

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS CO-
ESTABILIZADAS CON BIOCARBÓN**

POR

DIEGO ORLANDO CONEJERO URRUTIA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO.**

CHILLÁN – CHILE

2025

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS CO-
ESTABILIZADAS CON BIOCARBÓN**

POR

DIEGO ORLANDO CONEJERO URRUTIA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

CHILLÁN – CHILE

2025

Aprobada por:

Profesor Asociado, Cristina Muñoz V.

Ing. Agrónoma, Dr.

Guía

Profesor Asociado, Marco Sandoval E.

Ing. Agrónomo, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Nelson Zapata S.M.

Ing. Agrónomo, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.

Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo de investigación se enmarca en el proyecto FONDECYT 1210503, financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y métodos.....	5
Resultados y discusión.....	9
Conclusiones.....	15
Referencias.....	15

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Figura 1	Rendimiento de ballica con aplicaciones de diferentes enmiendas	12
Tabla 1	Materiales estabilizados para la elaboración de vermicompost.....	6
Tabla 2	Descripción de los tratamientos.....	8
Tabla 3	Análisis químico del vermicompost.....	9 -10
Tabla 4	Análisis químico de bocashi y compost.....	10
Tabla 5	Rendimiento de la ballica (g MS por maceta) utilizando vermicompost.....	11
Tabla 6	Rendimiento de ballica (g MS por maceta) utilizando compost y bocashi.....	11
Tabla 7	Contenidos de C, N y relación C/N de las enmiendas.....	14

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS CO-ESTABILIZADAS CON BIOCARBÓN

AGRONOMIC EVALUATION OF ORGANIC AMENDMENTS CO-STABILIZED WITH BIOCHAR

Palabras índice adicionales: Agricultura sostenible, fertilidad de suelo, biodisponibilidad.

RESUMEN

En la agricultura existen prácticas altamente extractivas afectando la calidad de los suelos. La disminución de la fertilidad de suelo y aumento en el uso de fertilizantes y agroquímicos impacta en el balance de nutrientes del suelo, contaminación ambiental y la pérdida de biodiversidad con consecuencia en la productividad agrícola-ganadera. La incorporación de enmiendas orgánicas al suelo aumenta la materia orgánica y la fertilidad natural lo que permite recuperar suelos degradados, reutilizando desechos orgánicos de origen animal y/o vegetal, lo que fomenta las prácticas sostenibles y a la mitigación del cambio climático. Esta investigación planteó la evaluación agronómica de enmiendas orgánicas tales como vermicompost, Bocashi y compost solas y co-estabilizadas con biocarbón (BC) sobre su efecto en el rendimiento. Para esto en una cámara de crecimiento, se sembró Ballica (*Lolium perenne* L.) variedad Nui en macetas con sustrato inerte de arena-perlita y las enmiendas. Después de 45 días se cortó el follaje, parcializado cada 15 días, se determinó el rendimiento en base a materia seca producida. Los tratamientos utilizando bocashi con BC de poda de cerezos y vermicompost con BC de residuos de gallinaza aumentaron el rendimiento.

SUMMARY

In agriculture, there are highly extractive practices affecting soil quality. The decrease in soil fertility and the increase in the use of fertilizers and agrochemicals impact the nutrient balance of the soil, environmental contamination, and the loss of

biodiversity, with consequences for agricultural and livestock productivity. The incorporation of organic amendments into the soil increases organic matter and natural fertility, which allows for the recovery of degraded soils by reusing organic waste of animal and/or plant origin. This promotes sustainable practices and helps mitigate climate change. This research aimed to evaluate the agronomic effects of organic amendments such as vermicompost, Bocashi, and compost, alone and co-stabilized with biochar (BC), on yield. For this, ryegrass (*Lolium perenne* L.) Nui variety was planted in a growth chamber in pots with an inert sand-perlite substrate and amendments. After 45 days, the foliage was cut, divided every 15 days, and yield was determined based on dry matter produced. Treatments using Bocashi with cherry pruning BC and vermicompost with poultry litter BC increased yield.

INTRODUCCION

La agricultura actualmente enfrenta escenarios y desafíos importantes, los suelos agrícolas están presentando efectos nocivos por las constantes malas prácticas, desbalance en el uso de fertilizantes, plaguicidas, entre otros (Cotrina-Cabello *et al.*, 2020).

La intensificación agrícola ha tenido un aumento productivo permitiendo cubrir parte de las necesidades alimentarias del mundo; sin embargo, han generado consecuencias que impactan a la sociedad y al medioambiente (FAO, 2018).

El uso de fertilizantes inorgánicos genera un aumento en la emisión de gases nitrogenados, además de acidificación del suelo, entre otras problemáticas (Kang *et al.*, 2022), entendiéndose que un suelo contaminado es aquel que está en presencia de un químico y/o sustancia fuera de sitio o presente en una concentración que genera efectos adversos para los demás organismos (Pennock y McKenzie, 2015).

El desaprovechamiento de los residuos orgánicos es una problemática ambiental, social y política (Sharma y Garg, 2018). Por lo que es importante la transición hacia procesos sustentables, con una correcta gestión en los desechos orgánicos (Huang *et al.*, 2021).

