan diverso grado de deterioro lo que determina que algunos sean más vulnerables que otros (Cantú et al., 2008).

De acuerdo al Censo Nacional Agropecuario, realizado en el año 2018, se identificaron en Argentina un total de 249.663 explotaciones agropecuarias con una superficie total de 154.811.826,8 ha. Dentro de ellas, los sistemas agrícolas intensivos han afectado las funciones de los ecosistemas, a través de la pérdida de su diversidad, bajo aporte anual de carbono y disminución del contenido de materia orgánica del suelo; generando una progresiva disminución de la fertilidad y empobrecimiento de los suelos (Duval et al., 2015).

Para que dichas explotaciones agropecuarias generen rindes de importancia, se utiliza en muchas de ellas, el agregado de fertilizantes. Según la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (CIAFA), la aplicación de fertilizantes en 2022 fue 2.642.004 t de fertilizantes nitrogenados, 1.792.584 t de fertilizantes fosfatados, 183.786 t de azufrados y 56.797 t de fertilizantes potásicos. Aproximadamente el 62% de estos fertilizantes utilizados son importados (CIAFA, 2023), supliendo la carencia de estos insumos a nivel nacional.

Paralelamente al uso de insumos, el desarrollo y crecimiento de los sistemas de producción pecuaria, agrícola y agroindustrial, son responsables de generar residuos orgánicos que, en general, no son tratados o aprovechados adecuadamente (Kirchherr et al., 2017). Esto representa una pérdida importante de recursos naturales con potencial de valorización. Asimismo, la agricultura intensiva actual consume grandes cantidades de recursos naturales no renovables, comprometiendo su sostenibilidad, este es el caso de, por ejemplo, la turba, mantillo de bosque y fertilizantes fosfatados (Schoumans et al., 2015).

Como se mencionó anteriormente, la generación de residuos agropecuarios y agroindustriales; y la inadecuada disposición de los mismos, trae consigo una serie de impactos ambientales negativos. Esto se debe principalmente a la emisión de gases y generación de lixiviados; los cuales inciden directamente en la salud humana y del ambiente (González y Villalobos, 2021). Dichos residuos orgánicos pueden ser valorizados a través de alternativas biotecnológicas, contribuyendo de esta forma al concepto de economía circular, brindando sostenibilidad en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (Kirchherr et al., 2017).

Es por ello, que el compostaje se propone como una tecnología alternativa y sustentable para un manejo integral de los residuos orgánicos derivados de actividades productivas, a fin de disminuir su impacto y poder ser aprovechados como insumos en otras cadenas productivas (Álvarez et al., 2019). Además, el compostaje permite generar una enmienda rica de microorganismos que pueden biotransformar compuestos reduciendo su toxicidad y su volumen general (Rojas Vargas et al., 2022).

Por su parte, ante la demanda creciente de ciertas empresas por adaptar tecnologías que puedan acelerar el proceso de compostaje; existen investigaciones para desarrollar preparados biológicos con dicha funcionalidad. La adición de microorganismos en el proceso de compostaje tiene la capacidad de acelerar el proceso, reducir costos operativos, y disminuir el volumen de residuos a compostar (Barrena Gómez, 2007; Tortarolo et al., 2008).

El presente trabajo de tesis se desarrolló en el marco de un convenio entre la empresa NF Developers S.A (Soila+Bio) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) a través de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (EEA de Mendoza, Grupo de trabajo Agrotecnología Sostenible, Luján de Cuyo). Soila+Bio se encuentra ubicada en el municipio de Luján (Provincia de Buenos Aires) y se dedica al tratamiento de residuos orgánicos agropecuarios, con el fin de valorizarlos mediante compostaje y transformarlos en insumos para la agricultura.

La empresa Soila+Bio ha desarrollado y presentado el patentamiento de un inóculo microbiano que acelera el proceso de compostaje de los residuos orgánicos agroindustriales y agropecuarios, con la finalidad de reducir el tiempo operativo y los costos económicos asociados al tratamiento y la calidad del producto final. Este estudio evaluó agrónomicamente el uso del compost obtenido con y sin inóculo, como enmienda de suelo para la producción hortícola en cultivos con *Lactuca sativa* y como componente de sustrato en la producción de plantines de *Petunia sp.* De esta manera, se busca promover sistemas productivos eficientes y sustentables, que contribuyan al enfoque de economía circular.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General:

Evaluar el compost inoculado por Soila+Bio como enmienda de suelo para la producción hortícola en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) y como componente de sustrato para la producción florícola de petunia (*Petunia sp.*).

1.1.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar fisicoquímicamente los compost obtenidos, con y sin inóculo.
- Elaborar y caracterizar sustratos con los compost en forma pura y en mezcla con otros componentes, comparando sus propiedades con un sustrato comercial.
- Evaluar el efecto del compost inoculado como enmienda de suelo en un cultivo hortícola de lechuga (*L. sativa*).
- Analizar los efectos diferenciales de distintos sustratos en la producción de plantines florales de petunia (*Petunia sp.*).

1.2 Hipótesis

La incorporación del inóculo de Soila+Bio en el proceso de compostaje mejora la aptitud del compost, tanto como enmienda de suelo en la producción hortícola, y como componente de sustrato en floricultura.

2. MARCO TEÓRICO

Actualmente, la agricultura utiliza el 11% de la superficie terrestre para la producción de cultivos. La tasa de crecimiento en los últimos 50 años de superficie cultivada ha sido del 12%. La

producción agrícola se ha incrementado entre 2,5 y 3 veces durante el mismo período. Este crecimiento se debe a un aumento en el rendimiento de los principales cultivos a escala global. Sin embargo, los objetivos mundiales de producción en algunas regiones han causado una degradación de la tierra, los recursos hídricos, y el deterioro de los servicios ecosistémicos (Dubois, 2011).

La conservación de los recursos naturales mencionados con anterioridad, y una producción agrícola planificada, no pueden concebirse si no se tiene un plan de transformación de los residuos que se generan, en especial los residuos orgánicos pecuarios y agroindustriales (Rizzo, 2020). Además, se conoce que uno de los sistemas que genera mayor materia orgánica residual es el agropecuario y agroindustrial, donde la revalorización de estos residuos es crucial para la obtención de enmiendas orgánicas destinadas al suelo de cultivo, y que incluso puedan sustituir parcialmente el uso de fertilizantes químicos utilizados en la agricultura actual (Fombuena y Domínguez, 2020).

Por este motivo, ha surgido un gran interés en la gestión y tratamiento de los residuos orgánicos para minimizar las externalidades negativas en el ambiente y promover su aprovechamiento en múltiples procesos productivos (González y Villalobos, 2021). El reciclaje de los residuos orgánicos generados en el proceso productivo de una explotación agropecuaria y agroindustrial 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), contribuyendo así a la rentabilidad de la producción (Román et al., 2013).

Desde el punto de vista ambiental, este reciclaje de materiales y su aplicación al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica edáfica, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, la sustitución de turba como sustrato, la absorción de carbono, el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación (Román et al., 2013).

Según Fombuena y Domínguez (2020), la creciente problemática acerca de la acumulación de residuos en el ambiente ha llevado a la utilización de diferentes métodos para su posible reaprovechamiento y/o revalorización. Un método muy estudiado y difundido para reciclar residuos orgánicos y reducir los efectos negativos sobre el ambiente es el compostaje.

El compostaje es realizado por una población diversa de microorganismos con especies de bacterias, hongos y actinobacterias que se alternan en las diferentes etapas de degradación del material. Los estudios relacionados con el uso de inóculos en el proceso de compostaje apuntan a que el compost promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas (Morocho y Leiva Mora, 2019).

Actualmente, hay estudios que señalan los efectos positivos de inocular con microorganismos el proceso de compostaje. Los microorganismos eficientes (EM), aceleran el proceso de compostaje, incrementan la calidad del compost obtenido y mejoran las propiedades del suelo (Mayer et al., 2010).

Por esta razón, el uso actual de inóculos en el proceso de compostaje es una alternativa para acelerar el proceso. De esta forma, se convierte en una estrategia para acelerar o mejorar el proceso, y con ello, transformar los residuos y cumplir con las necesidades expuestas anteriormente. Este tratamiento busca incrementar la eficiencia en la transformación química de la materia orgánica, produciendo un compost con mayores aptitudes para el acondicionamiento del suelo (Morais et al., 2022).

El uso de compost constituye una alternativa al uso de fertilizantes inorgánicos. Las respuestas de los cultivos a la aplicación de enmiendas orgánicas en términos de rendimiento, pueden deberse a la mejora de las limitaciones del suelo, los nutrientes disponibles para las plantas contenidos en la enmienda o ambos factores actuando en conjunto (Celestina et al., 2019).

Por otro lado, el compost puede ser utilizado como componente de sustrato. Siendo aprovechado como alternativa al uso de productos comerciales, tales como la turba de musgo *Sphagnum*, un recurso natural no renovable. El compost posee una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, junto a un buen drenaje y aireación, propiedades deseadas para ser utilizado como soporte en cultivos intensivos (Barbaro et al., 2011).

En este sentido, se conoce que el sustrato es un insumo ampliamente utilizado para la producción de plantas, siendo la floricultura un sector donde se lo emplea. Actualmente, se realiza una búsqueda de sustratos alternativos para producir plantas de buena calidad, a bajo costo y principalmente mediante el uso de sustratos elaborados con materiales locales. Dentro de las alternativas que se han generado a lo largo de los años se destaca el uso de materiales disponibles localmente, que pueden ser de origen mineral u orgánico. Estos últimos muchas veces resultan ser desechos agropecuarios, agroindustriales y urbanos (Pisi, 2017).

De esta manera, el uso del compost como enmienda orgánica y como componente de sustrato, contribuyen a mitigar el impacto ambiental. Garantizan una producción sustentable y de calidad, permitiendo restaurar suelos degradados, mejorando las restricciones fisicoquímicas y restableciendo funciones biológicas; mejorando la aptitud agronómica de estos (Vázquez et al., 2020).

2.1 Compostaje

El compostaje es un proceso bio-oxidativo que involucra un sustrato orgánico heterogéneo, una etapa termofílica que permite la reducción de patógenos y semillas de malezas y una etapa de maduración, donde se produce la degradación de sustancias fitotóxicas, que finaliza en un producto estable, inocuo e inodoro (Haug, 1993).

Asimismo, se puede definir el proceso de compostaje como un proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) con una humedad y temperatura adecuadas, permitiendo la transformación de los desechos orgánicos en un material homogéneo, higiénico y sin sustancias fitotóxicas. Se han identificado las tres fases principales del compostaje en función de las variaciones de temperatura, además de una fase de maduración (detalladas en el apartado 2.1.2). Al ser un proceso biológico, los microorganismos juegan un papel crucial en el proceso de compostaje, por lo tanto, se deben tener en cuenta los factores que afectan el crecimiento y la reproducción de estos microorganismos (Meena et al., 2021).

El compostaje ha ganado atención como una alternativa de procesamiento de desechos orgánicos. Además de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), también se está adaptando para el tratamiento de otros tipos de residuos orgánicos, como estiércoles pecuarios, lodos de depuradora y lodos industriales (Otoo y Drechsel, 2018; Azim et al., 2018). De hecho, el proceso de compostaje tiene la capacidad de reducir las bacterias, los virus y los parásitos patógenos en los residuos, que de lo contrario podrían representar un riesgo para la salud. Aunque los patógenos no pueden eliminarse por completo mediante el compostaje, la presencia de patógenos en el compost es menor que en el estiércol del ganado (Wery, 2014).

Se sabe que los desechos orgánicos son conocidos por presentar una amplia gama de desafíos ambientales, debido a la producción de lixiviados, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), olores desagradables y la contaminación del suelo y el agua, cuando se eliminan en

vertederos o, especialmente, en vertederos no controlados (Hettiarachchi et al., 2018). Sin embargo, los mismos pueden ser aprovechados por la sociedad si se gestionan adecuadamente, mediante el compostaje, la digestión anaeróbica o tratamiento térmico. Tales técnicas contribuyen a reducir significativamente los residuos orgánicos que van a disposición final en rellenos sanitarios y vertederos (Pace et al., 2018). Estas alternativas también ofrecen otros beneficios ambientales, como la reducción de las emisiones de GEI y la producción de lixiviados en los vertederos (Adhikari et al., 2009).

Es por ello, que el compostaje de residuos orgánicos permite ser más sostenibles en la forma en que gestionamos nuestros recursos ambientales. El reciclaje de nutrientes integrado en el concepto de compostaje apoya la transición a una economía circular, que actualmente se está discutiendo en muchos círculos internacionales (Hettiarachchi et al., 2020).

Además, desde el punto de vista de la recuperación de recursos, que es un componente importante en la pirámide de gestión de residuos (en orden de importancia: prevención y minimización de residuos, reutilización, reciclaje, valorización y disposición final), el aspecto de reciclaje de nutrientes del compostaje lo convierte en un proceso sostenible, un método de gestión de residuos orgánicos. Desde el punto de vista ambiental, económico y social, el compostaje convierte los desechos orgánicos en un producto (compost) útil para las actividades agrícolas y la restauración de suelos, rico en carbono, agua y nutrientes, y libre de la mayoría de los patógenos. Así, el reciclaje de nutrientes a través del compostaje aborda los conocidos tres pilares de la sostenibilidad: la sociedad, la economía y el ambiente (Castaño Martínez, 2013; Figura 1). En base a lo expuesto, se interpreta que el compostaje es un método sostenible de gestión de residuos orgánicos y el producto final, el compost, es un insumo sostenible para enriquecer los suelos (Hettiarachchi et al., 2020).



Figura 1. El Desarrollo Sostenible propone tres pilares fundamentales: lo económico, lo social y lo ambiental, al unir los tres pilares tenemos como resultado las dimensiones de sostenibilidad, lo equitativo, lo soportable y lo viable. Fuente: Castaño Martínez, 2013.

2.1.1 Compostaje con inoculación de microorganismos.

El compostaje reduce entre un 40% en peso y 50% en volumen de los materiales residuales. La aplicación de inóculos en el proceso de compostaje es una tecnología de bajo costo para la estabilización de los residuos orgánicos biodegradables y la producción de compost. Para

preparar compost de buena calidad con residuos provenientes del campo y la ciudad, en el menor tiempo posible, es necesario optimizar la técnica a aplicar (Tortarolo et al., 2008).

Una de las tecnologías destinadas a mejorar la calidad del compost, es la inoculación de microorganismos (Sánchez et al., 2017), particularmente de consorcios microbianos nativos aislados de especies de nuestra región. Mediante la inoculación de microorganismos benéficos existe la posibilidad de obtener un compost con un valor sustancial de fertilizante (Kopec et al., 2018). Además, se conoce que la aplicación de microorganismos eficientes acorta el proceso de compostaje e incrementa la mineralización del compost, así como los contenidos de macro y micronutrientes (Aye, 2016; Álvarez et al., 2019). Asimismo, constituyen una alternativa viable para la agricultura orgánica; y de esta forma, transformar los residuos agropecuarios en productos útiles que contribuyan a mejorar la producción agrícola (Álvarez et al., 2018 y 2019). Entre los productos que se suelen obtener, se encuentra una enmienda o un abono aptos para ser aplicados en agricultura y/o en jardinería (Tortarolo et al., 2008).

Para lograr esta finalidad, se necesita contar con la comprensión de la estructura y dinámica de la comunidad microbiana (Bolta et al., 2003; Tortarolo et al., 2008); debido a que estos microorganismos tienen la potencialidad de biodegradación, biolixiviación, biocompostación, fijación de nitrógeno y mejoramiento en la fertilidad del suelo (Kumar y Gopal, 2015).

2.1.2 Etapas del proceso de compostaje.

El proceso de compostaje se suele dividir en cuatro etapas, períodos o fases dependiendo de la variación de la temperatura. Estas etapas se las conoce como: etapa mesófila, etapa termófila, segunda etapa mesófila y etapa maduración (Haug, 1993; Mazzarino y Satti, 2012).

La etapa inicial se considera aquella que transcurre desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura con respecto a la temperatura del material inicial. Esta etapa es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje, en cambio, si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La diferencia se debe a la presencia de compuestos carbonados de bajo peso molecular y, por lo tanto, rápidamente atacables por los microorganismos. La duración de esta etapa varía entre 24 y 72 horas dependiendo de la relación C/N, el pH, la concentración parcial de oxígeno, la temperatura ambiente y la carga microbiana. En la Figura 2 se puede observar la temperatura en relación con el tiempo, para la producción de compost.

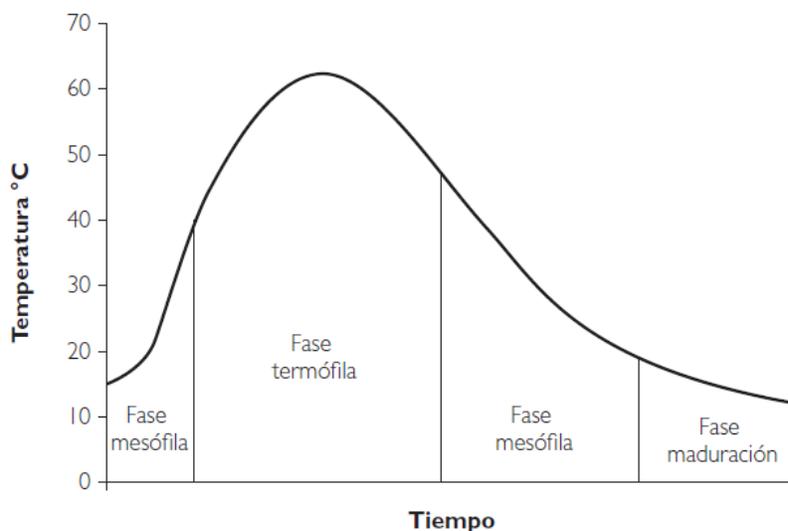


Figura 2. Fases de la producción de compost con énfasis en los cambios de temperatura. Fuente: Mazzarino y Satti, 2012.

