



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Efecto de la aplicación de humus de lombriz al suelo sobre el crecimiento de ballica italiana (*Lolium multiflorum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

**Por**

**JOSEFA PAZ TAPIA CONTRERAS**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**presentada a la Universidad de Talca como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TALCA, 2019**



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Efecto de la aplicación de humus de lombriz al suelo sobre el crecimiento de ballica italiana (*Lolium multiflorum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

**Por**

**JOSEFA PAZ TAPIA CONTRERAS**

**MEMORIA DE TITULO**

**presentada a la Universidad de Talca como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TALCA, 2019**

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



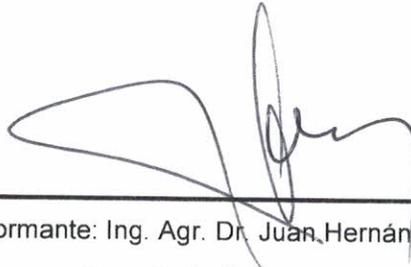
Talca, 2019

Aprobación:

*Ricardo Cabeza*

---

Profesor Guía: Ing. Agr. Dr. Ricardo Alfonso Cabeza Pérez  
Escuela de Agronomía  
Facultad de Ciencias Agrarias



---

Profesor Informante: Ing. Agr. Dr. Juan Hernán Paillán Legüe  
Escuela de Agronomía  
Facultad de Ciencias Agrarias

Fecha de presentación de Memoria de Título: 16 de mayo, 2019

## AGRADECIMIENTOS

Especialmente a mis padres Andrea Contreras y José Tapia por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, especialmente en estos cinco años de carrera universitaria, a mi hermana Paulina Tapia por el cariño y la energía, a mi madrina Fabiola Contreras por la motivación de seguir adelante y finiquitar esta importante etapa y a mis abuelos Carmen Muñoz y Mario Contreras por su cálida compañía.

Agradezco a mis profesores guías Ricardo Cabeza y Hernán Paillán por su gran apoyo durante la realización de este trabajo, la motivación para seguir adelante y no rendirme frente a algún problema. También es importante mencionar a Carolina Vázquez, Sebastián Gatica, Cinthia Jara y todo el equipo de CTS y C, los cuales fueron de gran ayuda al momento de llevar a cabo los ensayos y realizar la toma de resultados.

A mis compañeros siempre presentes y a la Facultad de Agronomía en general por su ayuda constante.

Finalmente agradecer a todos mis amigos y amigas externos a la Universidad, los cuales siempre estuvieron presente en cada etapa de mi carrera universitaria e inconscientemente hicieron esto posible.

A todos y cada uno de ustedes les doy las Gracias.

Con mucho cariño

Josefa Tapia

## RESUMEN

El humus de lombriz es el resultado de la descomposición y estabilización microbiana de los residuos vegetales mezclados con estiércoles, previamente compostados, y que posteriormente son ingeridos por lombrices que modifican finalmente el material en el tracto digestivo. Esto se realiza con el proceso de vermicompostaje, utilizando para ello la especie de lombriz *Eisenia foetida* (Savigny). Al aplicar humus en el suelo, este aumenta la comunidad bacteriana, mejora la materia orgánica del suelo (MOS) y también las características físicas y químicas de este, tales como, estructura, retención de agua y fertilidad, ente otros. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de humus de lombriz al suelo sobre el crecimiento de ballica italiana (*Lolium multiflorum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.), aplicando dos tamaños de humus, una fracción fina (F1: 0,5-0,05 mm) y otra fracción gruesa (F2: 2-1 mm), y en dosis variables de de 6, 12,5 y 25 g por kg de suelo. Los principales resultados obtenidos indican que dosis crecientes de humus aplicadas al suelo incrementan la materia seca aérea y radical, y a su vez mejora la absorción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en ambas plantas. Por otro lado, fracciones pequeñas de humus de lombriz tienen un mayor efecto sobre el crecimiento de ballica y lechuga, debido a la mayor mineralización del material, lo cual facilita la liberación de nutrientes al suelo.