La agricultura sustentable se enfoca en la producción de alimentos con una gestión de los recursos naturales que preserven las funciones de los ecosistemas

(FAO, 2018); por ello, se plantea la necesidad de implementar estrategias productivas que sean más eficientes con el uso de los recursos y sean un aporte en la recuperación de suelos degradados (Cotrina-Cabello *et al.*, 2020). Por ejemplo, revalorizar desechos agrícolas a través de las enmiendas orgánicas, para su uso como abono con un impacto positivo en la microbiota del suelo y las características físicas, químicas y biológicas (Vejan *et al.*, 2021; Medina *et al.*, 2021) para que se logre disminuir el deterioro ambiental, social y económico generado por la producción altamente extractiva e intensiva desarrollada en las últimas décadas (FAO, 2018).

Las enmiendas orgánicas resultan ser una estrategia para mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo con impacto positivo a nivel general en el medio ambiente (Murillo-Montoya, 2020). Las enmiendas orgánicas son una manera de revalorizar los desechos agrícolas generando un impacto social y económico en el manejo de desechos, el correcto uso de técnicas de estabilización e incorporación aporta actividad microbiológica al suelo para la captura de C y N impactando positivamente al ambiente y mejorar la estructura edáfica del suelo (Kang *et al.*, 2022; Sarmiento *et al.*, 2019).

El vermicompost es una enmienda orgánica que se obtiene mediante un proceso aeróbico de estabilización de residuos orgánicos impulsado por lombrices epigeas *Eisenia fetida S.*, *Eisenia andrei S.* y *Lumbricus rubellus H.* el que aplicado en el suelo potencia las propiedades de interés agronómico, generando la recuperación de la materia orgánica del suelo (Sanchez-Hernandez *et al.*, 2020; Yattoo *et al.*, 2021).

El compost es una técnica común para el tratamiento de desechos sólidos orgánicos de distintas fuentes, es un proceso aeróbico de estabilización o degradación de la materia orgánica para el uso como abono orgánico (Guoliang *et al.*, 2023).

El bocashi es un abono orgánico de origen japonés, utilizado como un mejorador de las características del suelo, siendo un aporte nutricional para cultivos, evita enfermedades asociadas al suelo y aporta materia orgánica (Sarmiento *et al.*, 2019). Se obtiene por la estabilización de la materia orgánica mediante la fermentación de

productos de origen orgánico, el cual mediante el uso de levaduras fomenta la actividad de los microorganismos, produciendo una enmienda con una variada gama de macro y micronutrientes biodisponibles para el uso como abono orgánico (Barrena, 2014).

Otro material evaluado recientemente es el biocarbón (BC), el cual ha mostrado beneficios en su aplicación como enmienda (Villanueva *et al.*, 2020; Ginebra *et al.*, 2022).

El BC se produce mediante el proceso de pirólisis, puede ser en base a diferentes materias primas orgánicas, como por ejemplo, restos de poda, desechos orgánicos vegetales y animales, etc. Mejora propiedades tales como pH, contenido de nutrientes, capacidad de retención de agua, aporte de enzimas al suelo, también beneficios ambientales para la recuperación de suelos degradados, secuestro de C y en la mitigación de emisiones de gases nitrogenados al ambiente (Ginebra *et al.*, 2022; Medina *et al.*, 2021; Nath *et al.*, 2022). Sus propiedades dependerán del tipo de materia prima utilizada para generar el BC (Medina *et al.*, 2021). El BC derivado de estiércol puede ser un agente encalador y además aporta nutrientes tales como P, K, Ca y Mg al suelo; por el contrario, los biocarbón derivados de materiales leñosos, poseen mayor capacidad de almacenamiento de carbono en los suelos comparado con los derivados del estiércol (Ginebra *et al.*, 2022). Se espera que la actividad microbiológica de un compostaje y vermicompost sea beneficiada al interactuar con el BC; ya que ha sido reportado por Sánchez-Monedero *et al.* (2018), quienes indican que el BC genera sinergia entre la materia orgánica, nutrientes y biomasa microbiana del compostaje. Por estas razones, se propone como una alternativa viable para la productividad agrícola aportando además con la mitigación del cambio climático, debido a que tiene la capacidad de retener carbono en el suelo y la mitigación de las emisiones de N₂O generada por los suelos agrícolas (Ginebra *et al.*, 2022).

Se planteó como objetivo incorporar enmiendas orgánicas solas y co-estabilizadas con biocarbón a un sustrato inerte para determinar diferencias en la productividad de una especie forrajera, mediante la comparación del rendimiento en base a materia seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue separado en dos etapas, en la etapa 1 se elaboran las enmiendas, describiendo los materiales orgánicos y la técnica empleada en la elaboración y en la etapa 2 se realizó su evaluación agronómica.

Etapas 1. Generación de enmiendas orgánicas.