Seguidamente, la etapa mesófila o mesotérmica se caracteriza por temperaturas entre 10-45 °C, oxidación aeróbica de compuestos carbonados por microflora mesófila (bacterias y hongos), nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de azufre. La actividad metabólica y la falta de disipación del calor incrementan 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 (Mazzarino y Satti, 2012).

En la etapa termófila, el rasgo diferencial es su alta temperatura (45-75 °C). Cuando la temperatura del material orgánico original alcanza una temperatura superior a 45 °C, los microorganismos mesófilos son reemplazados por microorganismos termófilos (en su mayoría bacterias termófilas) que tienen la capacidad de crecer a temperaturas más altas. Estos microorganismos termófilos facilitan la degradación de materia orgánica compleja, es decir, celulosa y lignina. La conversión de nitrógeno en amoníaco por parte de los microbios termófilos da como resultado un aumento del pH de la pila de compost durante esta etapa (FAO, 1980 y 2002). A medida que se agotan los compuestos degradables y aumenta la proporción de CO₂ se produce la disminución de la flora termófila interviniente. Esta etapa es crítica para la higienización del material, por lo que se ha regulado la temperatura mínima a alcanzar y su duración (Meena et al., 2021).

Luego de la etapa termófila, hay una segunda etapa mesófila, esta fase comienza con el descenso de la temperatura, que se sitúa por debajo de los 40 °C. En esta etapa se desarrollan nuevamente microorganismos mesófilos que utilizan los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como restos de celulosa y lignina (Bohórquez, 2019). A medida que la temperatura desciende por debajo de los 40 °C, la actividad de los organismos mesófilos se reanuda y el pH de la pila de compost disminuye ligeramente, mientras que, en general, el pH de la pila de compost permanece ligeramente alcalino (Acharya, 1950; Meena et al., 2021).

Finalmente, en la etapa de maduración, la temperatura desciende hasta valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En esta etapa se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización que llevan a la formación de sustancias del tipo de las sustancias húmicas y se degradan sustancias fitotóxicas. Su duración depende de numerosos factores y al final el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso. Desde el punto de vista microbiológico, la finalización del proceso de compostaje se caracteriza por el descenso de la actividad metabólica (Bohórquez, 2019).

2.1.3 Factores que afectan el proceso de compostaje

Al ser un proceso biológico, los microorganismos juegan un papel crucial en el proceso de compostaje, por lo tanto, se deben tener en cuenta los factores que afectan el crecimiento y la reproducción de estos microorganismos. Estos factores incluyen aireación u oxígeno, temperatura, pH, humedad y relación C/N. Estos parámetros siempre deben estar dentro de un rango óptimo y deben estar bajo vigilancia constante (Meena et al., 2021).

2.1.3.1 Aireación u Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio, la aireación es un factor a tener en cuenta para el correcto funcionamiento del proceso. Las funciones básicas de la aireación son: suministrar el oxígeno necesario para permitir la actividad de los microorganismos aerobios, favorecer la regulación de exceso de humedad mediante la evaporación y mantener la temperatura adecuada. El suministro de oxígeno al material en descomposición se realiza mediante sistemas de aireación y/o volteos (Docampo, 2013).

El sistema de aireación mediante volteos, además de proporcionar oxígeno a la mezcla favorece la homogenización del material, permite la redistribución de los microorganismos, la humedad y nutrientes, reduce el tamaño de las partículas y expone a nuevas superficies al ataque de los microorganismos (Haug, 1993; Rizzo, 2020).

2.1.3.2 Temperatura

La temperatura tiene un amplio rango de variación dependiendo de la fase del proceso. El compostaje comienza a temperatura ambiente que puede llegar hasta los 65 °C sin necesidad de intervención humana (calentamiento externo). Mientras que, durante la fase de maduración, la pila de compost alcanza la temperatura ambiente. La elevada temperatura y el período de tiempo más largo poseen una alta tasa de descomposición e higienización, por lo que la temperatura de la pila no debería caer a un ritmo más rápido (Mazzarino y Satti, 2012). Las variaciones de temperatura en las distintas fases del proceso de compostaje se describen en el apartado 2.1.2.

2.1.3.3. pH

El pH durante el proceso de compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (de 4,5 a 8,5). Durante las primeras fases del compostaje, el pH de la pila de compost se acidifica debido a la liberación de varios ácidos orgánicos por parte de los microorganismos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube, el medio se alcaliniza para finalmente estabilizarse en valores cercanos a la neutralidad. El pH es un factor determinante para la supervivencia de los microorganismos y los diversos grupos de microorganismos tienen su rango de pH óptimo para su crecimiento y multiplicación. La mayor parte de la actividad bacteriana se produce a un pH de 6,0 a 7,5, mientras que la mayor parte de la actividad fúngica se produce a un pH de 5,5 a 8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2 (Meena et al., 2021; Bueno et al., 2008).

2.1.3.4 Humedad

La actividad microbiana y el nivel de humedad en el material que se está compostando están estrechamente relacionados entre sí, ya que los microorganismos utilizan el agua presente en la materia prima para transportar nutrientes y energía a través de sus membranas celulares. El nivel de humedad en el material de compostaje varía según el tamaño de las partículas, la condición física del material y el sistema de compostaje. El nivel ideal de humedad en el material de compostaje debe estar alrededor del 50-60% (Docampo, 2013).

2.1.3.5 Relación C:N

Los microorganismos descomponedores que intervienen en el proceso de compostaje requieren nutrientes. Generalmente, los residuos presentan un elevado contenido de nutrientes, aunque muchas veces se encuentran desbalanceados. Los elementos que más se requieren en cantidad son el carbono (C) y el nitrógeno (N). Estos dos elementos deben encontrarse en una proporción adecuada en la mezcla de residuos a compostar. Se considera que una relación C:N óptima, al inicio del proceso de compostaje, es de 25-35 ya que se estima que por cada unidad de N los microorganismos utilizan de 15 a 30 unidades de C para llevar a cabo reacciones metabólicas. Altas relaciones C:N retardan el proceso, mientras que con bajas relaciones se generan pérdidas de N. La relación C:N de un residuo se puede ajustar mezclando éste con otro residuo de características complementarias. Estos materiales son denominados como co-sustratos (Barrena Gómez et al., 2006; Sánchez et al., 2016).

2.2 Compost

Según el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost (SCyMA y SENASA, 2019), 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.

Varios autores coinciden que el agregado de compost al suelo provoca diversos efectos benéficos como el aporte de nutrientes, estimula el desarrollo radicular e incorpora microorganismos beneficiosos implicados en el ciclo de diferentes nutrientes (Laich, 2011; Vázquez et al., 2020). Además, se sabe que el producto final es rico en nutrientes, que se puede aplicar al suelo como aporte de nutrientes o estabilizador del mismo, ofrece importantes beneficios a los sistemas agroecológicos, ya que combina la protección ambiental con la producción agrícola sostenible (Thanh et al., 2015; Román et al., 2013; Mbuligwe et al., 2002; Hettiarachchi et al., 2020).

El compost es un producto que modifica el suelo y mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que da como resultado una mayor productividad de los cultivos y una mejor calidad ambiental. Como tal, el compost es beneficioso en casi cualquier aplicación de cultivo de plantas y gestión de la tierra, incluidas las aplicaciones de jardinería y césped, la producción de cultivos de campo, las tierras de pastoreo, la producción de frutas y verduras, la agricultura orgánica, la producción de plantas en invernaderos y contenedores, la remediación de suelos contaminados, control de la erosión, e incluso como medio de cultivo para jardines en azoteas o techos verdes. Esta variedad de usos implica colectivamente una amplia gama de productos de compost con diferentes características (Brown y Cotton, 2011).

La aplicación exitosa de compost, que conduce a una mayor producción agrícola y una mejor calidad del suelo, es un resultado muy positivo que los agricultores pueden apreciar. Además de satisfacer las necesidades de los agricultores apoya el aspecto social del desarrollo sostenible. La aplicación de compost con nutrientes implica un menor uso de fertilizantes químicos, y esto implica un posible ahorro (Hettiarachchi et al., 2020).

2.2.1 Calidad del compost

El compost se elabora a partir de materias primas orgánicas sometiéndolas a un proceso de descomposición aeróbica controlada de modo que las materias primas originales ya no sean reconocibles, los materiales orgánicos se hayan estabilizado y la fitotoxicidad se haya reducido a niveles benignos. Varios factores influyen en la calidad del compost resultante, incluido cómo se procesan y durante cuánto tiempo (Bonhotal et al., 2008). Sin embargo, más que cualquier otro factor, las materias primas determinan las características del producto.

Por lo tanto, las cualidades de los compost son casi tan diversas como las materias primas utilizadas para producirlos. Es importante tener en cuenta que las características necesarias para un compost de calidad dependen del uso previsto para la composta y las condiciones del suelo, tipos específicos de plantas, clima, lluvia anual y otros factores. Estos representan una amplia gama de condiciones potenciales que dificultan la predicción del compost terminado, óptimo para usar en todas las situaciones (Bonhotal et al., 2008).

Para Rynk et al. (2021), las características que ayudan a definir la calidad del compost se pueden agrupar en tres ámbitos: las relacionadas con el rendimiento del producto, con la estética del producto, y con la seguridad de los productos. Las características de rendimiento del producto incluyen numerosos parámetros que se relacionan con la forma en que el compost afecta el crecimiento y la salud de las plantas, la calidad del suelo y la humedad. Las características estéticas son principalmente visuales y olfativas e incluyen el color, el olor y el contenido de contaminantes inertes. La seguridad se refiere principalmente a las sustancias presentes que podrían tener un impacto negativo en la salud humana, animal o ambiental.

Debido a que hay muchas características de lo que significa calidad del compost, los países han desarrollado estándares de calidad del compost que especifican niveles mínimos y/o máximos para los parámetros primarios de calidad, especialmente aquellos relacionados con la seguridad (Rynk et al., 2021).

En términos generales, las principales normas que definen la calidad de compost a nivel internacional se basan en el criterio conformado por los siguientes conceptos (SCyMA y SENASA, 2019):

- 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 al ambiente.
- 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.
- Higienización: proceso que involucra el o los tratamientos tendientes a la disminución del contenido de agentes patógenos por debajo de los límites establecidos, con el objetivo de proteger la salud pública y el ambiente.
- Elementos potencialmente tóxicos (EPT): son elementos tóxicos en bajas concentraciones, comúnmente denominados metales pesados a pesar de que algunos de ellos no son metales. Varios son micronutrientes esenciales para las plantas y los animales y su deficiencia limita la producción agropecuaria.
- Calidad agronómica: se evalúa su valor como enmienda, abonos orgánicos y sustratos de plantas en maceta. Los indicadores de calidad se basan principalmente en la determinación de características físicas y químicas vinculadas a las distintas formas de C y N, como así también a la respuesta de los cultivos (rendimiento y absorción de nutrientes) (Mazzarino y Satti, 2012; Sánchez et al., 2016).

En consecuencia, al referirse al término calidad es necesario considerar los conceptos de estabilidad, madurez, como así también la presencia de patógenos, concentración de elementos potencialmente tóxicos y semillas de malezas. En el Anexo 1, se detallan los parámetros de calidad de compost, de acuerdo con el Marco Normativo para la producción, registro y aplicación de compost en Argentina (SCyMA y SENASA, 2019).

2.2.2 El compost como enmienda orgánica de suelo.

Algunos productores, ante la pérdida de fertilidad de los suelos, utilizan como enmiendas orgánicas los estiércoles crudos antes de realizar el trasplante para evitar la aparición de problemas de fitotoxicidad, pero sin haber sido sometidos a procesos de estabilización previo, tales como compostaje o vermicompostaje. Este tipo de manejo ocurre debido a que estos materiales se consiguen en cantidades suficientes, a precios accesibles y provienen de zonas cercanas a las áreas de producción hortícola (Campitelli, 2010).

Sin embargo, la aplicación de estiércoles de diversos orígenes sin procesar a los suelos sometidos a producción agrícola ha generado la contaminación de las napas de agua por nutrientes y microorganismos, causando graves riesgos a la salud humana (Domínguez et al., 2009). Asimismo, numerosos autores han observado efectos negativos sobre las plantas o las propiedades del suelo cuando se utilizan este tipo de materiales (estiércoles) de manera directa como fertilizantes orgánicos (Cereti et al., 2004).

Es por esta razón es que resulta aconsejable que se realice un tratamiento de acondicionamiento de estos residuos, como podrían ser los procesos de compostaje o vermicompostaje para obtener un producto estable y de más fácil y seguro manejo (Paredes et al., 2005; Campitelli, 2010). El producto de estos tratamientos debe entenderse como fuente de materia orgánica estabilizada, higienizada y, por consiguiente, como enmienda orgánica segura (Huerta et al., 2010).

El uso del compost como enmienda orgánica constituye una alternativa parcial al uso de fertilizantes de síntesis. Las enmiendas orgánicas son sustancias orgánicas que se aplican a los suelos con el principal objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Cabrera, 2009). Se entiende también por enmienda orgánica sólida al producto que aplicado al suelo aporta o promueve la formación de humus, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Debe garantizar el aporte de materia orgánica total, nitrógeno orgánico, ácidos húmicos y fúlvicos y presentar una humedad máxima del 40 % (Campitelli, 2010).

Además, se conoce, que los usuarios del compost, lo aprovechan principalmente para mejorar las condiciones del suelo; es decir, construir materia orgánica en el suelo, mejorar la labranza (estructura) del suelo, estimular la actividad biológica, reducir la compactación y/o mejorar la eficiencia en el uso del agua. En igualdad de condiciones, el compost con mayores cantidades de materia orgánica estable produce mejores resultados. Los compuestos orgánicos estables aumentan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, especialmente los suelos de textura gruesa (arenosos) y los medios de cultivo sin suelo (Rynk et al., 2021). Es por ello, que el compost es más eficaz como enmienda de suelo cuando se realizan aplicaciones intensas de compost para restaurar suelos que están, por ejemplo, compactados o con bajo contenido de materia orgánica (Pittaway, 2014).

Por lo descripto anteriormente, se plantea que el uso de compost como enmienda orgánica en los cultivos de hortalizas es muy adecuado. La mayoría de las hortalizas se cultivan intensivamente y requieren altos niveles de nutrientes y agua. Además, muchas hortalizas se producen en suelos con bajo contenido de materia orgánica nativa. Los compost pueden mejorar la fertilidad general del suelo y el estado del agua disponible para la producción de hortalizas,

especialmente en suelos arenosos (Ozores y Hampton et al., 2011). Los efectos del uso de compost en hortalizas dependen de los sistemas de producción y de las características del compost (Ozores y Hampton et al., 2017).

Dentro de los cultivos hortícolas representativos, se encuentra la lechuga (*Lactuca sativa*). Este vegetal requiere una cantidad considerable de macro y micronutrientes para su crecimiento, es por ello, que el uso de enmienda orgánicas con altos contenidos de materia orgánica resulta conveniente (Campitelli, 2010). En este trabajo de tesis, se evaluó la aptitud agronómica de compost como enmienda orgánica en un cultivo de lechuga.

2.2.3 El compost como componente de sustrato.

Se denomina sustrato a cualquier material sólido y poroso diferente del suelo *in situ* que colocado dentro de un contenedor puede servir de anclaje a las raíces de la planta y permitir una libre circulación de agua y gases; puede ser natural o de síntesis, mineral u orgánico y con o sin actividad química y biológica (Abad et al., 2004; Cruz et al., 2013).

La evolución de los cultivos intensivos ha traído consigo el empleo de nuevos insumos como son los sustratos para plantas. Principalmente, por el aumento del uso de contenedores en reemplazo a la producción en el suelo *in situ* debido a la presencia de factores limitantes (Reed, 1999).

Es por ello, que el sustrato es un insumo ampliamente utilizado para la producción de plantas, siendo la floricultura un sector que lo emplea hace varias décadas. En la producción de plantas ornamentales se pueden agrupar distintos rubros: producción de flores y follaje de corte, de árboles y arbustos ornamentales, de plantas en macetas o una combinación entre los mismos. La producción de plantas en contenedores se destaca por el uso de sustrato, un insumo importante dentro del sistema de cultivo (Burés, 1997; Fernández, 2003).

Uno de los sustratos más utilizados para la producción de plantas en el ámbito mundial es la turba de musgo de *Sphagnum*. Sus características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas, pero su costo elevado y explotación no sostenible, ha comenzado a restringir su uso (Abad et al., 2004; Bustamante et al., 2014).

Dentro de las alternativas en los componentes de sustratos, que se han generado a lo largo de los años se destaca el uso de materiales disponibles localmente, que pueden ser de origen mineral o de origen orgánico. Estos últimos muchas veces resultan ser desechos agropecuarios o agroindustriales, como estiércoles, corteza de pino, residuos de podas urbanas, lodos agroindustriales, entre otros, los que para su utilización necesitan transitar por un proceso de estabilización como puede ser el compostaje (Pisi, 2017).

Además, en medios de contenedores, el compost se combina con otros ingredientes como turba, fibra de coco, corteza, perlita, lana de roca y arena (Pisi, 2017). Un fuerte incentivo para usar compost es reemplazar gran parte o la totalidad de la turba que se usa convencionalmente y el reemplazo de otros componentes naturales. La cantidad de compost que se usa típicamente cae en el rango de 20 a 33% del volumen, aunque varía de 5 a 50% para varias aplicaciones. En caso de un medio de cultivo de invernadero, el compost normalmente comprende del 20 al 30% de la mezcla, junto con otros ingredientes como perlita y/o vermiculita y turba o alternativas como corteza y aserrín compostados o turba. La proporción depende del cultivo, su etapa de crecimiento, las cualidades del compost y las preferencias del productor (Siebert y Gilbert, 2018).