## ABSTRACT

Vermicompost is the result of the decomposition and microbial stabilization of plant residues mixed with manures, which are previously composted and then, digested by earthworms. This process is achieved by using earthworm *Eisenia foetida* (Savigny). The addition of humus to soils increases the soil microbial activity, enhances soil organic matter (SOM) and also physical and chemical soil parameters, such as structure, water retention and fertility, among others. The main goal of this study was to assess the effect of vermicompost addition to the soil on plant growth of two species: ryegrass (*Lolium multiflorum*) and lettuce (*Lactuca sativa*), by applying two vermicompost particle size fractions (0,5-0.05 mm and 2-1 mm). Furthermore, we evaluated different doses, namely: 6, 12.5 and 25 g per kg of soil. The main results obtained indicated that increasing doses yielded more shoot and root dry matter, and increased the nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) uptake in both plants. On the other hand, small fractions of vermicompost have a greater effect on plant growth, due to a faster mineralization, which ultimately drives the release of nutrients into the soil.

## ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
I. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1 Hipótesis. ....	14
1.2 Objetivo general. ....	14
1.3 Objetivos específicos. ....	14
II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
2.1 Fertilización. ....	15
2.2 Humus de lombriz .....	16
2.2 Efecto de la aplicación de humus al suelo.....	17
2.3 Fertilización química versus fertilización orgánica.....	18
2.4 Ballica italiana .....	19
2.4.1 Descripción botánica y ciclo biológico de la ballica italiana.....	19
2.5 Lechuga .....	19
2.5.1 Descripción botánica y ciclo biológico de la lechuga.....	20
2.5.2 <i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>longifolia</i> (Lam.) Janchen.....	20
2.6 Efecto de la aplicación de humus sobre el crecimiento de ballica y lechuga .....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Ubicación del estudio .....	22
3.2 Incubación de suelo con humus de lombriz.....	22
3.3 Evaluación de la mineralización del humus mediante la determinación de la disponibilidad de nutrientes del suelo .....	23
3.3.1 Determinación de nitrógeno (N) disponible en el suelo.....	24
3.3.2 Determinación de fósforo (P) disponible en el suelo .....	24
3.3.3 Determinación de potasio (K) disponible en el suelo .....	24
3.3.4 Determinación de carbono orgánico del suelo (COS) .....	24
3.3.5 Determinación del pH del suelo y conductividad eléctrica .....	25