Biocarbón (BC). De acuerdo a las distintas materias primas disponibles en campo, desechos vegetales como también desechos animales, se obtuvieron diferentes tipos de biocarbón. Es así como para la elaboración del vermicompost el biocarbón usado fue elaborado a partir de diferentes desechos orgánicos tales como, aserrín de pino (BC pino), estiércol de cerdo (BC cerdo) y guano de ave (BC ave), estos fueron elaborados en laboratorio. Se dispusieron las materias primas en un horno y mediante el proceso de pirólisis (descomposición de materias orgánicas mediante el uso de altas temperaturas y ausencia de oxígeno), a una temperatura máxima de 500 °C por dos horas obteniéndose un material particulado, el cual posterior a su enfriamiento fue tamizado a 2 mm.

Para la preparación del bocashi y del compost, se produjo un BC proveniente de residuos de poda de cerezo y matorrales (BC de poda); siendo pirolizado en un horno abierto tipo Kon-tiki (Cornelissen, 2023) o conocidos como hornos con cortina de llamas, el cual estaba en el mismo campo.

Vermicompost. La elaboración de vermicompost se realizó a nivel de mesocosmo utilizando recipientes plásticos de 5 L, utilizando desechos como el bagazo de uva negra, lombrices rojas californianas de la especie *Eisenia fétida* y en algunos casos biocarbón. Los tratamientos están descritos en la Tabla 1.

Bocashi. La elaboración del bocashi se realizó en campo y consistió en la formación de 2 pilas (acumulación de materiales en un espacio determinado), los materiales utilizados fueron 300 kg de guano de oveja, bocashi antiguo 300 kg y afrecho 125 kg; se adicionaron 20 L de una solución que contiene inóculos de microorganismos, basada en una mezcla de 250 g de levadura, 10 L de suero de leche, 4 L de melaza y 166 L de agua. Solo en una pila de bocashi se aplicó 50 kg de BC de poda. Cada uno de estos materiales fueron añadidos y mezclados con la ayuda de la pala de un tractor pequeño de 15 Hp. El procedimiento consta en homogenizar cada una de las

pilas de material mediante acción mecánica, quedando dos pilas con una altura de 1,5 m aproximadamente, posterior a esto se aplica agua para iniciar los procesos de actividad microbiológica, luego se deja tapado con nylon. Es importante considerar el monitoreo de temperatura y volteo del material de manera permanente, procurando que no supere los 50 °C en el centro de la pila, ya que podría afectar la acción y vida de los microorganismos responsables de los procesos fisicoquímicos.

Tabla 1. Materiales estabilizados para la elaboración de vermicompost.

Tratamientos	Descripción	Contenido
B	Bagazo	3 kg de bagazo de uva negra.
B + L	Bagazo + lombrices	3 kg de bagazo de uva negra + lombrices.
B + L + BC	Bagazo + lombrices + BC Pino	2,94 kg de bagazo + lombrices + 60 g de BC de aserrín de pino.
B + L + BC	Bagazo+ lombrices +BC Cerdo	2,94 kg de bagazo + lombrices + 60 g de BC de estiércol de cerdo.
B + L + BC	Bagazo + lombrices + BC ave	2,94 kg de bagazo + lombrices + 60 g de BC de guano de ave.

Compost. Se establecieron dos tipos de compost, siendo distintos solamente debido a la presencia y ausencia de BC de poda. En una superficie de 1 m² de suelo picado, los elementos utilizados se dispusieron de manera vertical siendo distinto el volumen de cada uno de ellos. Se utilizó el guano de oveja (5 cm), material vegetal verde (10 cm), materia vegetal seca (10 cm), guano de oveja (5 cm), biocarbón 12,5 kg, materia vegetal verde (10 cm), materia vegetal verde (10 cm), guano de oveja (5 cm), biocarbón 12,5 kg, materia vegetal verde (10 cm), materia vegetal seca (10 cm), finalmente tapamos con el suelo de la propia excavación. El material verde corresponde a desechos de hojas y tallos de zapallo italiano (cultivado en el mismo predio) y el material seco corresponde a fardos de pastos principalmente de gramíneas.

Etapla 2. Evaluación agronómica de las enmiendas orgánicas.

Se determinó la productividad de Ballica perenne (*Lolium perenne* L.) variedad Nui, utilizando como única fuente de nutrientes las enmiendas orgánicas. Esta especie forrajera está presente en la alimentación animal en Chile sobre todo en sistemas pastoriles, está presente en praderas monofíticas y polifíticas. Para el establecimiento de una pastura de deben considerar varias labores, dentro de las más importantes está la preparación de suelo, corrección de los parámetros de acidez y fertilidad. Se estima que el rendimiento de la ballica depende de la zona agroecológica, longevidad de la pastura, fertilidad de suelo, disponibilidad de agua, nutrición y el manejo del pastoreo, se menciona que a un pH 6,0 la pastura podría estabilizarse y sin problemas podría superar un rendimiento de 16 Ton de MS/ha (Demanet, 2019).