Es por ello, que, para determinar el valor agronómico de un sustrato, es necesario efectuar el siguiente proceso: I) caracterizar el material; II) hacer un estudio de sus propiedades; III) mejorar las propiedades deficientes; y IV) efectuar ensayos de crecimiento de plantas (Martínez y Roca,

2011). Asimismo, en este trabajo, se buscó evaluar, por un lado, el uso de compost como componente de sustrato, y por otro, determinar la calidad agronómica de los mismos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Origen de los compost empleados y sus características de calidad.

3.1.1 Localización y origen de los compost.

La empresa NF Developers S.A (Soila+Bio), posee su establecimiento en el Parque Industrial de Villa Flandria en el Municipio de Luján, provincia de Buenos Aires. La empresa ha desarrollado y presentado el patentamiento de un inóculo microbiano para ser utilizado como acelerador del proceso de compostaje de residuos orgánicos.

Soila+Bio se vinculó con el grupo de Agrotecnología Sostenible de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (EEA) del INTA, con el propósito de evaluar el impacto del inóculo desarrollado en diferentes mezclas de residuos orgánicos en el proceso de compostaje y posterior evaluación de valoración agronómica del compost con la mejor calidad para la utilización en enmienda de suelo y componente de sustrato.

3.1.2 Elaboración de los compost.

La elaboración del compost se realizó en el Municipio de Luján, Buenos Aires. En el proceso de compostaje se utilizaron residuos orgánicos agroindustriales y agropecuarios provistos por los establecimientos locales. La composición volumétrica (vol/vol) de residuos que inicialmente dio origen a las pilas de compostaje fueron las siguientes: 30% de guano de gallinas de ponedoras, 20% de aserrín, 20% de contenido ruminal y 30% de cáscara de papa. La mezcla mencionada anteriormente fue complementada en una proporción 3:1 con chip de poda. La inoculación con bacterias ácido lácticas, de algunas de las pilas de compostaje se realizó a los 57 días iniciado el proceso en la etapa de maduración de este. Del total de tratamientos evaluados en ese primer ensayo, solo se seleccionaron 2 de ellos para su valorización en cultivos intensivos: compost inoculados con bacterias ácido lácticas (CI) y compost sin inocular (C). El proceso de compostaje para las pilas inoculadas y sin inocular duró un total de 120 días.

3.1.3 Parámetros analizados en compost.

En base a las muestras obtenidas de los compost inoculados con bacterias ácido lácticas (CI) y compost sin inocular (C), se analizaron distintos parámetros y se los comparó en relación con los límites establecidos en la Norma Conjunta de Compost (SCyMA y SENASA, 2019) y metodología específica (USDA y USCC, 2001; INTA, 2021). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Transformación de Residuos del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (LTR-IMyZA-CICVyA) del INTA Castelar de la provincia de Buenos Aires.

Dentro de la determinación de parámetros de estabilidad, se analizó: carbono soluble en agua (CSA), relación CSA/N total e índice respirométrico estático (IRE). Por su parte, para la determinación de los parámetros de madurez, se tuvieron en cuenta los parámetros de amonio (N-NH_4^+) mediante el método de extracción con una solución de KCl (2 M L^{-1}), destilación con MgO y titulación, relación amonio: nitrato ($\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$) e índice de crecimiento relativo (ICR), mediante la evaluación de toxicidad en germinación de semillas y la elongación de la radícula, sabiendo que los valores de ICR entre 0 y 0,8 se clasifican como efectos inhibitorios de la elongación de la radícula (I), valores mayores que 0,8 y menores que 1,2 como efecto no

significativo (NS) y valores mayores que 1,2 como estimulación de la elongación de la radícula (E) (Young et al., 2012).

Por otro lado, se determinó la presencia de microorganismos patógenos, con Coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos viables de *Ascaris lumbricoides* mediante métodos selectivos comerciales. En las tablas 1, 2 y 3 se detallan los métodos analíticos utilizados para la determinación de los parámetros de estabilidad, madurez y presencia de microorganismos patógenos mencionados con anterioridad.

Tabla 1. *Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros de estabilidad.*

Parámetro	Detalle	Método	Referencia
Carbono soluble en agua (CSA)	Oxidación química de los componentes del extracto acuoso (1:10) susceptibles a la oxidación, con una mezcla fuertemente oxidante y caliente (solución sulfocrómica a 150°C). La cuantificación es mediante un espectrofotómetro UV visible	TMECC 05.08-F	USDA y USCC, 2001
Relación CSA/N Total	-	TMECC 05.02-A	USDA y USCC, 2001
Índice respirométrico estático (IRE)	Incubar una muestra de compost a temperatura constante y condiciones aeróbicas. Luego se mide el consumo de O ₂ de la población microbiana aclimatada, mediante un electrodo de oxígeno.	Iannotti et al., 1993	USDA y USCC, 2001

Fuente: Adaptado de Rizzo, 2020.

Tabla 2. *Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros de madurez.*

Parámetro	Detalle	Método	Referencia
N-NH ₄ ⁺	Generación de un extracto de la muestra húmeda con una solución de KCl (2 M L ⁻¹) y posterior determinación.	Método de extracción con una solución de KCl, destilación con MgO y titulación (Método de destilación de Bremner). TMECC 04.02-C	USDA y USCC (2001)
Relación amonio: nitrato (N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃ ⁻)	-	TMECC 05.02-C	USDA y USCC (2001)
ICR	Plantas terrestres, prueba de crecimiento, directriz de la OCDE para pruebas de sustancias químicas 208	Dilución 1:10, 3-7 días según la especie	USDA y USCC (2001)

Fuente: Adaptado de Rizzo, 2020.

Tabla 3. Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros de microorganismos patógenos.

Parámetro	Detalle	Método	Referencia
Coliformes totales	Preparación de un extracto de muestras húmedas mezclando una porción con agua desionizada (1:10 p/v). Preparación de diluciones e incubación en medios selectivos para su posterior cuantificación.	Medios selectivos comerciales (Rida Count). TMECC 07.01-B	USDA y USCC (2001)
<i>E. coli</i>	Preparación de un extracto de muestras húmedas mezclando una porción con agua desionizada (1:10 p/v). Preparación de diluciones e incubación en medios selectivos para su posterior cuantificación.	Medios selectivos comerciales (Rida Count). TMECC 07.02-A1-2	USDA y USCC (2001)
<i>Salmonella</i> spp.	Preparación de un extracto de muestras húmedas mezclando una porción con agua desionizada (1:10 p/v). Preparación de diluciones e incubación en medios selectivos para su posterior cuantificación.	Medios selectivos comerciales (R-Biopharm AG). TMECC 07.04-A	USDA y USCC (2001)

Fuente: Adaptado de Rizzo, 2020.

Con relación a los elementos potencialmente tóxicos (EPT), se determinó el contenido total (mg kg⁻¹ MS) de Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cinc (Zn) y Arsénico (As). Todas las determinaciones se realizaron en muestra seca en estufa a 70 °C.

Además, se realizó la determinación de parámetros físicos y químicos, los cuales establecen la calidad agronómica de los compost, dentro de ellos se encuentra: conductividad eléctrica (CE) por el método electrométrico (relación muestra-H₂O 1:10), pH por el método potenciométrico (relación muestra-H₂O 1:10), materia orgánica (MO) y carbono orgánico total (COT) mediante el método gravimétrico por pérdida de masa mediante calcinación, relación carbono: nitrógeno (C/N), nitrógeno total, nitrógeno Kjeldhal total (NKT) por el método de digestión Kjeldahl, destilación de amoníaco y titulación, nitratos (N-NO₃⁻) con el método de extracción con una solución de KCl, destilación con Aleación Devarda y titulación, nitrógeno orgánico (N-orgánico), fósforo total (P-Total) y potasio. Asimismo, dentro de los parámetros físicos, se determinó el porcentaje de humedad por el método gravimétrico por pérdida de masa mediante secado a 70 ± 5 °C (USDA y USCC, 2001; INTA, 2021). Por su parte, en las tablas 4 y 5 se detallan los métodos analíticos empleados para tales determinaciones.

A su vez, en la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (EEA) del INTA, se determinó la densidad aparente de los compost a partir de la fórmula de densidad aparente (Dap) mediante el método Hofmann, la misma se calculó siguiendo la metodología descrita por Fermino (2003).

Tabla 4. *Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros químicos.*

Parámetro	Detalle	Método	Referencia
pH	Relación muestra húmeda: H ₂ O = 1:10.	Método potenciométrico (TMECC 04.11 ELECTROMETRIC pH DETERMINATIONS).	USDA y USCC (2001)
Conductividad Eléctrica (CE)	Relación muestra húmeda: H ₂ O = 1:10.	Método electrométrico (TMECC 04.10 ELECTRICAL CONDUCTIVITY).	USDA y USCC (2001)
Materia orgánica (MO)	Calcinación de la muestra seca hasta peso constante a 550± 50 °C	Método gravimétrico por pérdida de masa mediante Calcinación (TMECC 05.07ORGANICMATTER)	USDA y USCC (2001)
Carbono orgánico total (COT)	Calcinación de la muestra seca hasta peso constante a 550 ± 50 °C (calculado a partir del contenido de MO).	Método gravimétrico por pérdida de masa mediante calcinación (TMECC 05.07 ORGANIC MATTER).	USDA y USCC (2001)
Relación carbono: nitrógeno (C:N)	Relación calculada a partir del contenido de C y N.	Relación Carbono: Nitrógeno (TMECC 05.02 INDICATOR RATIOS).	USDA y USCC (2001)
Nitrógeno Kjeldahl total (NKT)	Digestión de la muestra húmeda y posterior determinación.	Método de digestión Kjeldahl, destilación de amoníaco y titulación.	USDA y USCC (2001)
Nitratos NO ₃ ⁻	Generación de un extracto de la muestra húmeda con una solución de KCl (2 M L) y posterior determinación.	Método de extracción con una solución de KCl, destilación con Aleación Devarda y titulación (Método de destilación de Bremner). Electrodo ión selectivo.	Bremner (1965)
Macronutrientes (Ca, Mg, K y Na) y elementos potencialmente tóxicos (EPT).	Digestión ácida mediante digestor de microondas de muestra seca y molida.	Espectrofotometría de absorción atómica (TMECC 04.06 HEAVY METALS AND HAZARDOUS ELEMENTS).	USDA y USCC (2001)

Nota: Se utilizaron los mismos métodos analíticos para la determinación de ciertos parámetros químicos en componentes de sustratos (3.2.2). Fuente: Adaptado de Rizzo, 2020.

Tabla 5. *Métodos analíticos empleados para la determinación de parámetros físicos.*

Parámetro	Detalle	Método	Referencia
Materia seca (MS) y Humedad (% bs)	Secado de la muestra húmeda hasta peso constante a 70 ± 5 °C.	Método gravimétrico por pérdida de masa mediante secado (TMECC 03.09 TOTAL SOLIDS AND MOISTURE).	USDA y USCC (2001)
Tamaño de partículas	-	TMECC 03.08-A	
Porosidad	-	TMECC 03.08-A. Método de De Boodt	
Dap	Medición de muestra húmeda en vaso de precipitados de 2 L.	Densidad (p/v) (TMECC 03.03 BULK DENSITY). Método Hofmann.	USDA y USCC (2001)

Nota: Se utilizaron los mismos métodos analíticos para la determinación de ciertos parámetros físicos en componentes de sustratos (3.2.2). Fuente: Adaptado de Rizzo, 2020.

3.2 Características físico- químicas analizadas en los componentes de sustratos y mezclas.

3.2.1 Aprovechamiento de los componentes de sustratos.

La empresa NF Developers S.A (Soila+Bio) fue la responsable de facilitar los insumos a utilizar como componentes de sustratos. Además de los compost con y sin inóculos, suministró para la realización de los ensayos, pinocha, turba rubia, corteza de pino, perlita y un sustrato comercial marca Growmix®. Cada uno de los componentes fue analizado físico-químicamente para determinar la mezcla óptima. En la Figura 3 se muestran los sustratos previos al análisis exploratorio.

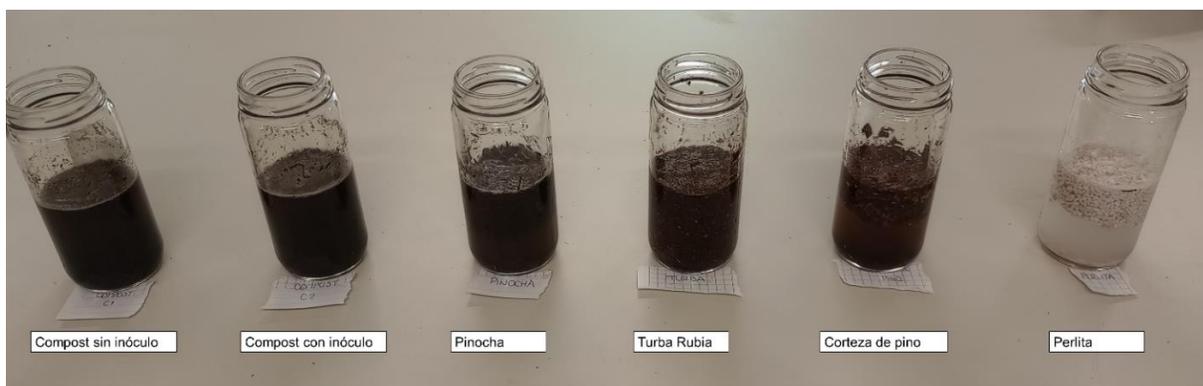


Figura 3. *Recipientes conteniendo los diferentes componentes utilizados para la realización del análisis exploratorio como sustrato: compost sin inóculo, compost con inóculo, pinocha, turba rubia, corteza de pino, perlita, respectivamente.*

3.2.2 Análisis exploratorio y parámetros analizados en los componentes de sustratos.

Para determinar los componentes de sustratos y las mezclas correctas de componentes de sustratos a utilizar en el ensayo con *Petunia sp*, se realizó un análisis exploratorio en la EEA Mendoza del INTA, y las muestras de las mezclas a partir de las mismas, fueron analizadas en el Laboratorio del Instituto de Floricultura del INTA Castelar, provincia de Buenos Aires.

Durante el análisis exploratorio, se determinaron los parámetros de conductividad eléctrica (CE) por el método electrométrico (relación muestra-H₂O 1:5) y pH por el método potenciométrico (relación muestra-H₂O 1:5) en relación 1:5 (vol: vol) siguiendo la metodología descrita por Barbaro et al. (2011). Este análisis fue útil para realizar las determinaciones y las proporciones de los componentes de sustratos a utilizar en las mezclas. La elección de las proporciones de mezclas de sustratos se eligió en base a la obtención de un pH cercano a la neutralidad y una CE cercana a la unidad (1 dS m⁻¹).

Una vez determinadas las mezclas, se enviaron muestras para caracterizar al Instituto de Floricultura, donde se analizaron los siguientes parámetros: densidad aparente (Dap) con el método Hofmann (Fermino, 2003), espacio poroso total (EPT), capacidad de retención de agua y poros de aire con el método de De Boodt mediante lechos de arena (De Boodt et al., 1974). Además, se midió granulometría mediante una tamizadora con tamices de 5,56, 4,75, 3,35, 2,0, 1,4, 1,0 y 0,5 mm (Ansorena Miner, 1994), pH y conductividad eléctrica (CE). Se analizaron las concentración (mg L⁻¹) de P, Ca, Mg, K y Na en el filtrado de la solución 1+5 vol/vol (Barbaro et al., 2011), con un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian modelo 220 A) y nitratos (NO₃⁻) con electrodo ión selectivo (Orion modelo 920 A). A su vez, se midieron porcentaje de humedad y materia orgánica (MO). Los parámetros analizados se encuentran detallados en las tablas 4 y 5 (apartado 3.1.3), donde se observa los distintos métodos analíticos empleados para tales determinaciones.

3.3 Evaluación del uso del compost como enmienda de suelo en un cultivo de Lechuga.

3.3.1 Diseño experimental

Los ensayos se realizaron en un invernáculo de polietileno, tipo parabólico, perteneciente a la EEA Mendoza del INTA, ubicado en Lujan de Cuyo, Mendoza (33°0'10.88"S - 68°52'1.02"O, altura 921 m.s.n.m.).

Se realizó el trasplante de plantines de *L. sativa* var. Black Rose, bajo invernáculo en dos canteros de 4,8 m de largo y 0,9 m de ancho cada uno, formando con ello dos bloques o parcelas. Cada cantero estuvo cubierto por suelo de la zona con orujo incluidos y se los dividió en 8 subparcelas de 0,9 m de largo y 0,6 m de ancho. Cada subparcela representa una unidad experimental donde se implantaron 8 individuos de *L. sativa* a cada una de ellas. En la Figura 4 se muestra el diseño de las parcelas y subparcelas experimentales. Cada subparcela fue designada aleatoriamente.



Figura 4. *Diseño experimental del ensayo con lechuga. a) Parcelas donde se aplicaron los distintos tratamientos y, b) Subparcela implantada con 8 individuos de lechuga por cada tratamiento.*

El diseño experimental fue de bloques completos al azar (BCA) con dos repeticiones por bloque (4 repeticiones en total). Además, cada bloque presentó cuatros tratamientos distintos. Los tratamientos se detallan a continuación:

Tratamiento S: Suelo control (sin fertilización).

Tratamiento C: Suelo con agregado de compost sin inocular.

Tratamiento CI: Suelo con agregado de compost inoculado.

Tratamiento SF: Suelo con agregado de fertilizantes.

En el caso de los tratamientos con compost C (suelo con agregado de compost sin inocular) y CI (suelo con agregado de compost inoculado), se aplicó a cada subparcela una dosis de compost equivalente a 20 t ha^{-1} , en dirección a la línea del riego. Para la aplicación de la dosis de compost, se tuvo en cuenta la densidad aparente (Dap) del compost descripta anteriormente (apartado 3.1.3).