3.4 Evaluación de la aplicación de humus al suelo sobre el crecimiento y absorción de nutrientes en ballica y lechuga.....	25
3.4.1 Siembra.....	26
3.4.2. Diseño experimental.....	26
3.4.3 Cosecha.....	27
3.4.4 Determinación de la concentración de nutrientes en la planta.....	27
3.5 Análisis estadístico.....	28
IV. RESULTADOS.....	30
4.1 Incubación de suelo con humus de lombriz.....	30
4.2 Evaluación de la aplicación de humus al suelo sobre el crecimiento y absorción de nutrientes en ballica y lechuga.....	33
V. DISCUSIÓN.....	38
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
VIII. ANEXOS.....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición química presente en el humus de lombriz (Amachuy, 2013).....	17
<b>Cuadro 2.</b> Composición química presente en el humus de lombriz (Amachuy, 2013).....	18
<b>Cuadro 3.</b> Composición química del humus y suelo utilizado. MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica.....	22
<b>Cuadro 4.</b> Dosis y fracciones de humus usadas en las incubaciones con suelo. ....	23
<b>Cuadro 5.</b> Equivalencia de la cantidad de NPK aplicada al suelo según la dosis de humus de lombriz correspondiente.....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Profundidad hipotética de las raíces de las plantas con y sin fertilización a lo largo del tiempo (FAO, 2002).....	16
<b>Figura 2.</b> Línea de tendencia de regresión, en la producción de materia seca al primer corte del <i>Lolium perenne</i> , en estado de prefloración (ton/ha/año) (Viñán, 2008). .....	21
<b>Figura 3.</b> Diseño experimental utilizado en los ensayos de ballica y lechuga. Ambos tenían 4 repeticiones por tratamiento, pero diferían en que en los ensayos de ballica se añadió 7 g de semillas por maceta en forma homogénea y en el caso de la lechuga se transplantaron 2 plantas similares por maceta. Los gramos de humus aplicados corresponden a dosis teóricas de 7,5; 15 y 30 Mg ha <sup>-1</sup> respectivamente.....	27
<b>Figura 4.</b> Variación del N y P disponible luego de la aplicación de dos fracciones de humus en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo. a) N disponible después de la aplicación de humus de tamaño entre 0,5 y 0,05 mm (F1) y b) N disponible en F2 (2-1 mm) de humus; c) P disponible en F1 (0,5 – 0,05 mm) de humus; d) P disponible en la F2 (2-1 mm) de humus.....	30
<b>Figura 5.</b> Variación del K y carbono orgánico (CO) disponible luego de la aplicación de dos fracciones de humus en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo. a) K disponible después de la aplicación de humus de tamaño entre 0,5 y 0,05 mm (F1) y b) K disponible en F2 (2-1 mm) de humus; c) CO disponible en F1 (0,5 – 0,05 mm) de humus; d) CO disponible en la F2 (2-1 mm) de humus. ....	32
<b>Figura 6.</b> Materia seca (MS) producida por ballica y lechuga luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> . a) y b) MS total; c) y d) MS aérea; e) y f) MS radical. *indica diferencias significativas entre ambas fracciones en la misma dosis (test-t con p<0,05). Letras distintas indican diferencias para una misma fracción según la dosis aplicada (ANOVA, p<0,05). Separación de medias por la prueba de Tukey (p<0,05).....	33
<b>Figura 7.</b> Nitrógeno (N) disponible en el suelo y N absorbido por ballica y lechuga, luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> . a) y b) N disponible en el suelo una vez establecido el cultivo; c) y d) N absorbido por la planta hasta el momento de cosecha.*indica diferencias significativas entre ambas fracciones en la misma dosis (test- t con p<0,05). Letras distintas indican diferencias para una misma fracción según la dosis aplicada (ANOVA, p<0,05). Separación de medias por la prueba de Tukey (p<0,05).....	34

**Figura 8.** Fósforo (P) absorbido y disponible para ballica y lechuga luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup>. a) y b) P disponible en el suelo una vez establecido el cultivo; c) y d) P absorbido por la planta hasta el momento de cosecha.\* indica diferencias significativas con valor  $p < 0,05$  entre ambas fracciones en la dosis que corresponda según test-t. Letras distintas indican diferencias entre las fracciones de humus; F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) según ANOVA ( $p < 0,05$ ). El método empleado para discriminar entre las medias fue la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). ..... 36

**Figura 9..** Potasio (K) absorbido y disponible para ballica (izquierda) y lechuga (derecha) luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup>. a-b) K disponible en el suelo una vez establecido el cultivo; c-d) K absorbido por la planta hasta el momento de cosecha.\* indica diferencias significativas con valor  $p < 0,05$  entre ambas fracciones en la dosis que corresponda según test-t. Letras distintas indican diferencias entre las fracciones de humus; F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) según ANOVA ( $p < 0,05$ ). El método empleado para discriminar entre las medias fue la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). ..... 37

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1..</b> Variación del N disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo.....	46
<b>Anexo 2.</b> Variación del P disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo.....	47
<b>Anexo 3.</b> Variación del K disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo.....	48
<b>Anexo 4.</b> Variación del CO disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo <sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo.....	49
<b>Anexo 5.</b> Suministro de N proveniente del suelo y humus de lombriz para la planta y N absorbido por la planta.....	50
<b>Anexo 6.</b> Suministro de P proveniente del suelo y humus de lombriz para la planta y P absorbido por la planta.....	51
<b>Anexo 7.</b> Suministro de K proveniente del suelo y humus de lombriz para la planta y K absorbido por la planta.....	51

## I. INTRODUCCIÓN

Por siglos los abonos orgánicos han sido la base y soporte de la agricultura, demostrando su influencia sobre la fertilidad de los suelos, entregando ventajas que difícilmente se pueden adquirir con los fertilizantes inorgánicos, aunque la composición química, efecto en el suelo y el aporte de nutrientes a los cultivos varían según la edad, manejo, contenido de humedad y procedencia (Romero et al., 2000).