Se dispusieron 40 macetas cilíndricas de 14 cm de alto y 8 cm de diámetro externo teniendo un área aproximada de 0,0048m², en cada una de las macetas llenamos con sustrato la cual corresponde a una mezcla de arena y perlita (2:1 v/v), con un peso aproximado de 600 g de mezcla, la arena corresponde a arena ferretera previamente lavada en repetidas ocasiones para eliminar los minerales, sedimentos, etc. y la perlita corresponde a silicato amorfo de aluminio sodio potasio elaborado y distribuido por IMERYS CHILE SPA. A la mezcla se le adicionó cada una de las enmiendas orgánicas elaboradas en la Etapa 1 con una dosis de 2% (p/p), lo que corresponde a 12 g de enmienda por cada maceta. Después de tener la mezcla de arena-perlita y las enmiendas orgánicas incorporadas en las macetas, se procedió a sembrar 1 g de semilla de ballica correspondiente 400 semillas aproximadamente, las semillas presentan una tasa de germinación del 94 %; la dosis de semilla recomendada para una pradera perenne es de 25 kg ha⁻¹ (Demanet, 2019).

Las macetas se mantuvieron en una cámara de crecimiento (Biobase, modelo BJPX-L400, China), las cuales fueron rotadas cada 3 días de manera aleatoria. La temperatura se mantuvo entre 18-22 °C, la humedad se mantuvo constante entre el 30 a 60 % ya que se regaba diariamente y la cámara posee ventiladores y extractores para el flujo de aire, la variación de luz fue de 14 horas de luz y 10 horas

de oscuridad. El riego fluctuaba entre los 20 a 40 ml de agua destilada diaria a pH 6,0 para mantener humedad ambiental y suelo a capacidad de campo.

Para definir el aporte de las enmiendas se determinó la materia seca por cada maceta, realizando 3 cortes en intervalos de tiempo de 15 días post emergencia. Los cortes son realizados con tijeras, procurando dejar entre 5-7 cm de rezago desde la base. Las muestras fueron secadas a 50 °C en un horno de aire forzado durante 24 horas. Una vez que la muestra se enfría, en una balanza se mide la materia seca (MS). A continuación, se describen los tratamientos.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Abreviación
T0	Solo sustrato (Control)	Control
T1	Sustrato + bagazo	B
T2	Sustrato + bagazo + lombrices	B + L
T3	Sust + bagazo + lombrices + biocarbón pino	B+L+ BCp
T4	Sust + bagazo + lombrices + biocarbón cerdo	B + L + BCc
T5	Sust + bagazo + lombrices + biocarbón ave	B + L + BCa
T6	Sustrato + Bocashi	Bo
T7	Sustrato + bocashi + biocarbón poda	Bo + BCpoda
T8	Sustrato + compost	C
T9	Sustrato + compost + biocarbón poda	C + BCpoda

Caracterización química. Todos los tratamientos fueron analizados en sus propiedades químicas de acuerdo con la metodología entregada por Sadzawka *et al.* (2006) en el Laboratorio de Servicios del Departamento de Suelos y Recursos Naturales de la Universidad de Concepción.

Análisis estadístico. El experimento fue desarrollado mediante un diseño completamente al azar, con un total de 10 tratamientos, 4 repeticiones y 40 unidades experimentales, los cuales constan de diferentes aplicaciones de enmiendas orgánicas, en un sustrato inerte (arena) comparando la producción de materia seca

como principal indicador para establecer diferencias en el aporte nutricional y condiciones de cada una de las enmiendas utilizadas.

Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico Infostat, los cuales mediante análisis de la varianza se comparan las medias y así determinar cuáles datos son significativamente diferentes por medio del análisis de Tukey ($P \leq 0,05$). Además, se determinó la relación del rendimiento con los niveles de C total, N total y la relación C/N.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química de las enmiendas

En general el análisis químico nos demuestra que el vermicompost aporta una amplia gama de macro y micronutrientes, un alto porcentaje de materia orgánica (entre 65 a 90%) y el pH es ligeramente ácido entre 5 y 6. Es una enmienda orgánica que contiene diversos nutrientes, se destaca el aporte de N disponible y la proporción de C total. Importante mencionar algunas diferencias del vermicompost co-estabilizados con biocarbón, donde se aprecia que el BC ave proporciona niveles de Ca superior a las demás y el BC pino un mayor porcentaje de N disponible. También es importante mencionar que la relación C/N es similar entre todos.

Tabla 3. Análisis químico del vermicompost.

Parámetros	Unidad	B	B + L	B + L + BCp	B + L + BCc	B + L + BCa
Nitrato	mg kg ⁻¹	291,9	1325,6	1539,6	555,8	734,1
Amonio	mg kg ⁻¹	62,7	85,1	72,7	60,2	50,3
Av. N	mg kg ⁻¹	354,6	1410,7	1612,3	616	784,4
Av. P	g kg ⁻¹	3,4	3,6	2,8	11,4	8,3
Av. K	g kg ⁻¹	26,6	22,1	18,4	18,7	18,0
Av. Ca	g kg ⁻¹	7,3	7,7	6,5	13,4	74,1
Av. Mg	g kg ⁻¹	2,4	2,3	1,9	4,7	3,4
Mn	mg kg ⁻¹	42	105	108	273	22
Cu	mg kg ⁻¹	52	48	39	88	53
B	mg kg ⁻¹	30	41	32	48	37

BCp= Biocarbón de residuos de pino; BCc = Biocarbón de estiércol de cerdo; BCa = Biocarbón de guano de ave.