Por su parte, los tratamientos con agregado de fertilizantes (SF), fueron asistidos con distintas dosis de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, a lo largo de todo el ensayo. Los mismos fueron diluidos en 1L de agua, es por ello, que para suplir el efecto hídrico de los demás tratamientos (S, C y CI) fue necesario agregar la misma cantidad de agua adicional. En la tabla 6, se detallan las dosis y cantidad de fertilización aplicada a lo largo de todo el ensayo en el tratamiento SF. Las aplicaciones orgánicas (Flavon y best fly), realizadas el día del inicio de trasplante (23/03/2023) y al cuarto día siguiente, se hicieron con el fin de evitar daños con Oniscidea (cochinillas de la humedad o bichos bolita) y afecciones fúngicas, el resto de las aplicaciones correspondían a un agregado de nutrientes para el crecimiento del vegetal (Tabla 6). La aplicación de fertilizantes finalizó una semana previo a la cosecha de las plantas de lechuga.

Tabla 6. Aplicaciones de insecticidas, fungicidas, fertilizantes inorgánicos y orgánicos en ensayos de *L. sativa*.

Días desde el inicio del trasplante	Subparcelas donde se realizó la aplicación	Aplicación	Dosis
0	S-SF-C-CI	Flavon- Orange (best fly)- Sistemic	1,5 mL L ⁻¹
4	S-SF-C-CI	Flavon- Orange (best fly)- Sistemic	1,5 mL L ⁻¹
4	SF	H-85-Iniciador(10-52-10)-Rootex	2,0 g m ⁻²
11	SF	H-85-Iniciador(10-52-10)-Rootex	2,4 g m ⁻²
13	SF	Iniciador (10-52-10)	2,4 g m ⁻²
18	SF	Desarrollo (20-20-20)	2,4 g m ⁻²
25	SF	Desarrollo (20-20-20)	2,4 g m ⁻²
32	SF	Desarrollo (20-20-20)	2,4 g m ⁻²
40	SF	Desarrollo(20-20-20)-H-85- Rootex	2,4 g m ⁻²
46	SF	Desarrollo(20-20-20)	2,4 g m ⁻²

Nota: H-85: Humicrops. Los distintos tratamientos corresponden a suelo (S), suelo con agregado de fertilizantes (SF), suelo con agregado de compost sin inocular (C) y suelo con agregado de compost inoculado (CI).

Además, se aplicaron riegos mediante manguera por goteo colocada en la parte superior a lo largo de los 54 días del ensayo; la frecuencia de riego fue de 2 veces al día en un período de 5-7 min. por riego. Se colocaron por cada cantero 3 mangueras de goteo de forma longitudinal para permitir una humedad uniforme.

3.3.2. Variables analíticas en biomasa de Lechuga.

El ensayo finalizó el día 15/05/2023, donde se extrajeron aleatoriamente 4 plantas por subparcela de forma sistemática para evitar el efecto bordura. Se realizaron las mediciones de peso húmedo (PH) o peso fresco de la parte aérea (PAr) de las plantas extraídas mediante una balanza digital de precisión. Además, se determinó el peso seco (PS) de la parte aérea, con la técnica de secado de la muestra húmeda hasta peso constante a 70 ± 5 °C mediante el método gravimétrico por pérdida de masa mediante secado. La variable PS determina el efecto del agregado de productos sobre las plantas.

Asimismo, se midió el índice de contenido de clorofila (ICC), por absorbancia en la tercera hoja con un medidor de clorofila modelo Clorofilio marca Cavadevices, siguiendo la metodología descrita por Lima Vasconcelos et al. (2014). Las mediciones fueron de lectura directa, a los 8 y 43 días desde el inicio del trasplante

Se determinó clorofila a, clorofila b, carotenoides, clorofila y pigmentos totales en lechuga, mediante extracción con dimetilsulfóxido (DMSO) y lectura por espectrofotometría, siguiendo la metodología descrita por Funes Pinter et al. (2023). La espectrofotometría permite determinar la concentración de un compuesto en solución, debido a que las moléculas absorben radiaciones electromagnéticas (Díaz et al., 2010).

Para ello se extrajeron 16 muestras, al finalizar los ensayos, cada una de las muestras correspondía a cada subparcela, en ellas se extrajeron cuatro discos de lechuga de superficie conocida (0,20 cm²), siendo colocados dentro de un Eppendorff. A cada muestra se le agrego 1 mL de DMSO y se lo llevó a baño maría a una temperatura de 70 °C por 40 min. Posteriormente las muestras fueron introducidas a una centrifuga por 5 min a 1400 rpm. Finalmente, se extrajeron

300 µL de cada muestra y se lo introduzco en una plaqueta, la misma fue introducida a un electrofotómetro (espectrofotómetro Cary 50 UV-vis, Varian Inc., Palo Alto, California, EE. UU.) para su lectura. La concentración de los pigmentos se expresó en microgramo por miligramo de peso seco ($\mu\text{g mg}^{-1}$), usando las ecuaciones 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5.

$$\text{Clorofila } a = 12,19 * A665 - 3,45 * A649 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

$$\text{Clorofila } b = 21,99 * A649 - 5,32 * A665 \quad \text{Ecuación 1.2}$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{1000 * A480 - 2,14 * \text{ChlA} - 70,16 * \text{ChlB}}{220} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

$$\text{Clorofila Total} = \text{ChlA} + \text{ChlB} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

$$\text{Pigmentos Totales} = \text{ChlA} + \text{ChlB} + \text{Carotenoides} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

3.3.3. Variables analíticas medidas en suelo

Se tomaron muestras compuestas de suelo control al inicio del ensayo y muestras compuestas de suelo de cada uno de los tratamientos al finalizar para determinar el efecto de las aplicaciones de las enmiendas, de acuerdo con metodología estandarizada (SAMPLA, 2004). Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelo, Agua y Material Vegetal (LSAV) de la EEA Mendoza del INTA para analizar salinidad completa, fertilidad completa, macro y micronutrientes. En la Figura 5 se puede observar las muestras extraídas al finalizar el ensayo de enmienda de suelo con lechuga.



Figura 5. Muestras de suelo extraídas de las subparcelas donde se realizó el ensayo de enmienda orgánica con plantas de lechuga.

3.4 Evaluación del uso de compost como componente de sustrato en un cultivo de Petunia.

3.4.1 Diseño experimental.

Los ensayos con plantines florales se realizaron en el mismo invernáculo donde se llevaron a cabo los ensayos con *L. sativa* mencionado anteriormente, en la EEA Mendoza del INTA, ubicado en Lujan de Cuyo.

Para evaluar el efecto del compost inoculado como componente de sustrato en plantines florales se realizó la preparación de distintos sustratos y mezcla de sustratos que fueron aplicados en macetas implantadas con *Petunia sp.* Todas las macetas fueron colocadas bajo invernáculo de forma aleatoria sobre una mesada ubicada a 1 m sobre el nivel del suelo. En la Figura 6 se puede observar la ubicación de las macetas del ensayo sobre la mesada.



Figura 6. Ensayos realizados con *Petunia sp.* a) Totalidad de los tratamientos colocados sobre una mesada con efecto bordura, b) macetas implantadas correspondientes a un tratamiento específico.

El ensayo constó de un diseño completamente aleatorio (DCA) con siete tratamientos, cada maceta corresponde a una unidad experimental y se realizaron cuatro repeticiones en cada una de ellas (aplicados a cuatro macetas implantadas). Cada tratamiento constó de distintos componentes y proporciones de los compost evaluados. Las mezclas de componentes de sustratos en el ensayo florícola, se seleccionaron de acuerdo con un análisis exploratorio (apartado 3.2.2). A continuación, se detallan componentes y proporciones de los componentes en los distintos sustratos:

Sustrato C: Compost sin inóculo.

Sustrato CI: Compost con inóculo

Sustrato SC: Sustrato comercial (marca Growmix®)

Sustrato C_{1:1:1}: Compost sin inóculo+ Turba+ Perlita en una proporción 1:1:1

Sustrato CI_{1:1:1}: Compost con inóculo+ Turba+ Perlita en una proporción 1:1:1

Sustrato C_{3:1:1}: Compost sin inóculo+ Turba+ Perlita en una proporción 3:1:1

Sustrato CI_{3:1:1}: Compost con inóculo+ Turba+ Perlita en una proporción 3:1:1

A cada maceta se le aplicó riego por goteo mediante gotero de estaca con una frecuencia de 5-7 min., dos veces al día. Los goteros de estaca se colocaron a cada una de las macetas para que el riego se esparciera de forma uniforme por el contenedor.

Además, se realizaron aplicaciones de insecticidas, fungicidas y fertilizantes orgánicos. Los días 23/03/2023 y 27/03/2023, correspondientes al día 0 y 4 desde el trasplante, las aplicaciones fueron realizadas para evitar daños con Oniscidea, (cochinillas de la humedad o bichos bolita) y afecciones fúngicas. Posteriormente, a los 18 días desde el trasplante, se aplicó una fertilización de liberación lenta, debido al lavado de nutrientes producto del riego. En la tabla 7 se detallan las aplicaciones realizadas a las macetas implantadas.

Tabla 7. Aplicaciones realizadas a lo largo del ensayo con *Petunia*.

Días desde el trasplante	Aplicación	Dosis
0	Flavon- Orange (best fly)- Sistemic	1,5 mL L ⁻¹
4	Flavon- Orange (best fly)- Sistemic	1,5 mL L ⁻¹
18	Basacote P-Max 3M	1,5 mg

3.4.2 Variables analíticas medidas en biomasa de *Petunia* sp.

El ensayo se dio por terminado cuando el 50% de las plantas habían florecido, es decir a los 46 días del trasplante. En ella, se realizó el conteo de pimpollos florales y flores abiertas de cada una de las macetas. Además, se determinó el índice de contenido de clorofila (ICC) por absorbancia en la tercera hoja con un medidor de clorofila modelo Clorofilio (Cavadevices) al finalizar el ensayo.

Para evaluar el efecto de los componentes de sustratos sobre las plantas de *Petunia* sp, fue necesario segmentar ocho plantas frescas en 2 secciones: parte aérea (P Ar) y parte radical (PR) (Pisi, 2017); en ellas se tomaron las mediciones de peso húmedo o peso fresco (PF) de la parte aérea y radicular (PR) de las plantas extraídas mediante una balanza digital de precisión. Para determinar el efecto del agregado de productos sobre las plantas, se determinó peso seco (PS) de la parte aérea y radicular, la técnica consiste en el secado de la muestra húmeda hasta peso constante a 70 ± 5 °C mediante el método gravimétrico por pérdida de masa mediante secado.

3.5 Análisis estadístico

En el caso de los resultados obtenidos en la caracterización de los compost y los distintos sustratos, se usó estadística descriptiva, con media y desviación estándar, para analizar los distintos parámetros. Las respuestas obtenidas del análisis de compost fueron comparadas con la Norma Conjunta de Compost. Para el ensayo del compost como enmienda de suelo en lechuga, se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBA). Los ensayos con sustratos en plantines de petunia fueron evaluados considerando un diseño completamente aleatorio (DCA). Los parámetros de biomasa para *L. sativa* y *Petunia* sp. fueron analizados mediante ANOVA después de probar los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilks) y la homocedasticidad (prueba F). Cuando no se cumplió con los supuestos, se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. El análisis de suelo para el ensayo de compost como enmienda, se realizó a través de una descripción de los parámetros obtenidos. El software estadístico utilizado fue el programa InfoStat versión 2020.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización y comparación de los parámetros analizados en los compost.

Los resultados de los parámetros obtenidos fueron comparados con el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost de la Resolución Conjunta 1/2019 (SCyMA, SENASA, 2019).

Para que los compost puedan certificar el proceso a partir de la Resolución Conjunta, se exige que se cumpla al menos unos de los parámetros de sanidad. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos del análisis de patógenos para compost inoculados y sin inocular. Los resultados para coliformes fecales estuvieron debajo de los límites establecidos, siendo ligeramente mayor para compost sin inóculo. Para *Salmonella* sp. y *A. lumbricoides*, el NMP, el cual estima el número de microorganismos presente en la muestra, arrojó valores por debajo del límite establecido. Algo similar ocurrió en estudios realizados por Rizzo (2020), donde las muestras de compost y digeridos anaeróbicos presentaron mejores condiciones higiénicas, ya que los contenidos de microorganismos patógenos, fueron menores a los obtenidos en muestras de guano de aves de corral. Varios autores destacaron que el uso de los residuos crudos, presentan una menor estabilidad microbiana e higienización frente a los compostados (Holm-Nielsen et al., 2009; Rizzo, 2020).

Tabla 8. Valores de microorganismos patógenos de los compost con y sin inocular.

Parámetro	Unidades	Tratamientos		Valor límite establecido en Norma Conjunta 01/2019
		C	CI	
Coliformes fecales	NMP/g MS	131 ± 6	105 ± 33	<1000 NMP/g MS 70°C
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/4g MS	<1	<1	<1NMP/4g MS 70°C
<i>A. lumbricoides</i>	<1 HUEVO/4g	<1	<1	<1 HUEVO/4g MS 70°C

Nota. C: Compost sin inóculo. CI: Compost inoculados. NMP: Número Más Probable. MS: Materia Seca. Fuente: LTR-IMyZA-CICVyA. SCyMA y SENASA, 2019.

Dentro de los parámetros de estabilidad (Tabla 9); el CSA en compost con y sin inóculo presentó valores ligeramente superiores al valor límite establecido. El CSA indica la cantidad de carbono fácilmente degradable (lábil) remanente, siendo mayor para CI. De igual manera, la relación CSA/N total y el índice IRE basado en el contenido de materia orgánica, fueron superiores en ambos tratamientos. El IRE proporciona información del grado de actividad biológica del compost. Se considera que un compost es muy estable biológicamente, cuando el IRE < 0,5 mg O₂ g MO. h⁻¹. Sin embargo, valores aceptables de estabilidad biológica son aquellos con IRE < 1 (Barena Gómez et al., 2006; Rizzo, 2020). Es por ello, que se considera que el compost inoculado (CI) presenta mayor estabilidad que el compost sin inocular (C). Ensayos realizados con compost producidos a partir de un 40% y un 60% de guano de ponedoras, se obtuvieron valores de IRE de 0,25 y 0,45 mg O₂ g MO. h⁻¹, respectivamente para cada tratamiento, alcanzando la estabilidad biológica (Rizzo, 2020).

El CI presenta una mayor cantidad de N-NH₄⁺ (134,09 ± 34,77 mg kg⁻¹) y la relación N-NH₄⁺/ N-NO₃⁻ en comparación a C, lo cual estaría indicando que el agregado del inóculo microbiano en el proceso de compostaje aumenta el grado de mineralización, y con ello la cantidad de nitrógeno disponible. El contenido de nitrógeno de amonio (N-NH₄⁺) y nitrato (N-NO₃⁻) indican la cantidad de nitrógeno disponible de los residuos orgánicos y compost. La importancia de esta determinación radica en determinar el grado de madurez y estabilidad del abono mediante indicadores. En el proceso de compostaje el amonio y nitrato son el resultado de la mineralización

biológica (Martínez et al., 2021). Valores de N-NH_4^+ ($2,67 \pm 1,1$ ppm), y N-NO_3^- ($74,67 \pm 10,5$ ppm) se encontraron en la aplicación de bocashi como bioinsumos en cultivos de frutilla (Serri et al., 2019).

Para CI y C, los valores de ICR, fueron de 0,99 y 1,0; respectivamente, es decir que no se encontraron efectos inhibitorios (Tabla 9). Los valores de ICR entre 0,8 y 1,2 se los clasifica como efecto no significativo (NS) (Young et al., 2012). El ICR se ha utilizado para evaluar la toxicidad de las muestras de compost con distinto grado de maduración (Tiquia, 2010). Para Young et al. (2012), la elevada fitotoxicidad, por ejemplo, en lechugas, está asociada con valores altos de CE; en este estudio los valores por debajo del límite de CE están correlacionados con los efectos no inhibitorios del ICR.

Tabla 9. *Parámetros de estabilidad y madurez de los compost con y sin inocular.*

Parámetro	Unidades	Tratamientos		Valor límite establecido en Norma Conjunta 01/2019
		C	CI	
CSA	g Kg^{-1} MS	13 ± 2	14 ± 1	< 10
Rel. CSA/N total		$0,9 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,0$	$\leq 0,7$
IRE (MO)	$\text{mgO}_2 \cdot \text{gMO} \cdot \text{h}^{-1}$	$1,5 \pm 0,0$	$0,8 \pm 0,1$	$\leq 0,5$
N-NH_4^+	$\text{mgN-NH}_4^+/\text{Kg MS } 70^\circ\text{C}$	$61,68 \pm 7,80$	$134,09 \pm 34,77$	≤ 400
Rel. $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$		$0,4 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,0$	$< 0,3$
ICR		$1,00 \pm 0,00$	$0,99 \pm 0,00$	s.d

Nota. CSA: Carbono Soluble en Agua. IRE: Índice Respirométrico Estático. MO: Materia Orgánica. ICR: Índice de Crecimiento Relativo. s.d: Sin datos de referencia. Fuente: LTR-IMyZA-CICVyA. SCyMA y SENASA, 2019.

Los resultados del pH dieron alcalinos, siendo $8,8 \pm 0,2$ para C y $8,9 \pm 0,3$ para CI, ambos semejantes y ligeramente superiores a los límites establecidos por la Norma Conjunta de Compost 01/2019 (Tabla 10). Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio (Román et al., 2013). Valores semejantes de relación C:N, de este estudio ($14,80$ para C y $15,87$ para CI) se obtuvieron en investigaciones de compost con estiércoles aves de corral (Aylaj y Adani, 2023; Rizzo, 2020).