El abono orgánico más conocido en el mercado es el humus de lombriz, el cual es el producto resultante de la descomposición de la materia orgánica por parte de las lombrices. Se puede originar con un sustrato en base a residuos orgánicos ya sean de origen animal o vegetal (Schuldt, 2006).

Este sustrato aporta los nutrientes necesarios para que los cultivos lleven a cabo los procesos de crecimiento y desarrollo, además aporta compuestos orgánicos que hacen a los nutrientes más disponibles para la planta, y entrega resistencia a la fijación y lavado de estos en el suelo (Somarriba y Guzmán, 2004). El humus además posee macro y microelementos encontrados en equilibrio en la concentración de solutos, ayudando a que no ocurra antagonismo por un exceso de alguno de ellos (Schuldt, 2006).

El humus de lombriz posee gran cantidad de elementos solubles orgánicos, como lo son ácidos húmicos, fúlvicos y huminas; que ayudan en la mineralización y la degradación de residuos vegetales (Somarriba y Guzmán, 2004).

Para dar un uso adecuado al humus, es importante conocer su composición química, lo cual ayuda para estimar la cantidad de humus que se debe aplicar para que el cultivo crezca en óptimas condiciones. Para responder estas preguntas, se llevó a cabo un experimento para evaluar el efecto de aplicaciones crecientes de humus de lombriz sobre el crecimiento de ballica italiana (*Lolium multiflorum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.). Para medir el efecto de las dosis de humus, se determinó la materia seca aérea y radical, y la absorción de nutrientes por ambas especies.

Con relación a las especies que se usaron en el experimento se mencionan a continuación, sus características más relevantes. La ballica es una gramínea anual capaz de germinar entre otoño e invierno y florece en primavera. Es de rápido crecimiento erguido, puede llegar a medir entre 40 y 100 cm de alto. Posee aurículas delgadas y abrazadoras, una espiga erecta de 5 a 40 espiguillas, dando de fruto un cariopsis ovoide (INIA, 2017). Se utiliza, principalmente, en praderas para el pastoreo directo de animales, para ensilaje y enilaje. Fue introducida al país con fines forrajeros, y posteriormente se convirtió en la principal maleza de trigos y cereales (INIA, 2017). En relación con la lechuga, esta es una dicotiledónea que pertenece a la familia de las

asteráceas y posee un ciclo anual. Tiene una raíz pivotante corta y con ramificaciones, pudiendo llegar a medir 25 cm de profundidad (Saavedra, 2017). La lechuga posee gran diversidad debido, principalmente, a los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento que pueden presentar, lo cual permite diferenciarlas en distintas variedades (Saavedra, 2017). En este ensayo se utilizó la variedad costina, la cual posee una cabeza elongada, y de ella son comestibles sus hojas y puede llegar a pesar hasta 2 kg (Saavedra, 2017). La lechuga es la hortaliza de mayor superficie nacional después de choclo y tomate, representa en promedio el 9% de la superficie total, lo cual equivale a 6.900 hectáreas (ha) anuales (Saavedra, 2017). El cultivo de la lechuga se realiza principalmente en suelo al aire libre, pero existe una importante superficie bajo invernadero, además la producción hidropónica bajo plástico ha aumentado en los últimos años (Saavedra, 2017).

En base a los antecedentes expuestos anteriormente, se plantea la hipótesis y objetivos del presente trabajo:

### **1.1 Hipótesis**

- Dosis crecientes de humus al suelo incrementan el rendimiento de ballica italiana y lechuga.