Tabla 3 (cont.). Análisis químico del vermicompost.

Parámetros	Unidad	B	B + L	B + L + BCp	B + L + BCc	B + L + BCa
Humedad	%	69,3	69,2	68,1	65,4	62,9
BH						
pH (1:5)	--	5,5	5,0	4,92	5,76	6,6
Materia	%	90,7	84,9	85,9	78,4	65,6
Orgánica						
C total	%	46,6	43,6	48,4	42,7	35
N Total	%	3,6	3,7	3,3	3,7	2,9
Relación	-	13,1	11,7	14,6	11,7	11,9
C/N						

BCp= Biocarbón de residuos de pino; BCc = Biocarbón de estiércol de cerdo; BCa = Biocarbón de guano de ave.

Tabla 4. Análisis químico de bocashi y compost.

Parámetro	Unidad	B	B+ BCpoda	C	C + BC poda
Nitrato	mg kg ⁻¹	11,5	18,10	163,6	368,8
Amonio	mg kg ⁻¹	540,5	538,20	85,4	62,4
Av. N	mg kg ⁻¹	552	556,30	249	431,2
Av. P	g kg ⁻¹	3,06	4,37	8,74	5,24
Av. K	g kg ⁻¹	-	-	13,03	10,54
Av. Ca	g kg ⁻¹	4,40	6,07	23,52	18,02
Av. Mg	g kg ⁻¹	2,05	2,7	5,50	5,00
pH (1:5)	--	7,51	5,03	8,04	8,01
Materia	%	30,25	84,99	31,19	33,63
Orgánica					
C Total	%	10,75	11,63	13,08	15,68
N Total	%	0,90	0,95	0,97	1,13
Relación	--	11,88	12,20	13,50	13,85
C/N					

B=Bocashi; C= compost

Rendimiento. En la Tabla 5 y 6 se muestra el rendimiento en materia seca de la ballica en cada uno de los tres cortes.

Tabla 5. Rendimiento de la ballica (g MS por maceta⁻¹) utilizando vermicompost.

Tratamientos	1er corte	2do corte	3er corte	Total
Control	0,98ab	0,28b	0,18b	1,43 b
B	1,38ab	0,68ab	0,68a	2,73 a
B + L	1,35ab	0,65ab	0,63ab	2,63 a
B + L + BC pino	0,85b	0,83a	0,53ab	2,20 ab
B + L + BC cerdo	1,43ab	0,85a	0,58ab	2,85 a
B + L + BC ave	1,55a	0,78a	0,8a	3,13 a

B= Bagazo; L = Lombriz. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en cada tratamiento durante las diferentes fechas de muestreo. Según análisis de Tukey ($p \leq 0,05$). Media \pm desviación estándar (n = 4).

Utilizando vermicompost, el rendimiento total de la ballica fue distinto entre tratamientos, observándose que los tratamientos de B, B + L, B+L+BC cerdo y B+L+BC ave presentaron diferencias significativas con el control; sin embargo, cabe mencionar que en los 3 cortes se obtuvo mayor rendimiento utilizando B + L + BC ave. El menor rendimiento fue al utilizar B + L + BC pino, lo que se podría atribuir a que posee un pH inferior a 5 (Tabla 3), sabiendo que un pH cercano a 6 es el óptimo para la especie estudiada.