En cuanto a la CE, fue menor que los valores límites establecidos por la Norma Conjunta. Por otra parte, la MO es el componente predominante del compost y los residuos agropecuarios y agroindustriales. A partir de este valor se puede estimar el contenido del carbono orgánico (Martínez et al., 2021). Los valores de MO para CI fueron superiores al valor límite establecido ($39,6 \pm 1,6$), señalando que los residuos agropecuarios y agroindustriales han sido compostados de manera eficiente. Valores similares de MO se observaron en estudios de evaluaciones fitotóxicas de compost producto de desechos municipales y estiércoles de aves de corral (Aylaj y Adani, 2023).

Para CI los valores de N total ($14,48 \pm 0,52$) fueron superiores que en C ($14,42 \pm 0,22$). El contenido de Fósforo Total ($9,1 \pm 0,7$) y Potasio ($12,61 \pm 1,47$), fue ligeramente mayor en CI, demostrando el efecto del inóculo sobre las pilas de compostaje, ambos elementos son necesarios como macronutrientes en el desarrollo vegetal (Tabla 10). Valores similares fueron

encontrados por Bianco et al. (2019), quienes evaluaron diferentes enmiendas orgánicas de suelo, obteniendo valores de N total (g Kg^{-1}) de 10,08; 6,64 y 13,36 para bocashi de estiércol de gallina, bocashi de cama de pollo y compost comercial, respectivamente.

Tabla 10. *Parámetros físicos- químicos de los compost con y sin inocular.*

Parámetro	Unidades	Tratamientos		Valores límites establecidos en Norma Conjunta 01/2019
		C	CI	
pH		8,8 ± 0,2	8,9 ± 0,3	5,0-8,5
Humedad	%	39,17 ± 2,54	34,64 ± 3,79	< 60
CE	dS m ⁻¹	2,68 ± 0,49	3,23 ± 0,26	<4 / <6
Relación C/N		14,80 ± 0,94	15,87 ± 0,08	≤20 / <30
Ntotal	g Kg ⁻¹ MS (70°C)	14,42 ± 0,22	14,48 ± 0,52	s.d
Ntotal	%	1,44 ± 0,02	1,45 ± 0,05	s.d
NTK	g Kg ⁻¹ MS (70°C)	14,30 ± 0,20	14,22 ± 0,55	s.d
N-Nitratos	g Kg ⁻¹ MS (70°C)	0,15 ± 0,02	0,26 ± 0,09	s.d
N-orgánico	g Kg ⁻¹ MS (70°C)	14,2 ± 0,2	14,1 ± 0,6	s.d
Materia orgánica	%	36,8 ± 1,8	39,6 ± 1,6	≥20%
COT	%	21,3 ± 1,0	23,0 ± 0,9	s.d
Fósforo total	g Kg ⁻¹ MS (70°C)	8,6 ± 0,4	9,1 ± 0,7	s.d
Potasio	g Kg ⁻¹ MS (70°C)	9,84 ± 2,64	12,61 ± 1,47	s.d
Dap	g L ⁻¹	0,46	0,44	s.d

Nota. CE: Conductividad Eléctrica. NTK: Nitrógeno Total de Kjeldahl. COT: Carbono Orgánico Total. Dap: Densidad Aparente. S.d: Sin datos de referencia. Fuente: LTR-IMyZA-CICVyA. SCyMA y SENASA, 2019.

Otro aspecto importante, es el contenido de EPT, donde no se encontraron valores por encima de los límites establecido por la Norma Conjunta, por lo tanto, no limita el uso agrícola del compost (Tabla 11). Resultados similares fueron encontrados por Rizzo (2020), quien presentó valores por debajo de los límites establecidos por la norma vigente, en pruebas realizadas a partir de compost de aves de corral y digeridos anaeróbicos.

Tabla 11. Valores de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) arrojados de los compost con y sin inocular.

Parámetro	Unidades	Tratamientos		Valores límites establecidos en Norma Conjunta 01/2019
		C	CI	
Cadmio	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	1,15 ± 0,13	0,80 ± 0,10	≤ 1,5 / ≤ 3
Cobre	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	39,1 ± 7,7	57,7 ± 12,5	≤ 150 / ≤ 450
Cromo total	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	14,5 ± 3,8	12,7 ± 0,9	≤ 100 / ≤ 270
Mercurio	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	<0,03	<0,03	≤ 0,7 / ≤ 5
Níquel	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	6,5 ± 3,0	5,5 ± 1,3	≤ 30 / ≤ 120
Plomo	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	17,8 ± 2,1	18,7 ± 5,0	≤ 100 / ≤ 150
Cinc	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	247,84 ± 25,78	226,27 ± 29,89	≤ 300 / ≤ 1100
Arsénico	mg Kg ⁻¹ MS (70°C)	3,7 ± 0,1	3,0 ± 0,4	≤ 15 / ≤ 30

Fuente: LTR-IMyZA-CICVyA. SCyMA y SENASA, 2019.

A partir de la caracterización y comparación de los parámetros obtenidos de los compost con y sin inóculo, se puede clasificar el mismo según su clase A o B dependiendo de los límites establecidos en el Marco Normativo para la producción, registro y aplicación de compost (01/2019). De acuerdo con ciertos parámetros de estabilidad, como CSA, Rel. CSA/N total e IRE (MO), parámetros de madurez como Rel. N-NH₄⁺/ N-NO₃; y parámetros de humedad y pH, se puede clasificar a los compost (inoculado y sin inoculación) dentro de la Clase B, debido a que sobrepasan ligeramente los límites establecidos; esta clase presenta restricciones en su uso y aplicación. En cambio, los valores arrojados en el análisis de microorganismos patógenos y EPT, así como también N-NH₄⁺, CE y materia orgánica, el compost con y sin inóculo corresponden a Clase A, donde su uso no presenta restricciones. Cabe destacar que los valores de ICR demuestran que los compost evaluados no presentaron efectos fitotóxicos.

Sin embargo, pese a que los compost inoculados y sin inocular presentan parámetros que sobrepasan ligeramente ciertos valores de estabilidad y madurez; se pueden incluir a ambos compost dentro de la clase A, teniendo en cuenta algunas consideraciones. Entre los parámetros, se encuentra el pH y la humedad, estos deben ser reducidos en el proceso de compostaje, no evaluados en este trabajo de tesis. A su vez, ampliando la etapa de maduración en el proceso de compostaje, podrían reducirse el valor de ciertos parámetros, incrementando la calidad de los compost. Debido a ello, tanto el compost inoculado como el sin inocular, no presentarían restricciones en su uso y aplicación.

4.2 Caracterización, comparación y elección de los componentes de sustratos a partir del análisis de los parámetros físico-químicos.

4.2.1 Prueba preliminar: Determinación de pH y CE para la generación de las mezclas óptimas de componentes de sustratos.

En la tabla 12 se detallan las distintas pruebas de mezclas realizadas a partir de un análisis exploratorio. En el caso de los componentes de sustratos seleccionados para componer las mezclas a utilizar en los ensayos de *Petunia* sp., se tomó en cuenta la proporción 1:1:1 de compost, perlita y turba rubia; y la proporción 3:1:1 entre compost, turba rubia y perlita (número de prueba 9 y 11, respectivamente). Se seleccionaron dichas mezclas debido a que las mismas

presentaron un pH cercano a la neutralidad y una CE cercana a la unidad, por variación del contenido de sales.

Tabla 12. Análisis exploratorio realizado con distintos componentes de sustratos.

Número de prueba	Proporción (%)						1:5 Exploratorio	
	Perlita	Corteza de Pino	Turba Rubia	Pinocha	C	Cl	pH	CE (dS m ⁻¹)
1	-	-	-	-	1	-	8,55	2,45
2	-	-	-	-	-	1	8,65	2,43
3	-	-	-	1	-	-	5,56	0,23
4	-	-	1	-	-	-	3,6	0,14
5	-	1	-	-	-	-	3,9	0,1
6	1	-	-	-	-	-	6,03	0,02
7	-	-	2	1	1	-	5,28	1,185
8	1	-	2	-	1	-	5,34	0,524
9	1	-	1	-	1	-	5,83	0,39
10	1	-	1	-	2	-	5,92	0,497
11	1	-	1	-	-	3	6,85	1,138
12	1	-	1	-	-	4	7,52	0,752

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Caracterización de los sustratos evaluados.

Una vez seleccionadas las mezclas más apropiadas para evaluar, se procedió al armado de las mismas y a realizar un análisis integral. En la Tabla 13 se detallan los valores obtenidos del análisis de los parámetros químicos en los distintos sustratos evaluados que fueron la base para el posterior ensayo con petunia. En los análisis realizados en este estudio, se encontraron valores de pH moderadamente alcalinos para la mayoría de los sustratos: C, Cl, C_{1:1:1}, Cl_{1:1:1}, C_{3:1:1} y Cl_{3:1:1}, (rango: 7,3 - 8,9). La gran mayoría de las especies cultivadas en sustratos se desarrollan en rangos de pH entre 5,5 y 6,3 (Abad et al., 2001). Bárbaro et al. (2019), se encontraron semejanzas en los valores obtenidos, en un rango de 4,7 a 8,7; los mismos fueron superiores en los tratamientos donde se utilizó estiércoles de aves de corral, maíz triturado y aserrín pino como componentes de sustratos. Carrión et al. (2005) afirman que los compost son alcalinos debido a que contienen menor proporción de iones intercambiables de hidrógeno y mayor de Ca, Mg y Na, esto se puede visualizar en la alta concentración (mg L⁻¹) de Ca, Mg y Na en los sustratos de compost con y sin inóculos, en relación con el resto de los sustratos.

Con respecto a la CE, se obtuvieron valores cercanos a la unidad, excepto en el sustrato comercial (SC), donde fue menor. Para C y Cl, los valores obtenidos fueron de 1,93 ± 0,19 y 1,99 ± 0,08 dS m⁻¹, respectivamente. Los casos en los que la CE fue superior a 1 dS m⁻¹ se consideran como valores altos según los rangos de referencia del Laboratorio de Sustratos del Instituto de Floricultura del INTA (Barbaro et al., 2014). Estudios realizados por Barbaro et al. (2019), se obtuvieron valores de CE de 2,66 y 1,12 dS m⁻¹ en compost generados a partir de un 40% y un 60% de guano de ponedoras en su composición inicial.

La concentración de todos los elementos analizados (NO₃⁻, Ca, Mg, K y Na) fue comparada con los rangos de referencia del Laboratorio de Sustratos y Aguas del Instituto de Floricultura del INTA (Lab. SyA) (Barbaro et al., 2014). Este estudio arrojó valores bajos de concentración de los

elementos mencionados anteriormente. Sin embargo, las altas concentraciones de Ca, Mg y Na para los sustratos con C y CI al 100%, fueron determinantes para establecer los valores de pH mencionados con anterioridad. Por su parte, para compost inoculado y sin inocular, los valores de K fueron altos y superiores al resto de los componentes de sustratos. Ciertos autores como García et al. (2002) y Barbaro et al. (2019), evaluaron compost a partir de residuos agroindustriales y en ellos correlacionan valores altos de K con la CE (Tabla 13).

En lo que respecta al contenido de materia orgánica (MO), los sustratos evaluados presentaron valores entre un 30 y 60%. Valores altos de MO se encontraron en el sustrato con partes 3:1:1 entre compost inoculado, turba y perlita, CI_{3:1:1}, (36,59 ± 2,33). Barbaro et al. (2011), probó compost de ave de corral en distintas proporciones para sustratos, los valores obtenidos fueron desde 33 a 88%, siendo el mayor valor para sustrato comercial.

Para la mayoría de los componentes de sustratos, el Dap se encontró debajo del límite establecido (Tabla 14). La densidad aparente (Dap) es recomendable encontrarla por debajo del límite superior recomendado para un sustrato (<400 kg m⁻³). La misma, representa el modo en el que el sustrato se presenta en la realidad y, por lo tanto, indica su peso, que es importante a los efectos del transporte, la manipulación; y también de la estabilidad de las plantas ante el viento en los viveros (Abad et al., 2004; Pisi, 2017). Valores superiores al límite establecido, 450- 690 kg m⁻³, también se encontraron para compost producidos a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) y compost producido con un 60% de guano de aves de corral en su composición inicial (Barbaro et al., 2019).

Los valores del Espacio Poroso Total (EPT) estuvieron cercanos y en algunos casos (C_{1:1:1}, CI_{1:1:1}, C_{3:1:1} y CI_{3:1:1}) superaron el establecido como valor óptimo (>85%). La alta porosidad total no indica por sí misma si la textura y/o estructura del sustrato es buena, para ello, es necesario conocer la relación entre los poros con aire y con agua (Abad et al., 2004). De igual forma que lo reportado por Barbaro et al. (2019), los porcentajes de EPT fueron entre 80-90% donde probó distintos compost como componente de sustratos. Los compost que superaron el 90% de EPT, corresponden al uso de compost con corteza de pino, corteza de cedro y corteza de fresno.

Los valores obtenidos del análisis establecen una relación de SC > CI = C > CI_{1:1:1} = CI_{3:1:1} > C_{1:1:1} = C_{3:1:1}, es decir, entre 61% a 38% en porcentajes de poros de agua. Además, en relación con estos porcentajes, se encontraron diferencias (p < 0,05), entre los distintos sustratos. Los valores óptimos de porcentaje de poros de aire se consideran entre 20 a 30% y el porcentaje de poros de agua, también llamado capacidad de retención de agua, entre 55 a 70% (Abad et al., 2001). Es por ello, que se destaca la importancia del tamaño del contenedor en el que se va a colocar el sustrato, ya que a un mismo tipo de sustrato la relación de poros de aire y agua a capacidad de contenedor variará según la altura de este (Burés, 1997). Contenedores de menor altura requieren sustratos con mayor aireación y contenedores de mayor altura, sustratos con mayor capacidad de retención de agua o porcentaje de poros de agua (Pisi, 2017).

Tabla 13. *Parámetros químicos determinados en los distintos sustratos.*

Parámetro	Unidad	C	CI	SC	C 1:1:1	CI 1:1:1	C 3:1:1	CI 3:1:1
pH *		8,73 ± 0,06 e	8,93 ± 0,12 e	5,58 ± 0,22 a	7,3 ± 0,1 b	8,37 ± 0,15 d	7,6 ± 0,1 c	8,37 ± 0,06 d
CE	dS m ⁻¹	1,93 ± 0,19 c	1,99 ± 0,08 c	0,5 ± 0,02 a	0,99 ± 0,01 ab	1,37 ± 0,03 bc	0,92 ± 0,01 ab	1,34 ± 0,12 bc
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	9,99 ± 1,03 a	17,75 ± 0,55 c	264,69 ± 18,03 c	10,79 ± 0,72 ab	13,4 ± 0,54 abc	11,44 ± 0,06 ab	15,96 ± 0,24 bc
P	mg L ⁻¹	90,39 ± 1,59 b	84,97 ± 5,59 ab	106,36 ± 0,92 b	79,5 ± 3,86 a	86,53 ± 0,63 ab	75,1 ± 3,11 a	79,52 ± 4,9 a
Ca	mg L ⁻¹	47,23 ± 11,34 bcd	68,25 ± 4,11 d	6,27 ± 1,63 a	26,65 ± 1,31 ab	38,78 ± 2,25 abcd	30,42 ± 2,93 abc	47,19 ± 4,15 cd
Mg	mg L ⁻¹	27,24 ± 8,5 b	26,39 ± 0,06 b	16,92 ± 1,57 ab	11,58 ± 0,32 a	17,29 ± 0,75 ab	11,82 ± 0,07 a	16,67 ± 1,5 ab
K	mg L ⁻¹	1260,7 ± 78,3 cd	1329,3 ± 27,5 d	227,23 ± 7,35 a	467,3 ± 6,39 abc	803,8 ± 38,38 bcd	431,97 ± 6,31 ab	712,43 ± 79,17 abcd
Na	mg L ⁻¹	391,47 ± 13,58 b	448,38 ± 15,12 b	265,55 ± 18,35 ab	192,26 ± 24,75 a	355,22 ± 104,4 b	190,48 ± 23,25 a	263,37 ± 28,74 ab
MO *	%	30,83 ± 0,66 ab	33,09 ± 3,41 bc	59,48 ± 0,89 e	35,86 ± 2,14 cd	28,66 ± 1,45 a	34,05 ± 0,19 bcd	36,59 ± 2,33 d

Nota. CE: Conductividad Eléctrica. MO: Materia Orgánica. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según test de Kruskal-Wallis. Fuente: Instituto de Floricultura del INTA Castelar.

* Análisis LSD-Fisher ($p=0,05$).