### **1.2 Objetivo general**

- Determinar el efecto de la aplicación de humus de lombriz al suelo sobre el crecimiento de ballica italiana y lechuga.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Evaluar el crecimiento y la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en ballica italiana y lechuga.
- Evaluar la mineralización de dos fracciones del humus de lombriz en tres diferentes dosis.

## II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 2.1 Fertilización

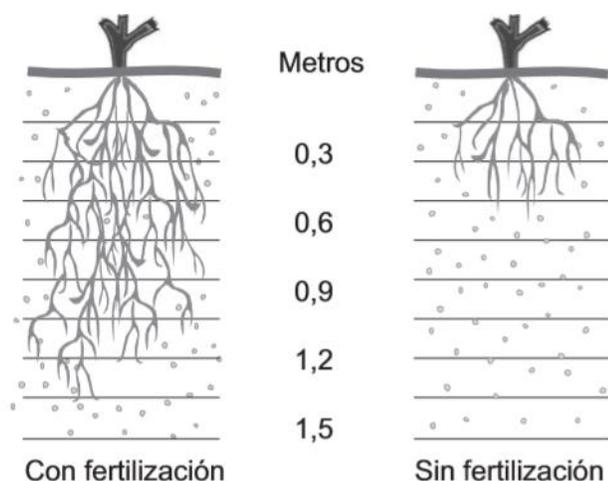
Fertilizante es cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) (FAO, 2002).

Los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan, gracias a estos se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, los cuales serán de mejor calidad, además se puede mejorar la mala fertilidad presente en los suelos que han sido sobreexplotados (Rodríguez, 1991).

Las plantas toman los nutrientes que necesitan del suelo. Si la concentración de nutrientes en él es óptima, los cultivos presentes allí producirán mejores rendimientos y crecerán mejor. Sin embargo, si en la solución del suelo escasea uno de los nutrientes necesarios, el crecimiento de las plantas se verá afectado y el rendimiento de los cultivos decaerá (Rodríguez, 1991). Es por eso por lo que al fertilizar un suelo se elevan los niveles de nutrientes presentes en él y a su vez aumentan la profundidad a la cual las raíces crecen, tal como se puede apreciar en la figura 1 (FAO, 2002).

La eficiencia de los fertilizantes en el suelo y la respuesta de los rendimientos en la planta puede ser medida realizando simples ensayos, agregando dosis creciente de fertilizantes de unidad conocida, midiendo y comparando los rendimientos de los cultivos, pudiendo observar cual es la cantidad óptima de fertilizante a utilizar para que el cultivo crezca en buenas condiciones (FAO, 2002).

Existen diferentes tipos de fertilizantes, químico inorgánico y orgánico. El primero posee sustancias químicas o sintéticas las cuales ayudan a aumentar la capacidad productiva de los suelos y el rendimiento en cosechas, ya que poseen por lo menos un elemento químico que la planta necesita, se pueden clasificar en líquidos, sólidos o gaseosos (Berdugo y Carvajal, 2014). Por otro lado, los fertilizantes orgánicos provienen de residuos de origen animal o vegetal, se descomponen en el suelo y pueden mejorar sus características físicas, químicas y biológicas. Ejemplos de enmiendas orgánicas son estiércol, compost, abono verde y humus de lombriz (Tenecela, 2012).



**Figura 1.** Profundidad hipotética de las raíces de las plantas con y sin fertilización a lo largo del tiempo (FAO, 2002).

## **2.2 Humus de lombriz**

El humus de lombriz es el resultado de la descomposición y estabilización microbiana de la materia orgánica, el cual se produce en el tracto digestivo de las lombrices una vez que son ingeridas por estas en el suelo (Tenecela, 2012). Esto se realiza con el proceso de vermicompostaje, utilizando para ello la especie de lombriz *Eisenia foetida* (Savigny), la cual tolera la humedad y amplios rangos de temperatura. Es capaz de colonizar múltiples residuos orgánicos, tiene una alta tasa de reproducción, es fuerte y fácil de manejar (Céspedes, 2017).