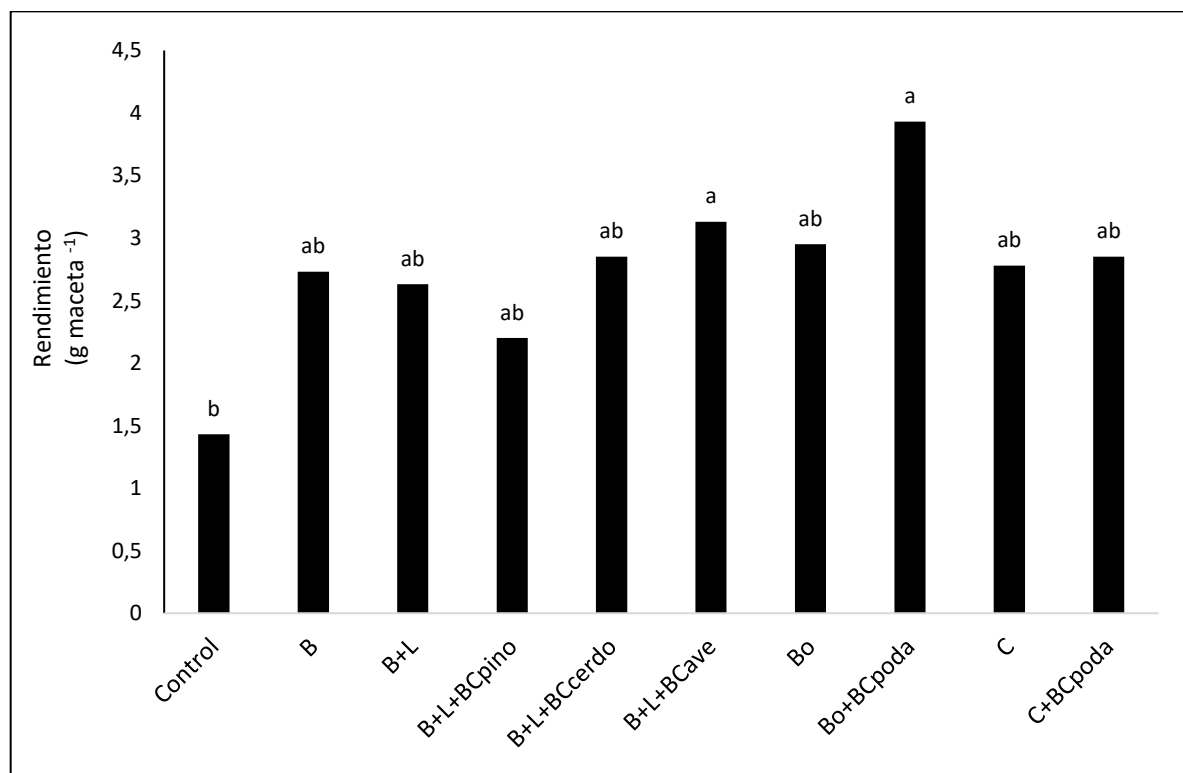
Tabla 6. Rendimiento de ballica (g MS por maceta⁻¹) utilizando compost y bocashi.

Tratamientos	1er corte	2do corte	3er corte	Total
Control	0,98c	0,28b	0,18a	1,43 c
Bo	1,40bc	0,98a	0,58a	2,95 b
Bo + BC poda	2,23a	1,23a	0,48a	3,93 a
C	1,45bc	0,95a	0,38a	2,78 b
C + BC poda	1,58b	0,85a	0,43a	2,85 b

Bo = Bocashi; C = Compost. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en cada tratamiento durante las diferentes fechas de muestreo. Según test Tukey ($p \leq 0,05$). Media \pm desviación estándar (n = 4).

El rendimiento total de la ballica al utilizar las enmiendas compost y bocashi con y sin biocarbón fueron significativamente mayor al control. El rendimiento obtenido con bocashi + BC poda fue 2,7 veces superior al control y presentó diferencias significativas con las demás enmiendas. Esto se podría atribuir a las diferencias en el pH, el cual fue cercano a 6 y al mayor % de materia orgánica aportado el cual es cercano al 85% (Tabla 4). Se observa que el rendimiento fue disminuyendo de manera gradual, incluso en el corte 3 no se presentaron diferencias significativas entre ningún tratamiento.

Figura 1. Rendimiento de ballica con aplicaciones de diferentes enmiendas.



B = Bagazo; L = Lombriz; Bo = Bocashi; C = Compost; BC = Biocarbón. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en cada tratamiento.

La producción de biomasa seca que observamos es 45 días post-emergencia, por eso hay que destacar que se analiza principalmente la implementación de la pastura sembrada, en condiciones controladas (Temperatura, humedad, horas luz), por lo tanto, podemos comprobar que al aplicar estas enmiendas en el establecimiento de

la pastura aporta a convertir un suelo inerte a uno con aptitudes que potencia el rendimiento.

El rendimiento fue revisado de distinta manera según la enmienda, específicamente por la técnica de estabilización y por la materia prima utilizada para elaborar el biocarbón.

Al utilizar enmiendas orgánicas se determinó que la producción de materia seca fue distinta entre los tratamientos utilizados, dentro de los cuales se destacan el vermicompost co-estabilizado con biocarbón de ave con un rendimiento de 3,13 gramos maceta⁻¹ y por otra parte el uso de bocashi co-estabilizado con biocarbón de poda con un rendimiento de 3,93 gramos maceta⁻¹ en los primeros 45 días post-emergencia de ballica.

Estas enmiendas orgánicas son buenas opciones para incorporar al suelo con una dosis del 2% al momento de implementar una pastura y potenciar la producción de biomasa en los primeros 45 días post emergencia. El biocarbón forma parte de esta enmienda por lo tanto se podría decir que es un agente que potencia a la enmienda y por consecuencia al cultivo en el que se aplicó.

Importante mencionar que, los análisis nutricionales demuestran que el mejor rendimiento no se relaciona directamente con el mayor aporte de macro y micronutrientes, sino más bien con las condiciones de pH y materia orgánica. Dentro de los factores que influyen en las propiedades de las enmiendas orgánicas podemos encontrar los niveles de carbono total, nitrógeno total y la relación C/N, siendo indicadores de la estabilización de la materia orgánica. (Ginebra *et al.*, 2022). Dentro de los análisis de C y N totales el vermicompost en base a B + L + BC pino presenta mayor contenido de C, esto se debe a que el BC proviene de material leñoso (Ginebra *et al.*, 2022) además, el bagazo compostado alcanzó valores similares de C total. Por el contrario, en el caso del bocashi y el compost solo y con BC se obtuvieron los menores niveles de C total.