Tabla 14. *Parámetros físicos determinados en los distintos sustratos.*

Parámetro	Unidad	C	CI	SC	C 1:1:1	CI 1:1:1	C 3:1:1	CI 3:1:1
Densidad *	Kg m ⁻³	599,92 ± 18,09 c	603,82 ± 13,73 c	452,01 ± 7,4 b	346,19 ± 12,56 a	473,66 ± 20,87 b	335,63 ± 1,78 a	452,85 ± 18,22 b
Dap *	Kg m ⁻³	442,15 ± 14,78 d	429,86 ± 22,34 d	227,98 ± 6,32 a	216,33 ± 7,43 a	310,06 ± 15,67 c	210,58 ± 3,32 a	284,63 ± 12,94 b
Humedad	%	26,3 ± 0,6 a	28,73 ± 5,31 ab	49,57 ± 0,58 d	37,51 ± 0,21 cd	34,55 ± 0,46 abc	37,26 ± 0,89 cd	37,15 ± 0,37 bcd
	> 5,56	%	9,42 ± 1,51 ab	9,41 ± 1,62 ab	1,23 ± 0,68 a	11,54 ± 2,08 bc	10,94 ± 2,79 abc	14,86 ± 2,64 c
	5,56 - 4,75	%	5,44 ± 1,07 a	4,55 ± 0,56 a	1,47 ± 0,34 a	5,88 ± 1,01 a	5,88 ± 1,58 a	4,89 ± 2,09 a
	4,75 - 3,35	%	9,66 ± 0,58 ab	9,91 ± 0,26 abc	3,93 ± 0,41 a	12,23 ± 0,64 d	11,48 ± 0,57 bcd	12,11 ± 1,34 cd
Tamaño de partículas	3,35 - 2,0	%	13,35 ± 0,68 ab	13,63 ± 0,35 ab	5,85 ± 0,48 a	20,18 ± 0,36 c	16,36 ± 0,42 abc	19,84 ± 0,4 c
	2,0 - 1,4	%	8,71 ± 0,09 ab	9,04 ± 0,54 abc	4,17 ± 0,47 a	9,91 ± 0,54 c	9,47 ± 0,37 bc	10,01 ± 0,3 c
	1,4 - 1,0	%	7,89 ± 0,46 bc	8,26 ± 0,14 c	4,47 ± 0,3 a	7,58 ± 0,11 abc	7,91 ± 0,17 bc	7,46 ± 0,16 ab
	1,0 - 0,5	%	15,89 ± 0,97 cd	17,47 ± 0,39 d	8,1 ± 0,72 a	14,18 ± 0,02 abc	15,49 ± 0,13 bcd	13,59 ± 0,43 ab
	< 0,5	%	29,63 ± 0,64 d	27,74 ± 0,81 cd	12,34 ± 1,33 a	18,51 ± 2,51 abc	22,46 ± 0,59 bcd	17,25 ± 0,58 ab
Poros Aire	%	33,03 ± 0,88 ab	32,49 ± 0,08 ab	22,1 ± 4,05 a	51,76 ± 1,07 c	44,99 ± 0,6 bc	53,29 ± 1,32 c	45,66 ± 1,85 bc
Poros Agua	%	48,06 ± 0,96 bc	49,24 ± 0,3 bc	61,59 ± 4,2 c	38,97 ± 0,88 a	42,61 ± 0,45 ab	38,27 ± 0,89 a	41,93 ± 1,61 ab
EPT	%	81,09 ± 0,09 a	81,73 ± 0,32 ab	83,69 ± 0,36 abc	90,74 ± 0,44 cd	87,6 ± 0,15 bcd	91,57 ± 0,43 d	87,58 ± 0,32 bcd

Nota. Dap: Densidad Aparente. EPT: Espacio Poroso Total. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según test de Kruskal-Wallis. Fuente: Instituto de Floricultura del INTA Castelar.

*Análisis LSD Fisher ($p=0,05$).

En cuanto al tamaño de las partículas, debido a la que las mismas están relacionadas con la aireación y retención de agua, el mayor porcentaje se encontró en tamaños de partículas <0,5 mm para los sustratos de C, CI y CI 1:1:1. En cambio, el mayor porcentaje de tamaño de partículas, 5,56- 4,75 mm, se encontró en los sustratos C 1:1:1 y CI 1:1:1, estos tamaños de partículas están relacionados con la aireación de los componentes de sustratos (Tabla 14). Comparado con Barbaro et al. (2019), ambos estudios mostraron que el mayor porcentaje de partículas se presentó en tamaños menores a 1,0 mm. A su vez, se conoce que las partículas mayores a 1 mm dan lugar a poros grandes aportando aireación y las menores a 1 mm conforman poros medianos a pequeños proporcionando retención de agua.

Resumidamente, desde el punto de vista físico- químico, el sustrato que presentó propiedades más adecuadas para su uso como sustrato de plantas en contenedores fue el compost inoculado de forma pura (CI), por las características mencionadas con anterioridad, aun así, cabe destacar las virtudes presentadas por los sustratos C_{1:1:1}, C_{3:1:1} y CI_{3:1:1}.

4.3 Utilización de compost como enmienda orgánica de suelo en *L. sativa*

4.3.1 Caracterización de las variables analíticas determinadas en biomasa vegetal.

Para peso fresco aéreo (PF Ar), los mayores valores se observaron en el tratamiento SF, no obstante, no se obtuvieron diferencias significativas con los tratamientos C y CI, probablemente debido a los aportes nutricionales derivados de la aplicación de los compost (Fig. 7). Según estudios realizados por Lee et al. (2004), concluyeron que la adición de compost aumentó el contenido de macro y micronutrientes, como así también de materia orgánica, contribuyendo con la acumulación de peso fresco en lechugas. Igualmente, con los valores obtenidos en este estudio, la adición de C y CI, fueron considerables para la acumulación de PF Ar.

Por su parte, en los valores de PS Ar no se obtuvieron diferencias entre todos los tratamientos. Situación semejante ocurrió en estudios realizados por Mackinson et al. (2022), donde se evaluó en distintos ciclos de siembra, el compost producto de cama profunda porcina como abono orgánico en cultivo de *L. sativa*. En la Figura 7 se puede visualizar las diferencias existentes entre los pesos frescos y secos aéreos.

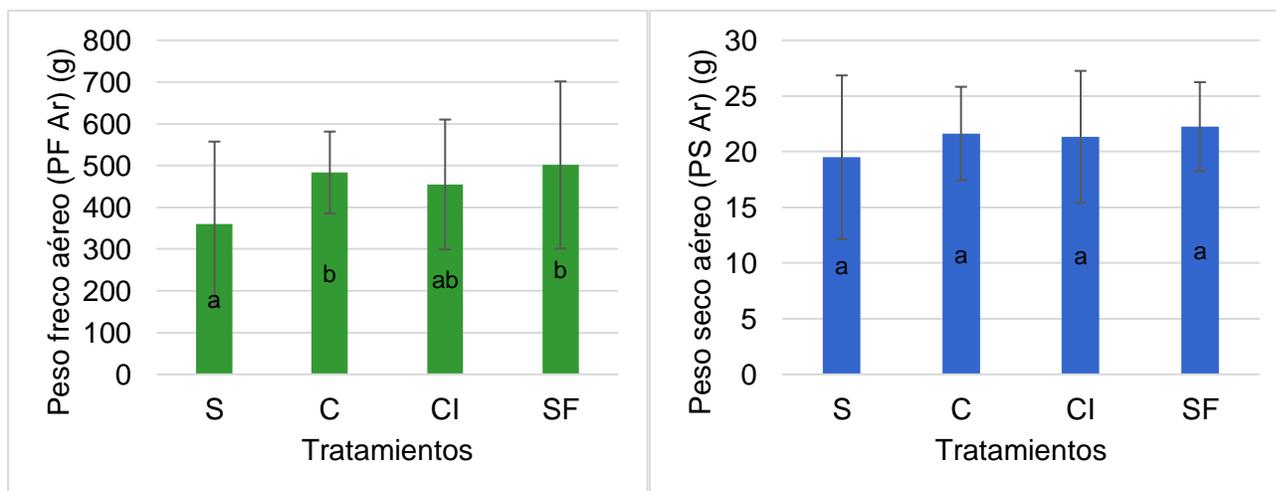


Figura 7. *Peso fresco aéreo (PF Ar) y peso seco aéreo (PS Ar) en gramos de L. sativa (media \pm desvío estándar). Nota. S: Suelo Control. C: Compost sin inóculo. CI: Compost inoculado. SF: Suelo Fertilizado. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p > 0,10$), ANOVA LSD- Fisher.*

En el caso de las mediciones realizadas para ICC_{8días}, los mayores valores se encontraron para los tratamientos de compost con y sin inóculo, CI y C respectivamente. Al mismo tiempo, los mayores valores encontrados para ICC_{43días} se observaron para el tratamiento con agregado de compost inoculado (CI) (Tabla 15). Las mediciones de ICC, muestran que su uso corresponde a una alternativa para evaluar el contenido de nitrógeno en la planta en tiempo real, pues hay una significativa correlación entre los contenidos de clorofila con la concentración de nitrógeno en la hoja, entre 50 a 70% (Botha et al., 2006; de Lima Vasconcelos et al., 2014). Estudios realizados por Hernández (2012), reportaron que el efecto individual y las interacciones de la aplicación de compost, ácidos húmicos y micorriza (*Glomus intraradices*) en lechuga; generaron mayores valores de ICC para el tratamiento con agregado de biofertilizantes y ácidos húmicos (39 unidades de SPAD), aun así, no se observaron diferencias significativas con los demás tratamientos donde se usó compost.

Tabla 15. *Valores de Índice de Contenido de Clorofila (ICC), medidos a los 8 y 43 días desde el trasplante, en plantas de lechuga.*

Tratamiento	ICC 8 días			ICC 43 días		
S	26,24	\pm 6,93	ab	21,79	\pm 5,92	ab
C	28,51	\pm 6,85	a	20,16	\pm 4,19	b
CI	26,37	\pm 9,10	ab	23,48	\pm 5,25	a
SF	23,81	\pm 5,16	b	21,62	\pm 3,24	ab

Nota. S: Suelo Control. C: Compost sin inóculo. CI: Compost inoculado. SF: Suelo Fertilizado. Los valores indican media y desviación estándar. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p > 0,10$) para ANOVA LSD- Fisher.

Por otra parte, se realizaron mediciones de clorofila a, b, carotenoides, clorofila y pigmentos totales (base seca). En el caso de clorofila a y b, los mayores valores observados corresponden a los tratamientos CI y C como enmienda, no encontrando diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p > 0,05$). De la misma forma, en estudios realizados por Carnicer et al. (2020), encontraron que los valores de clorofila total fueron mayores en los cultivos donde se aplicó compost en los tratamientos. Se debe a que el contenido de clorofila en los vegetales depende de la disponibilidad de N y como puede verse en la Figura 8, este aumentó en los tratamientos con agregado de compost con y sin inóculos (CI y C). La existencia de este nutriente en cantidades suficientes en las células estimula la actividad de enzimas que dan forma a un diverso número de proteínas de diferente función. Por otro lado, en las concentraciones ($\mu\text{g mg}^{-1}$) de carotenoides no se observaron diferencias significativas entre CI y S, presentando mayores valores en la primera.

Se destaca que, mediante el uso de los compost los resultados en rendimiento de biomasa fueron elevados, siendo similares a los de un manejo hortícola tradicional mediante fertilización inorgánica. Si bien, no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en base seca, el tratamiento CI presentó tendencia a mejorar algunas características cualitativas al realizar el análisis foliar ($> \text{ICC}$, contenido de clorofila, pigmentos totales, y carotenoides). La tendencia de estos indicadores, sugieren que el CI puede mejorar las características nutraceuticas en la producción de este alimento.

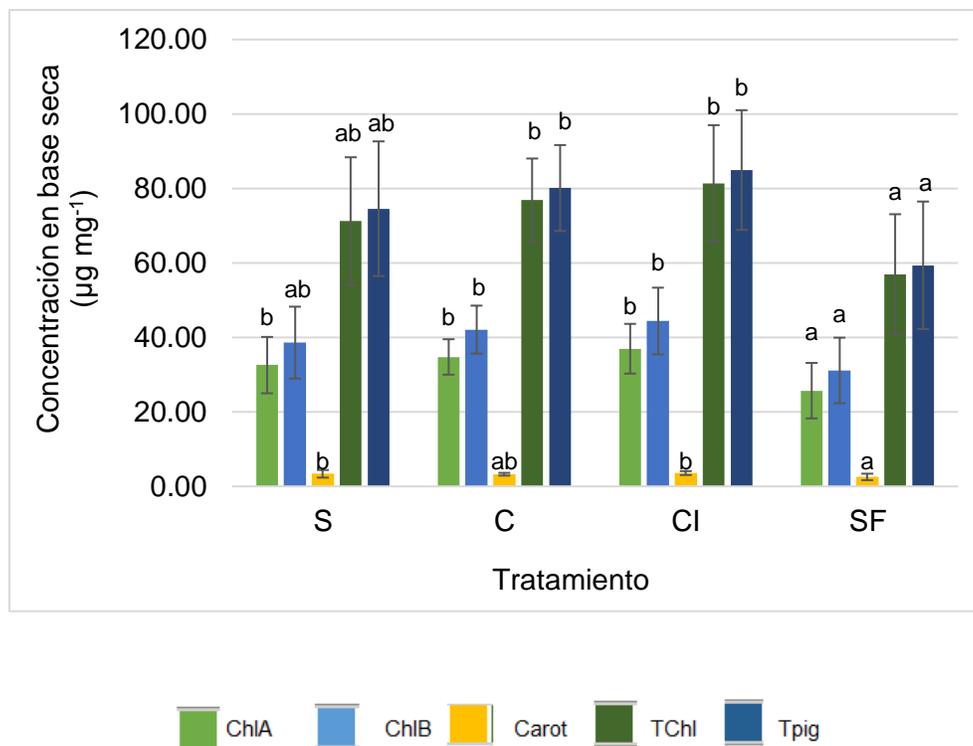


Figura 8. Concentración de Clorofila A (ChIA), Clorofila B (ChIB), Carotenoides (Carot), Clorofila Total (TChI) y Pigmentos Totales (Tpig), en base seca. (media \pm desvío estándar). Nota. S: Suelo Control. C: Compost sin inóculo. CI: Compost

4.3.2 Caracterización de las variables analíticas medidas en suelo.

Para evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas diferentes sobre el suelo, se realizó un análisis descriptivo de diversos parámetros. En el caso de las muestras compuestas de suelo, todas coincidieron con una textura franco; y franco limoso en el caso del suelo control inicial debido a un superior volumen de sedimentación. El volumen de sedimentación está relacionado con la clase textural del suelo (Nijensohn, 1971).

Los mayores valores de CE los arroja para el tratamiento con agregado de compost inoculado (CI). Se conoce que la CE en el extracto de saturación es una medida indirecta de la cantidad de sales que tiene el suelo. Además, los mayores valores de RAS se obtuvieron para CI debido a alta concentración de sodio (me L^{-1}) (Tabla 16). La estimación del grado de sodificación, se proponen con la adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na, Ca y Mg de las soluciones salinas (Richards et al., 1954; Soto, 2018). En cuanto a la concentración de iones (me L^{-1}), los bicarbonatos no presentaron diferencias entre las distintas enmiendas en suelo, por su parte los sulfatos fueron superiores para CI.

Tabla 16. Valores de salinidad completa obtenidos del análisis de suelo en el ensayo de enmienda orgánica con lechuga.

Parámetro	Unidad	Suelo Control inicial	Tratamiento			
			S	SF	C	CI
Salinidad Completa						
Vol. Sedimentación	cm ³ %g	108	96	100	98	100
Clasificación Textural		Franco- limoso	Franco	Franco	Franco	Franco
CEes	dS m ⁻¹	4,97	2,95	2,90	3,54	4,34
Humedad de Saturación	g%g	41,7	41,4	40,4	41,8	41,8
pH		7,66	7,62	7,69	7,69	7,59
Cloruros	me L ⁻¹	23,27	6,30	5,54	10,62	16,20
Carbonatos	me L ⁻¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos	me L ⁻¹	2,20	1,71	1,96	1,94	1,96
Sulfatos	me L ⁻¹	45,86	31,62	34,68	34,54	78,13
Calcio	me L ⁻¹	38,55	25,35	25,15	27,85	32,25
Magnesio	me L ⁻¹	8,95	4,85	8,20	6,60	10,30
Sodio	me L ⁻¹	23,83	9,43	8,83	12,65	53,74
RAS		4,89	2,43	2,16	3,05	11,65

Nota. CE: Conductividad Eléctrica. RAS: Relación de Absorción de Sodio. Fuente: LSAV del INTA Mendoza.

En relación con los macronutrientes, todos presentaron altos valores, de N, P y K, independientemente del tratamiento. En cuanto a los micronutrientes (Zn, Mg, Fe y Cu), los resultados arrojaron valores favorables para C y CI, no mostrando grandes diferencias con el tratamiento SF, siendo en algunos casos superior a este (Tabla 17). En trabajos realizados por Olivares et al. (2012), la concentración de macro y micronutrientes, del mismo modo que el contenido de materia orgánica, en suelos fertilizados con lombricomposta y composta presentaron valores altos de nutrientes. En el caso del fósforo, todos los tratamientos presentaron valores altos. Teniendo en cuenta que no todo el P inorgánico está disponible para los cultivos durante su ciclo de crecimiento (Wyngaard y Calvo, 2019).

Tabla 17. Valores de macro y micronutrientes obtenidos del análisis de suelo en el ensayo de enmienda orgánica con lechuga.

Parámetro	Unidad	Suelo Control inicial	Tratamiento			
			S	SF	C	CI
Fertilidad Completa						
N Total	mg kg ⁻¹	2286	2587	1968	2290	2145
P - H ₂ CO ₃	mg kg ⁻¹	8,65	6,82	7,28	17,85	21,33
K int Ac-NH ₄ ⁺ pH 7		420	589	494	748	614
MO	g%g	7,20	3,25	6,50	5,38	4,71
C/N		18,28	7,29	19,16	13,62	12,73
Macronutrientes						
Nitrógeno		Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Fósforo - H ₂ CO ₃		Alto	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Fósforo - Bray&Kurtz		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Potasio		Alto	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Micronutrientes						
Hierro	mg kg ⁻¹	5,80	4,90	6,10	6,40	5,30
Cobre	mg kg ⁻¹	1,09	0,81	1,08	1,15	0,88
Zinc	mg kg ⁻¹	1,9	1,4	1,6	1,8	1,8
Manganeso	mg kg ⁻¹	6,9	1,6	2,0	1,6	1,4

Nota. Fuente: LSAV del INTA Mendoza.

Los tratamientos C y CI presentaron valores altos de MO, igual que SF. La materia orgánica (MO) hace referencia a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que, por lo tanto, pueden dar lugar al aumento del contenido en nutrientes del suelo. Además, se conoce que la materia orgánica tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico, esto es una gran importancia para retener cationes en el suelo, favoreciendo la microestructura del mismo (Garrido y Alero, 1993) (Tabla 17). Algo similar ocurrió en estudios realizados por Olivares et al. (2012), donde la aplicación de lombricomposta y composta aumentaron significativamente el contenido de materia orgánica en suelo.