Las lombrices ejercen una acción físico-mecánico que provoca la aireación, mezclado y triturado de la materia orgánica, pero también realizan una acción bioquímica, la cual produce la descomposición del sustrato en el intestino de las lombrices mediado por microorganismos (Ndegwa et al., 2000). El humus de lombriz, a través de la actividad microbiana, libera y convierte elementos presentes en la materia orgánica como N, P, K y Ca, dejándolos en formas solubles y disponibles para las plantas (Hidalgo y Harkess, 2002). Además, la humificación entrega resistencia a la retención y lavado de los elementos químicos en el suelo (Somarriba y Guzmán, 2004), ayudando a los cultivos en los procesos de crecimiento y desarrollo.

El humus posee macro y microelementos que se encuentran en equilibrio en la concentración de solutos, ayudando a que no ocurra antagonismo por un exceso de alguno de ellos (Schuldt, 2006). Por otra parte, el humus se caracteriza por tener un pH cercano a neutro. Además, este material posee un alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales ayudan en la entrega inmediata de los nutrientes asimilables, dando un efecto regulador en la nutrición de las plantas (Tenecela, 2012).

La composición nutricional del humus se muestra en el Cuadro 1, los cuales representan en promedio a diferentes análisis realizados en varios laboratorios de Chile y España (Amachuy, 2013). Los valores varían dependiendo de la composición química que poseen los residuos vegetales o animales utilizados en la alimentación de las lombrices.

**Cuadro 1.** Composición química presente en el humus de lombriz (Amachuy, 2013).

Nutriente	Concentración
g 100 g <sup>-1</sup>	
Nitrógeno	1-3
Fósforo	1-3
Potasio	0,8–1,5
Magnesio	0,2-0,5
Calcio	2,5–8,5
Ácidos húmicos	5–7
Ácidos fúlvicos	2-3
Materia orgánica	30–60
mg kg <sup>-1</sup>	
Manganeso	260–580
Cobre	85–100
Zinc	85–400

### **2.3 Efecto de la aplicación de humus al suelo**

El humus de lombriz tiene características coloidales que se producen por el pequeño tamaño de sus partículas y la presencia de cargas eléctricas negativas presentes en su superficie, lo cual origina una rápida retención de cationes y moléculas de agua, siendo a bajo nivel energético, haciendo posible que las plantas absorban fácilmente agua y nutrientes desde la superficie de los coloides (Basaure, 1995).

Al aplicar humus al suelo se mejora y restaura la actividad biológica ya que contiene gran flora microbiana(Condori y Borda, 2014). Por otro lado, reduce la erosión de los suelos, mejora la textura, estructura, infiltración y porosidad de los suelos, lo cual permite mejor desarrollo de las raíces de las plantas (Tenecela, 2012).

## 2.4 Fertilización química versus fertilización orgánica

Existe un amplio rango de ventajas y desventajas entre los fertilizantes químicos y orgánicos, las cuales se explican a continuación en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Composición química presente en el humus de lombriz (Amachuy, 2013).

Tipo de fertilizante	Ventajas	Desventajas
<b>Químico</b>	Se usa una menor cantidad de fertilizante ya que sus concentraciones son altas.	Como posee altas concentraciones, si son usados en exceso contaminan las reservas subterráneas de agua.
	Poseen formas de absorción más fáciles para las plantas.	No son sustentables a largo plazo, ya que para su elaboración utilizan energías no renovables.
	Pueden ser formulados de tal manera que aporte todos los macros y microelementos que la planta necesita.	Su precio es muy volátil y generalmente está relacionado con el precio del petróleo.
	-	Un uso recurrente puede empobrecer el suelo, disminuir la porosidad, la capacidad de amortiguamiento y la consistencia, debido a que no posee materia orgánica.  Disminuyen la masa y diversidad bacteriana del suelo.
<b>Orgánico</b>	Son inofensivos al ambiente y tienen un menor porcentaje de contaminación.	Su concentración nutricional es menor por lo que requieren mayores cantidades para satisfacer la demanda de las plantas.
	Es de fácil obtención, ya que se pueden obtener de diversas fuentes y de fácil manejo.	Si las compostas o estiércoles no son bien procesados pueden causar enfermedades o contaminaciones por bacterias ( <i>Escherichia coli</i> E.).
	Son sustentables ya que provienen de materiales renovables.	Fertilizantes orgánicos certificados son hasta 50% más caros que los convencionales.
	Aumentan la comunidad bacteriana y mejoran la cantidad de materia orgánica y características físicas y químicas del suelo (estructura, retención de agua, fertilidad).	-