El contenido de N total fue superior en el vermicompost en base a B + L + BC cerdo y menor en bocashi y compost, con y sin BC. El estiércol estabilizado en forma de BC fomenta el secuestro de C y podría reducir las emisiones de óxido nitroso; sin embargo, esto dependerá de la materia prima utilizada (Medina *et al.*, 2021).

Hirzel y Salazar (2016) presentaron un rango referencial de la relación C/N para el compost de 12-30 y para el vermicompost (humus de lombriz) de 20-28 y la repercusión en la estabilización de N; siendo en este caso valores entre 11,7-14,6, además de dosis referenciales de enmiendas en función del N. Por lo tanto, en estas enmiendas se podría indicar un mayor nivel de estabilización y biodisponibilidad de macro y micro nutrientes (Jiang et al., 2011).

Tabla 7. Contenidos de C, N y relación C/N de las enmiendas.

Enmiendas	C total	N total	C/N
B	46,6 ab	3,56 ab	13,1 bcd
B + L	43,65 bc	3,74 a	11,69 e
B + L + BC pino	48,4 a	3,33 b	14,55 a
B + L + BC cerdo	42,73 c	3,66 a	11,69 e
B + L + BC ave	35 d	2,94 c	11,97 de
Bo	10,75 f	0,9 d	11,88 de
Bo + BC poda	11,63 f	0,95 d	12,2 cde
C	13,08 ef	0,97 d	13,5 abc
C + BC poda	15,68 e	1,13 d	13,85 ab

B= Bagazo; L = Lombriz; Bo = Bocashi; C = Compost. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en cada tratamiento durante las diferentes fechas de muestreo. Según test Tukey ($P \leq 0,05$). Media \pm desviación estándar ($n = 4$).

El uso de enmiendas orgánicas es para aportar materia orgánica al suelo y de esa manera a través de distintos procesos de mineralización generar biodisponibilidad de nutrientes. Además de mejorar los niveles de pH del suelo, retención de humedad y aporte de enzimas. En cuanto a rendimiento el uso de enmiendas al 2% es posiblemente un bajo aporte de materia orgánica considerando que utilizamos un sustrato inerte, por lo cual se genera un bajo aporte nutricional al suelo y por consecuencia un bajo rendimiento de la pastura o al menos alejada del potencial productivo, pero se estima que las enmiendas orgánicas generan un efecto residual en el suelo siendo un aporte de vida al suelo incluso hasta la próxima temporada (Hirzel y Salazar, 2016).

El uso de la fertilización convencional acerca el rendimiento al potencial productivo, esto se debe a que se encuentra de manera inorgánica y disponible de manera inmediata (Ovalle *et al.*, 2021), a diferencia de las enmiendas que su aporte principalmente es de manera orgánica y que por ende se debe generar una mineralización y transformarse a una forma inorgánica biodisponible (Vejan *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Los tratamientos de bagazo solo, vermicompost de bagazo, vermicompost con BC cerdo y vermicompost con BC ave incrementaron el rendimiento de la ballica.

El bocashi con BC poda fue el que obtuvo mayor rendimiento superando 2,7 veces al control.

De todos los tratamientos los que presentaron mayores rendimientos fueron el bagazo con lombriz y BC ave, y el bocashi con BC poda, demostrando que el BC potencia los beneficios en ambos tipos de bioestabilizados.

El vermicompost de bagazo de uva con biocarbón de pino y el bagazo estabilizado aumentan los contenidos de carbono en el sustrato inerte.

REFERENCIAS

1. Barbaro, L., M. Karlanian, P. Rizzo y N. Riera. 2019. Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chil. j. Agric. Anim. Sci.* 35 (2): 126-136.
2. Barrena, R., X. Font, X. Gabarrell, A. Sanchez. 2014. Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *WM.* 34 (7): 1109-1116.
3. Christel, D. 2017. The use of bokashi as a soil fertility amendment in organic spinach cultivation. Tesis doctoral. Master en ciencias especialidad en ciencias vegetales y del suelo. Universidad de Vermont, Estados Unidos.
4. Cotrina-Cabello, V.R., I.W. Alejos-Patiño, G.G. Cotrina-Cabello, P. Córdova-Mendoza y I.C. Córdova-Barrios. 2020. Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. *Centro Agrícola*, 47(2): 31-40.
5. Demanet Filippi, R. 2019. Manual de especies forrajeras (3a. ed.). Watts. S.A. Universidad de la Frontera. Santiago. Chile.