Estudios preliminares realizados por Paolinelli et al. (2023), a través del análisis de la biodiversidad bacteriana edáfica al finalizar este estudio, mediante técnicas de metagenómica, destacan una mayor diversidad de microorganismos en suelo enmendado con CI. De esta manera, se percibe el potencial del compost inoculado para lograr producciones similares a las de un cultivo comercial; incrementando la calidad nutracéutica del producto, mejorando la diversidad microbiana y, por ende, la funcionalidad del suelo. Dichos avances promueven la profundización del análisis de estas herramientas biotecnológicas, en el agregado de valor del compost y las mejoras en el agroecosistema.

4.4 Utilización de compost como componente de sustratos en *Petunia* sp.

4.4.1 Caracterización y comparaciones de las variables analíticas en biomasa

Para las variables peso seco de la parte aérea (PS Ar) radicular (PS R) los mayores valores se observaron en C y C 1:1:1, probablemente debido a los nutrientes por parte de la aplicación de compost. En trabajos realizados plantines de *E. grandis* en sistemas hidropónicos, se encontró que el P incrementaba la materia seca acumulada en tallo y hojas (Lacey et al., 1966); y la combinación de N y P aumentan la biomasa de hojas, ramas y sus contribuciones a la materia seca total (Birk y Turner, 1992). Algo similar ocurrió en investigaciones realizadas por Funes Pinter et al. (2023) donde el compost presentó un efecto positivo significativo sobre el crecimiento de las plantas ornamentales de *Petunia* híbrida. Además, fue posible visualizar valores altos de peso seco (g) en los tratamientos con agregado de compost inoculado (CI 1:1:1), no encontrándose amplias diferencias con un SC.

La Figura 9 muestran la producción de peso seco de la parte aérea y radicular para petunia. Se percibieron diferencias significativas en el peso seco de la parte radicular, siguiendo el siguiente orden: C > CI = C 1:1:1 > SC = CI 1:1:1 = CI 3:1:1 = C 3:1:1.

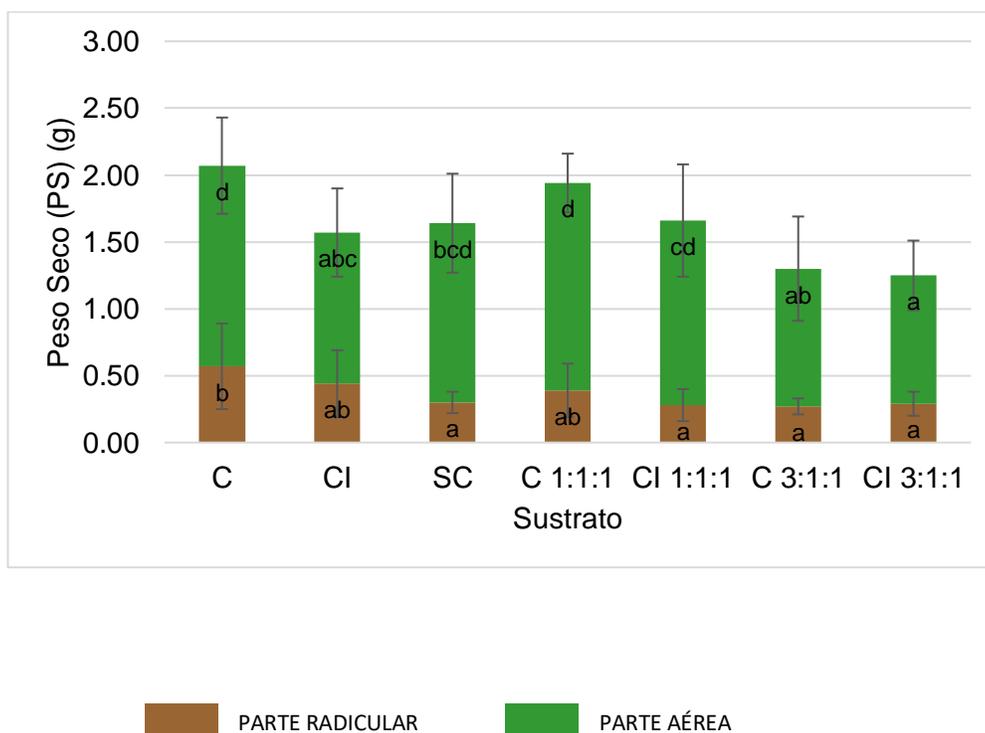


Figura 9. Peso Fresco (PF) y Peso Seco (PS) de las partes aéreas y radicular de plantas de petunia implantadas en distintos sustratos (media+ desvío estándar). Nota. C: Compost sin inóculo. CI: Compost inoculado. SC: Sustrato Comercial. C 1:1:1: compost sin inóculo, turba y perlita. CI 1:1:1: compost inoculado, turba y perlita. C 3:1:1: compost sin inóculo, turba y perlita. CI 3:1:1: compost inoculado, turba y perlita. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p = 0,05$) para LSD Fisher.

Los mayores valores de ICC se presentaron para SC y C_{1:1:1}, no presentando diferencias para ambos sustratos, coincidiendo con los sustratos con menor valor de pH. Además, el ICC presentó valores altos en sustrato con agregado de compost sin inocular (C), lo mismo ocurrió para los sustratos de CI, CI_{1:1:1}, C_{3:1:1} y CI_{3:1:1} donde no se presentaron diferencias significativas (Tabla 18). Este tipo de mediciones es de importancia, ya que las clorofilas son pigmentos responsables por la conversión de radiación luminosa en energía, en la forma de ATP y NADPH, relacionadas con la eficiencia fotosintética de las plantas y, en consecuencia, a su crecimiento y adaptabilidad a diferentes ambientes (Nogueira et al., 2013; de Lima Vasconcelos et al., 2014). Funes Pinter et al. (2023) estudió flores de *Impatiens walleriana* implantada en un sustrato de compost con agregado de diferentes bioestimulantes, en compost, los productos no produjeron diferencias significativas sobre los valores de SPAD.

Tabla 18. Valores de Índice de Contenido de Clorofila (ICC) (media \pm desviación típica) obtenidos a los 46 días desde la plantación de plantines de *Petunia* en macetas.

Sustrato	ICC _{46 días}
C	27,13 \pm 2,27 ^b
CI	23,13 \pm 3,33 ^a
SC	29,38 \pm 3,07 ^c
C_{1:1:1}	30,12 \pm 3,28 ^c
CI_{1:1:1}	22,48 \pm 2,76 ^a
C_{3:1:1}	24,12 \pm 2,44 ^a
CI_{3:1:1}	22,59 \pm 3,17 ^a

Nota. C: Compost sin inóculo. CI: Compost inoculado. SC: Sustrato Comercial. C_{1:1:1}: compost sin inóculo, turba y perlita. CI_{1:1:1}: compost inoculado, turba y perlita. C_{3:1:1}: compost sin inóculo, turba y perlita. CI_{3:1:1}: compost inoculado, turba y perlita. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas para los parámetros medidos, según análisis de LSD Fisher con un $p=0,05$.

En el conteo de número de flores y pimpollos, no se observaron diferencias significativas para el número de flores ($p>0,05$). Por su parte, para el número de pimpollos se obtuvieron altos valores en C, SC y CI, no hallándose diferencias entre los primeros sustratos. Estudios realizados por Pisi (2017), reportó que el número de flores y pimpollos en petunias, fue mayor en el sustrato comercial habiendo diferencias significativas con las plantas de los restantes sustratos, donde se usó compost con orujo de uva puro y en mezclas con distintos tipos de agrolitas.

Con relación a las características físicas del sustrato, las plantas de *Petunia sp.* prosperan mejor en sustratos bien aireados (Nau, 2011; Pisi, 2017), coincidiendo con el sustrato de compost con y sin inóculo, CI y C, respectivamente, donde las plantas lograron un mejor desarrollo. Además, las petunias son especies que requieren de un sustrato con un pH entre 5,5 – 6,3 y altas dosis de fertilización con respecto a otras especies (Nau, 2011; Pisi, 2017). Los análisis de sustratos C, CI y CI_{1:1:1} presentaron altos valores de Mg, K, P y CE (Tabla 13 y 14), correspondiéndose con el mayor desarrollo de flores y pimpollos. Para Barbaro et al. (2011); las concentraciones de los nutrientes analizados en todos los sustratos con compost puros fueron muy altas, coincidiendo con los altos valores de CE.

En la Figura 10 se puede visualizar las diferencias obtenidas entre el número de flores y pimpollos para cada uno de los diferentes sustratos utilizados en el ensayo con plantines de *Petunia* sp.

De esta manera, se destaca que los sustratos donde se utilizó C y CI de forma pura, presentaron rendimientos comparables a un sustrato comercial en flores y pimpollos de *Petunia* sp. implantadas en macetas.

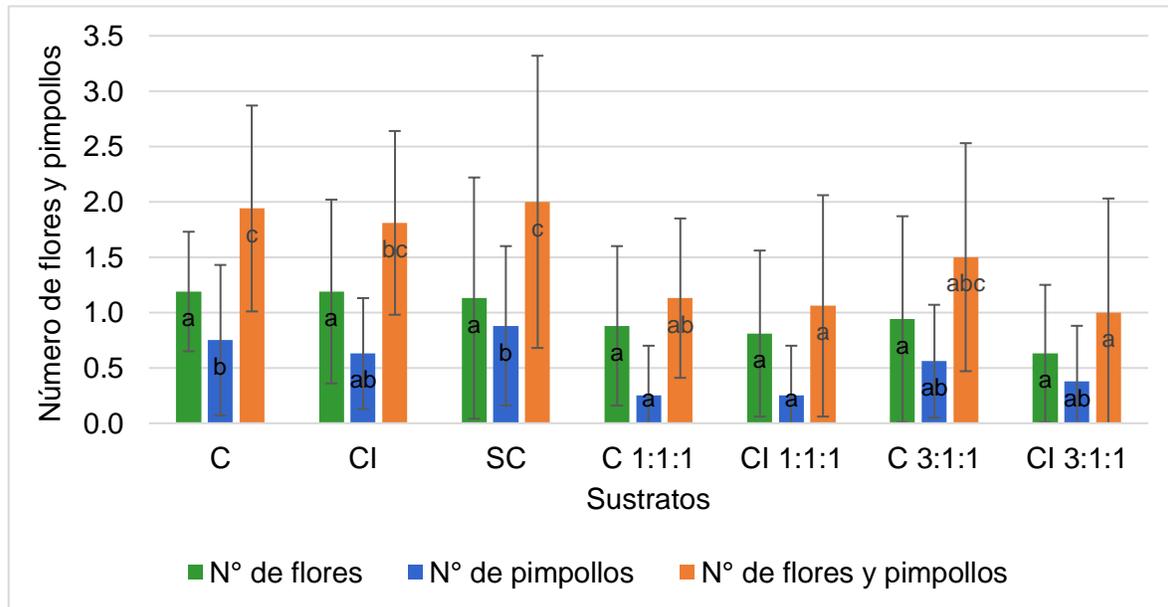


Figura 10. Número de flores y pimpollos en plantines de *Petunia* sp. (media \pm desvío estándar). Nota. C: Compost sin inóculo. CI: Compost inoculado. SC: Sustrato Comercial. C _{1:1:1}: compost sin inóculo, turba y perlita. CI _{1:1:1}: compost inoculado, turba y perlita. C _{3:1:1}: compost sin inóculo, turba y perlita. CI _{3:1:1}: compost inoculado, turba y perlita. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según test de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio se pudo lograr, determinando los efectos del compost inoculado al utilizarse tanto como enmienda de suelo y como componente de sustrato; a fin de suplir las necesidades de soporte, nutricional de las plantas, y las limitaciones del suelo.

Los compost utilizados para la realización de este estudio, presentaron características físico-químicas comparables con la norma vigente, clasificándolos dentro de la Clase A.

El aporte de macronutrientes al suelo como enmienda orgánica fue favorable en los tratamientos de compost con y sin inóculo, no hallándose diferencias con el tratamiento de suelo fertilizado. Se podría decir, que el aporte suple las necesidades de aplicaciones de fertilizantes inorgánicos por parte de los productores hortícolas.

A partir de los objetivos planteados, el uso del compost inoculado como enmienda de suelo presentó diferencias significativas en concentraciones de clorofila con respecto al resto de los tratamientos, mejorando de esta manera sus propiedades nutraceuticas.

Los sustratos de compost con y sin inóculos dieron favorables para el conteo de número de flores y pimpollos, dando en algunos casos superior al tratamiento con sustrato comercial.

El uso de compost sin inóculo (C), compost inoculado puro (CI) y la mezcla de un 33% entre compost inoculado, perlita y turba (CI_{1:1:1}), presentaron diferencias en peso seco de la parte radicular en *Petunias sp.*

De esta manera, la realización de prácticas sustentables tales como, la generación de compost a partir de residuos orgánicos locales, promueve sistemas productivos más sostenibles, disminuyendo los impactos negativos en el ambiente de los residuos orgánicos y reduciendo parcialmente el uso de RRNN no renovables, como sustratos de plantas en macetas y el uso de fertilizantes de síntesis.

Futuras investigaciones podrían estar orientadas a la evaluación de las dosis de inóculos aplicados en las pilas de compostaje, debido a que el uso de microorganismos interfiere en la dinámica poblacional, de microorganismos nativos ya existentes; y, por consiguiente, evaluar los compost inoculados y su efecto sobre la funcionalidad biológica del suelo a largo plazo. Con respecto a las actividades agrícolas, se sugiere la evaluación de aplicación de compost inoculados y sin inocular en cultivos perennes a largo plazo, por ejemplo, en viñedos o frutales, debido a que estas actividades productivas representan una base fundamental en la economía regional.

Finalmente, se demuestra que la incorporación de un inóculo en el proceso de compostaje mejora las aptitudes del compost, el cual permite usar residuos orgánicos para volcarlos nuevamente en otra cadena productiva en menor tiempo operativo. De esta forma, la gestión integrada de los residuos formaría parte de una economía circular donde los aprovechamientos de estos materiales puedan productivamente ser utilizados una vez más.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abad Berjon M, Noguera Murray P, Carrión Benedito C. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu Gavilán. Cultivo sin suelo. Madrid: Mundi Prensa, 2004. 113-158.
- Abad M, Noguera P y Burés S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*. 77 (2): 197-200.
- Acharya C N. (1950). Preparación de compost de estiércol a partir de desechos urbanos, Calcuta. Consejo Indio de Investigación Agrícola, Ministerio de Agricultura. Boletín N°60.
- Adhikari B K, Barrington S, Martínez J y King S. (2009). Eficacia de tres agentes de carga para el compostaje de residuos alimentarios. *Gestión de residuos*, 29, 197–203
- Álvarez M, Tucta F, Quispe E y Meza V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Scientia Agropecuaria* 9(1): 33-42
- Álvarez V, Humberto L, García R, Refugio B, Ulloa M, Ruth G, Arellano G, Maritza, García González A. (2019). Potencial biotecnológico para la valorización de residuos generados en granjas porcinas y cultivos de trigo. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 7(21), 1-21. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2019.21.70799>
- Álvarez Vera M, Largo A, Iglesias Abad S y Castillo J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria* [online]. vol.10, n.3, pp.353-361. ISSN 2077-9917. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>.
- Ansorena Miner J. (1994). Sustratos propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.172 pp.
- Aye S L. (2016). Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Jour. Myan. Acad. Arts & Sc.* XIV (1): 317-331.
- Aylaj M y Adani F (2023). The Evolution of Compost Phytotoxicity during Municipal Waste and Poultry Manure Composting. *Journal of Ecological Engineering*, 24(6).
- Azim K, Soudi B, Boukhari S, Perissol C, Roussos S y Thami Alami I. (2018). Parámetros de compostaje y calidad del compost: una revisión de la literatura. *Agricultura orgánica*, 8(2), 141–158.
- Barbaro A, Karlanian M A, Morisigue D E, Rizzo P F, Riera N I, Della Torre V, Crespo D. (2011). Compost de ave de corral como componente de sustratos. *CI. SUELO-ARGENTINA*. 29(1), 83-90.
- Barbaro L A, Mazzoni A, Karlanian M A, Fernández M N y Morisigue D E. (2014). Cenizas del volcán Puyehue como sustrato para plantas. *Horticultura Argentina*. 33(81): 44-53

- Barbaro L, Karlanian M, Rizzo P y Riera N (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 126-136.
- Barrena Gómez R, Lima F V y Ferrer A S (2006). The use of respiration indices in the composting process: a review. *Waste Manag Res*, 24(1), 37-47. doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X06062385>
- Barrena Gómez, R. (2007). Compostaje de residuos sólidos orgánicos: aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Bianco M V, Fagiani M A, Campos H, Yosviak M I, Muñoz N B, Ruggia O y Silbert V (2019). Enmienda orgánica de suelo y su efecto sobre el cultivo de lechuga. 1° Congreso Argentino de Agroecología
- Birk E M y Turner J. (1992). Response of flooded gum (*E. grandis*) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantations and native forests. *Forest Ecol Manag*, 47(1-4), 1-28. doi: [doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90262-8](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90262-8)
- Bohórquez Santana W. (2019). *El proceso de compostaje*. Vol. 1. Universidad de la Salle.
- Bolta S V, Mihelic F, Lobnik y D Lestan. (2003). Estructura de la comunidad microbiana durante el compostaje con y sin inóculos masivos. *Ciencia y utilización del compost* 11: 6-15.
- Bonhot J, Schwarz M, Jack A L H, Olmstead D, Harrison E Z. (2008). Evaluación de la calidad del compost para uso en horticultura: impacto del proceso de compostaje. Instituto de Gestión de Residuos de Cornell, Ciencias del Suelo y Cultivos, Universidad de Cornell
- Botha E J, Zebarth BJ, Leblon B. (2006). Non-destructive estimation of potato leaf chlorophyll and protein contents from hyperspectral measurements using the PROSPECT radiative transfer model. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 279-291.
- Bremner J M. (1965). Inorganic nitrogen. In: C. A. Black et al. (eds.) *Methods of soil analysis*. Part II. Agronomy N° 9: 1179 -1237 Am. Soc. of Agron. Madison. USA.
- Brown S, Cotton M. (2011). Cambios en las propiedades del suelo y el contenido de carbono después de la aplicación de compost: resultados del muestreo en la finca. *Ciencia del compost*. útil 19, 88e97
- Bueno M P, Díaz B M y Cabrera C F. (2008). Factores que afectan el proceso de compostaje. En C. J. Moreno y H. R. Moral, *Compostaje* (pp. 95-109). Madrid: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/>
- Burés S. (1997). *Sustratos*. Ediciones Agrotecnicas, S. L. Madrid. 342 pp
- Bustamante M A, Martínez Amorós E, Picó B, Gangi D, Pérez Espinosa A, Pérez Murcia M D y Moral R. (2014). Efecto del lavado como tratamiento sobre la calidad de compost de origen ganadero para su uso como sustratos en semillero. *Actas de horticultura nº 67 xi jornadas de sustratos*, 43.
- Cabrera F. (2009). *Materia orgánica del suelo: papel de las enmiendas orgánica*.

- Campitelli P, y Ceppi S. (2010). *Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Córdoba).
- Cantú M, Bedano J C, Becker A R, Blarasin M T. (2008). Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios: desarrollo de la aplicación de la metodología del Proyecto. Estudio de caso Córdoba: Cuenca del Arroyo La Colacha. 1a ed. - Río Cuarto: Fund. Universidad Nacional de Río Cuarto. ISBN: 978-987-1003-58-7
- Carnicer S, Shindoi M M J, Delfino M R y Leconte M C (2020). Contenido de antioxidantes totales y clorofila en lechuga bajo fertilización orgánica con compost.
- Carrión C, Abad M, Fornes F, Noguera V, Puchades R, Maquieira A. (2005). Acidification of composts from agricultural wastes to prepare nursery potting mixtures. *Acta Hort.* 779:333-340
- Castaño Martínez C. (2013). *Los pilares del desarrollo sostenible: sofisma o realidad*. Universidad Santo Tomás.
- Celestina C, Hunt J R, Sale P W G, Franks A E. (2019). Investigación de suelos y labranza Atribución de las respuestas del rendimiento de los cultivos a la aplicación de enmiendas orgánicas: una revisión crítica. *Investigación de suelos y labranza*. 186: 135-145.
- Cereti C F, Rossini F, Federici F, Quaratino D, Vassilev N, Fenice M. (2004). Reuse of microbially treated olive mill wastewater as fertiliser for wheat (*Triticum durum* Desf). *Bioresour Technol* 91: 135– 140.
- CIAFA. (2023). Consumo de fertilizantes 2022. <http://www.ciafa.org.ar>. Consultado 2023.
- Cruz Crespo E, Can Chulim A, Sandoval Villa, M, Bugarin Montoya R, Robles Bermudez A, y Juárez López P. (2013). Sustratos En La Horticultura. *Conacyt*.
- De Boodt, Verdonck O y Cappaert J. (1974). Methods for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- De Lima Vasconcelos R, De Mello Prado R, Reyes Hernández A, y Caione G. (2014). Effect of horary measurement, position and portion of leaf in the of chlorophyll in potato index. *Idesia (Arica)*, 32(4), 23-28. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000400004>
- Díaz N A, Ruiz J A B, Reyes E F, Cejudo A G, Novo J J, Peinado J P y Fiñana T. (2010). Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Universidad de Córdoba*, 1-8.
- Docampo R. (2013). Compostaje y compost. *Revista INIA-Nº*, 35, 64.
- Domínguez J, Aira M, y Gómez Brandón M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes:. *Ecosistemas*, 18(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/61>
- Dubois O. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk. Earthscan.

- Duval M E, Capurro J E, Galantini J A, Andriani J M. (2015). Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del Suelo* 33(2): 247-261.
- FAO. (1980). Manual de compostaje rural. Proyecto Regional FAO/PNUD RAS/75/004 Documento de Campo No. 15. Roma.
- FAO. (2002). Planta de producción de biofertilizantes, Myanmar (Proyecto FAO/PNUD), por H. Hiraoka. Informe de regreso a la oficina. Bangkok, FAO-RAP.
- Fermino M H. (2003). Métodos de análisis para caracterización física de sustratos para plantas. Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en Fitotecnia. Universidad Federal de Rio Grande Do Sul. Facultad de Agronomía. Puerto Alegre. 250pp.
- Fernández R. (2003). Estudio sobre la caracterización de la producción florícola en la República Argentina. INTEA S. A. INTAJICA. pp: 87
- 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>.
- Funes Pinter I, Pisi G, Aroca M y Uriarte E M. (2023). Té de compost y bioles como bioestimulantes vegetales. Parte 2: prueba de biofertilizantes en flores ornamentales. *Journal of Plant Nutrition*, DOI: 10.1080/01904167.2023.2171883
- García G A, Bernal M P, Roig A. (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology* 83(2):81-87.
- Garrido G S y Alero S. (1993). Interpretación de análisis de suelos. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis.
- González Y, Villalobos J. (2021). Manejo ambiental de residuos orgánicos: estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasa y aceite. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-2. Pág. 11-22. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4843>
- Haug R. (1993). El Manual práctico de ingeniería del compost. Boca Raton, Florida, Estados Unidos. Lewis Publishers.
- Hettiarachchi H, Caucci S, Schwärzel K. (2020). Compostaje de Residuos Orgánicos a través de Nexus Pensamiento: Prácticas, Políticas y Tendencias. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-36283-6>
- Hettiarachchi H, Meegoda J N y Ryu S. (2018). La recompra de residuos orgánicos como método viable para mejorar la gestión sostenible de residuos sólidos municipales en los países en desarrollo. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública*, 15(11), 2483. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112483>
- Holm Nielsen J B, Al Seadi T y Oleskowicz Popiel P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478-5484.
- 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.
- Iannotti D A, Pang T, Toth B L, Elwell D L, Keener H M, y Hoitink H A J. (1993). A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science & Utilization*, 1(3), 52-65.
- INTA. (2021). Martínez, L. E., Rizzo, P. F., Bres, P. A., Riera, N. I., Beily, M. E., & Young, B. J. Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial. Ediciones INTA.
- Kirchherr J, Reike D y Hekkert M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221- 232.
- Kopec M, Gondek K, Mierzwa Hersztek M y Antonkiewicz J. (2018). Factors influencing chemical quality of composted poultry waste. *Saudi Journal of Biological Sciences* 25: 1678- 1686
- Kumar B L, Gopal D S. (2015). Effective Role Of Indigenous Microorganisms For Sustainable Environment. 3 *Biotech*. Vol. 5, P. 867-876.
- Lacey C, Leaf A y Talli A. (1966). Growth and nutrient uptake by flooded gum seedlings subjected to various phosphorus supplies. *Australian Forestry*, 30(3), 212-222.
- Laich F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. 1-7.
- Lee J J, Park R D, Kim Y W, Kim T H y Kim K Y. (2004). Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresour. Tech.*, 93:21-28.
- Mackinson M O, Bonel B, Rotondo R, Grasso R, Balaban D M y Larrieu E V (2022). Utilización de compost de cama profunda porcina como abono orgánico en un sistema productivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo. *Ciencias Agronómicas*, (40), e023-e02
- Martínez L E, Rizzo P F, Bres P A, Riera N I, Beily M E, y Young B J. (2021). Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial. Ediciones INTA.
- Martínez P F y Roca D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R, VJ (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 37-77.
- Mayer J, Scheid S, Widmer F, Fließbach A, Oberholzer H. (2010). ¿Qué tan efectivos son los microorganismos efectivos (Em)? Resultados De Un Estudio De Campo En Clima Templado. *Ecología aplicada del suelo*. vol. 46, núm. 2, pág. 230-239, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.007>
- Mazzarino M J, Satti P y Roseli L. (2012). En: Indicadores de madurez, estabilidad y calidad de compost. En: Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. pp. 13-28. Mazzarino, M. y Satti, P. (Eds.). Universidad Nacional de Rio Negro – Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina

- Mazzarino M J. y Satti P S. (2012). Compostaje en la Argentina. Experiencias en producción, calidad y uso: Editorial UNRN.
- Mbuligwe S E, Kassenga G R, Kaseva M E y Chaggu E J. (2002). Potencial y limitaciones del compostaje de desechos sólidos domésticos en países en desarrollo: Hallazgos de un estudio piloto en Dar Es Salaam, Tanzania. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 36(1), 45–59
- 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
- Morais S C, Alves Fiore F, Espósito E. (2022). Influencia del uso de inóculo aclimatado en el proceso de compostaje. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210015>
- Morocho M, Leiva Mora M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*. v. 46, núm. 2, pág. 93-103.
- Nau J. (2011). Crop culture A-Z. In: Ball Redbook. Vol 2. pp: 199-736. Nau, J (Ed). Ball Publishing, West Chicago, Illinois.
- Nijensohn L. (1971). Clasificación textural en función e la capacidad hídrica de saturación. En clasificación y estudio de suelo en el área de estudio de suelo en proyectos de Río Dulce. Editado por corporación de Río Dulce. Santiago del Estero. Argentina. 188p
- Nogueira N O, Martins L D, Tomaz M A, Andrade F V, Passos R R. (2013). Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. *Agrária-Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8: 390-395.
- Olivares Campos M A, Hernández Rodríguez A, Vences Contreras C, Jáquez Balderrama J L y Ojeda Barrios D (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia*, 28(1), 27-37.
- Otoo M y Drechsel P. (2018). Recuperación de recursos a partir de desechos: modelos comerciales para la reutilización de energía, nutrientes y agua en países de ingresos bajos y medianos. Oxon: Routledge – Earthscan.
- Ozores Hampton M P, Stansly P A, Salame T P. (2011). Propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo de un suelo arenoso sujeto a enmiendas orgánicas a largo plazo. *J. Sostener. Agrícola*. 353, 243e259.
- Ozores Hampton M P. (2017). Directrices para evaluar la calidad del compost de forma segura y eficaz utilización en la producción de hortalizas. *HortTechnology* 27, 150.
- Pace S A, Yazdani R, Kendall A y Simmons C W .(2018). Impacto de la composición de los desechos orgánicos en la producción de energía del ciclo de vida, el calentamiento global y el uso del agua para el tratamiento mediante digestión anaeróbica seguida de compostaje. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 137, 126–135.

- Paredes C, Cegarra J, Bernal M P, Roig A. (2005). Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. *Environment International* 31: 305-312
- Paolinelli M, Martínez L E, Uliarte M, García Lampasona S, Mercado L A .(2023). Evaluación de compost inoculado como enmienda nutricional en cultivo de lechuga. Libro de resúmenes del IV Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales. Fecha: 1 – 3/11/2023. Mendoza, Argentina. Publicación en edición: www.simposioderesiduos.com.ar
- Pisi G. (2017). Compostaje del orujo de uva agotado y uso del compost obtenido como componente de sustrato para plantines florales. Maestría en Floricultura. Universidad Nacional de Lomas De Zamora.
- Pittaway P. (2014). interpreting results for plant growth promotion and disease suppression bioassays using compost. *Acta Hortic.* 1018, 181-186
DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1018.17>
- Puebla Hernández O. (2012). Aplicación de composta, micorriza (*Glomus intraradices*) y ácidos húmicos en la producción de lechuga (*Latuca sativa*). Universidad Autónoma De San Luis Potosí
- Reed D W (1999). Agua, sustratos y nutrición. Ball Publishing y Ed. HortiTecnia Ltda., Bogotá, Colombia.
- Richards L A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (No. 60). US Government Printing Office.
- Rizzo P F. (2020). Análisis integral para el manejo del guano de aves ponedoras: caracterización, bioestabilización y valorización de los productos generados. Tesis doctoral. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Rojas Vargas J, Mora Barrantes J, Herrera Vargas P, Arias Zuñiga V. (2022). Gestión de residuos: un estudio sobre la generación de fertilizantes orgánicos a partir de sistemas de trampas de aceite y grasa. *Uniciencia*, 36 (1), 1-13. <https://dx.doi.org/10.15359/ru.36-1.1>
- Román, P, Martínez M M, y Pantoja A. (2013). Experiencias del manual de compostaje del agricultor en América Latina. Santiago: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Rynk R, Black G, Gilbert J , Biala J ,Bonhotal J, Schwarz M, Cooperband L. (2021). *The Composting Handbook: A how-to and why manual for farm, municipal, institutional and commercial composters*. Academic Press, 1er edición. ISBN-13: 9780323856027
- SAMLA. (2004). Recopilación de técnicas de laboratorio. Sistema de Apoyo Metodológico a Laboratorios de Análisis de suelos, aguas, vegetales y enmiendas orgánicas.
- Sánchez A, Gabarrell X, Artola A, Barrena R, Colón J, Font X y Komilis D. (2016). Composting of wastes. In M. J. Taherzadeh & T. Richards (Eds.), *Resource recovery to approach zero municipal waste* (pp. 77-106). Boca Ratón, Florida, United States: Taylor and Francis Group.

- Sánchez O J, Ospina D A y Montoya S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management* 69: 136-153.
- Schoumans O, Bouraoui F, Kabbe C, Oenema O y Van Dijk C. (2015). Phosphorus management in Europe in a changing world. *Ambio*, 44(2), 180-192.
- SCyMA y SENASA. (2019). Resolución Conjunta 1/19 - Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina: Retrieved from <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692/texto>
- Serri D L, Sibilia S, Silbert V, Muñoz N B, Bianco M V, Ornela O y Vargas Gil S.(2019). Efecto de la aplicación de Bocashi como bioinsumo mejorador del suelo en la producción del cultivo de frutilla. 1° Congreso Argentino de Agroecología.
- Siebert S y Gilbert J. (2018). Especificaciones para el uso de compost de calidad en medios de cultivo. Red Europea de Compostaje.
- Soto Soriano, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo. Universidad de Valencia
- Thanh T H, Yabar H e Higano Y. (2015). Análisis de los beneficios ambientales de introducir la recuperación de residuos orgánicos municipales en la ciudad de Hanoi, Vietnam. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 185–194.
- Tiquia S. (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*, 79(5), 506-512.
- Tortarolo M F, Pereda M, Palma M y Arrigo N M. (2008). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del suelo*, 26(1), 41-50. Recuperado en 07 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672008000100005&lng=es&tlng=es.
- USDA y USCC. (2001). Test Methods for the Examination of Composting and Compost. USA: Edaphos International.
- Vázquez J, Alvarez Vera M, Iglesias Abad S, Castillo J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>
- Wery N. (2014). Revisión de bioaerosoles de plantas de compostaje. *Fronteras en microbiología celular y de infecciones*, 4.
- Wyngaard Ny Calvo N R. (2019). Avances en la interpretación de análisis de suelo, En Simposio “Fertilidad 2019: Conocer mas, crecer mejor”, Fertilizar. Rosario, Santa Fe, Argentina
- Young B J, Riera N I, Beily M E, Bres P A, Crespo D C y Ronco A E. (2012). Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. *Ecotox Environ Safe*, 76, 182-186. doi: doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.019

7. ANEXO

Anexo 1. Límites y parámetros de calidad.

Tabla 19. Indicadores para determinar estabilidad y madurez de un compost.

Indicadores de estabilidad		
Indicadores		Valor
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. h
	Test Solvita	≥ 5 para 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
Indicadores de madurez		
	Amonio (N-NH ₄ ⁺)	< 400 mg N-NH ₄ / Kg
	Relación amonio: nitrato (N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃ ⁻)	< 0,3
	Índice de germinación utilizando dos especies	> 60% (tyegrass 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 (SCyMA y SENASA, 2019).

Tabla 20. Nivel de Patógenos para determinar la calidad de compost.

Parámetro	Proceso	Valor Límite
I. Coliformes fecales	Sistemas abiertos ≥55°C ,15 días con al menos 5 volteos	< 1000 NPM por gramo de compost, en base seca
II. <i>Salmonella</i> sp.	≥ 55°C, 3 días consecutivos con cobertura que asegure temperatura en la superficie de la pila	< 1 NPM/ 4 gramos de compost, en base seca
III. <i>Ascaris lumbricoides</i>	Sistemas cerrados ≥ 60° , 7 días	< 1 huevo viable de <i>Ascaris</i> en 4 gramos de compost en base seca

NMP – Numero Más Probable

Para los compost donde se puede certificar el proceso se exige que se cumpla con I) ó con II) y no se exige III).

Para el caso de los compost donde no se pueda certificar el proceso se exige que se cumpla con I), II) y III).

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost (SCyMA y SENASA, 2019).

Tabla 21. *Parámetros físico- químicos y elementos potencialmente tóxicos (EPT) para determinar la calidad y clases de compost.*

Parámetro	Compost Clase A	Compost Clase B
pH	5,0- 8,5	
Olores	No debe presentar olores desagradables	
Humedad (H%)	< 60	
Conductividad Eléctrica (CE dS m ⁻¹)	< 4	< 6
Relación C/N (%)	≤ 20	< 30
Materia orgánica (MO %)	≥ 20	
Elementos Potencialmente Tóxicos (mg kg ⁻¹ Materia Seca)		
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 (SCyMA y SENASA, 2019).

Tabla 22. *Cantidad de materiales inertes para determinar la calidad de compost (los materiales inertes deben ser igual o menor a 16 mm).*

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

a) No se permiten materias inertes de un tamaño mayor a 16mm, determinado en su mayor dimensión, en ninguna clase de compost.

b) Para todas las clases de compost, la tolerancia de impurezas de tamaño menor o igual a 16 mm no debe superar los valores indicados en la tabla anterior

Fuente: Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost (SCyMA y SENASA, 2019).