6. Domínguez, J., J.C. Sanchez y M. Lores. 2017. Vermicomposting of wine-making products Handbook of grape processing by-products: sustainable solutions. 55–78.
7. Cornelissen, G., E. Sormo, R.K. Anaya de la Rosa y B. Ladd. 2023. Flame curtain kilns produce biochar from dry biomass with minimal methane emissions. *Sci. Total Environ.* 903: 166547.
8. FAO. 2018. Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS. Organización de las naciones para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia.
9. Ginebra, M., C. Muñoz, R. Calvelo-Pereira, M. Doussoulin y E. Zagal. 2022. Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: A field experiment. *Sci. Total Environ.* 806 (2): 150465.
10. Hirzel J., y F. Salazar. 2016. Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. Boletín INIA N°325. Centro regional de investigación Quilamapu. Instituto de investigaciones agropecuarias. Ministerio de agricultura. Chillán.
11. Huang, S., X. Zheng, L. Luo, Y. Ni, L. Yao and W. Ni. 2021. Biostimulants in bioconversion compost of organic waste: A novel booster in sustainable agriculture. *J. Clean. Prod.* 319: 128704.
12. Jiang, T., F. Schuchardt, G. Li, R. Guo and Y. Zhao. 2011. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *J. Environ. Sci.* 23(10): 1754-1760.
13. Kang, Y.G., J.H. Lee, J.H. Chun, Y.U. Yun, A.A. Hatamleh, M.A. Al-Dosary, Y. A. Al-Wasel, K. S. Lee and T. K. Oh. 2022. Influence of individual and co-application of organic and inorganic fertilizer on NH₃ volatilization and soil quality. *J. King Saud. Univ. Sci.* 34(5): 102068.
14. Liu, G., Y. Yang, R. Ma, J. Jiang, G. Li, J. Wang, D. Wuyun and J. Yuan. 2023. Thermophilic compost inoculating promoted the maturity and mature compost inoculating reduced the gaseous emissions during co-composting of kitchen waste and pig manure. *Environ. Technol. Innov.* 32: 103427.
15. Medina, J., M. Calabi-Floody, H. Aponte, C. Santander, M. Paneque, S. Meier, M. Panettieri, P. Cornejo, F. Borie y B. Heike. 2021. Utilization of inorganic nanoparticles and biochar as additives of agricultural waste composting: effects of end-products on plant growth, c and nutrient stock in soils from a mediterranean region. *Agronomy* 11 (4):767.

16. Mendivil, C., E. Nava-Perez, A.D. Armenta-Bojórquez, R.D. Ruelas-Ayala and J.A. Felix-Herrán. 2020. Elaboration of an organic fertilizer type bocashi and its evaluation on germination and growth of radish. *Biotecnia* 22 (1): 17-23.
17. Murillo, S.A, A. Mendoza and C.J Fadul. 2020. The importance of organic amendments in soil conservation and agricultural production. *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales* 7(1): 58-68.
18. Nath H., B. Sarkar, S. Mitra and S. Bhaladhare. 2022. Biochar from Biomass: A Review on Biochar Preparation Its Modification and Impact on Soil Including Soil Microbiology. *Geomicrobiol. J.* 39 (3-5): 373-388.
19. Ovalle M. y C. Quiroz. 2021. Manual de prácticas agrícolas para una agricultura sustentable. Boletín INIA N°426. Instituto de investigaciones agropecuarias. Centro regional de investigación INIA La Cruz. Chile.
20. Peralta, N., G. Bernardo de Freitas, M. Watthier y R. H. Silva. 2019. Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia.* 37(2): 59-66.
21. Pennock, D. y N. McKenzie. 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo - Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo.
22. Rojas, A. R, A. Hernández, W. Ayala, S. I. Mendoza, S.J. Cancino, H. Vaquera y M.A. Santiago. 2016. Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.* 48(2): 57-68.
23. Sadzawka, A., M. Carrasco, R. Grez, M. Mora, H. Flores, A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Serie actas INIA N°34. Instituto de investigaciones agropecuarias. Chile.
24. Sánchez-Monedero, M. A., M. Cayuela, A. Roig, K. Jindo, C. Mondini, N. Bolan. 2018. Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresour. Technol.* 247: 1155-1164.
25. Sarmiento, G. J., M. A. Amézquita y L. M. Mena. 2019. Use of bocashi and effective microorganisms as an ecological alternative in strawberry crops in arid zones. *Sci. Agropecu.* 10(1): 55-61.
26. Sharma, K., V. K. Garg. 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresour. Technol.* 250: 708–715.

27. Subedi, R., N. Taupe, S. Pelissetti, L. Petruzzelli, C. Bertora, J. J. Leahy and C. Grignani. 2015. Greenhouse gas emissions and soil properties following amendment with manure-derived biochars: Influence of pyrolysis temperature and feedstock type. *JEM* 166: 73-83.
28. Vasquez, P. y M. Vignolles. 2015. Establecimiento agroproductivo ecológico vs. Agricultura convencional: Partido de Tandil, provincia de Buenos Aires. *Soc. Nat.* 27(2): 267-280.
29. Vejan, P., T. Khadiran, R. Abdullah, N. Ahmad. 2021. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. *JCR* 339: 321–334.
30. Villanueva, N. y R. Villanueva. 2020. El biochar como enmienda para suelos agrícolas: Propiedades y efectos; Revisión Sistemática. Tesis de grado, Ingeniería ambiental. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
31. Yattoo, A. M., M. N. Ali, Z. A. Baba and B. Hassan. 2021. Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41: 7.