## **2.5 Ballica italiana**

La ballica italiana (*Lolium multiflorum* L.) fue introducida a Chile para fines forrajeros, es una gramínea cosmopolita de origen europeo, considerada hoy en día como maleza en los principales cultivos, la cual en invierno alcanza su mayor superficie germinada de forma involuntaria, siendo un gran competidor para cultivos anuales y huertos frutales (INIA, 2017). La ballica es altamente resistente a herbicidas como glifosato y grupos químicos (IMI, SU, SCT; FOP, DIM, DEN), por eso es considerada la maleza principal de trigos y cereales. Si la densidad es mayor a 50 plantas m<sup>-2</sup> puede generar pérdidas de rendimiento de entre un 10 y 20%. De la misma manera, lleva problemas a la cosecha, ya que las plantas inmaduras contaminan la producción de trigo (INIA, 2017).

Fue usada en el presente trabajo porque posee un fácil y rápido establecimiento (INIA, 2017), lo que agiliza la cosecha y la toma de resultados.

### **2.4.1 Descripción botánica y ciclo biológico de la ballica italiana**

Ballica italiana es una gramínea anual de crecimiento erecto y precocidad alta/intermedia, germina entre otoño e invierno y no requiere vernalización, es decir, florece en la primavera del año de establecimiento, posee hojas anchas y brillantes con vainas redondeadas que abrazan el tallo. Tiene dos aurículas de tipo garra altamente visibles (Demagnet, 2004). Es una planta con gran capacidad de macollar, posee una espiga erecta compuesta de 5 a 40 espiguillas, su fruto es un cariopsis de forma ovoide sin pelos el cual puede llegar a medir de 3 a 4 mm de largo (INIA, 2017). Posee un sistema radicular fibroso y muy superficial, tiene poca tolerancia al déficit hídrico. Su temperatura óptima de desarrollo es de 5 a 25 °C y el pH del suelo que es óptimo para su crecimiento está entre 5,8 y 6,7 (Demagnet, 2004).

## **2.6 Lechuga**

La lechuga pertenece a la familia de las Asteraceae, la familia más grande de las dicotiledóneas, la cual fue también conocida como Compositae (Saavedra, 2017). Sus usos por el hombre datan de más de 2.500 años de antigüedad como planta comestible y medicinal. Se considera que proviene de Asia menor y que deriva de la lechuga silvestre (*Lactuca scariola* L.) (Giacconi y Escaff, 1993).

Se usó en el presente ensayo porque es una de las hortalizas más importantes y de mayor superficie en el país, además, es de fácil trasplante y establecimiento (Saavedra, 2017).

### **2.5.1 Descripción botánica y ciclo biológico de la lechuga**

La lechuga es una planta de raíz pivotante gruesa (en la corona), la cual se adelgaza gradualmente a medida que va aumentando en profundidad, pudiendo llegar a medir 60 cm de largo (Saavedra, 2017). Las raíces (laterales) se concentran principalmente entre los 5 y 30 cm de profundidad, por lo que la absorción de agua y nutrientes se concentra en la superficie del suelo (Jackson, 1995). Posee hojas sésiles, las cuales según la variedad, pueden ser de forma redondeada o lanceolada, lisas o rugosas, de bordes enteros o acerrados, y de colores que van desde el verde amarillo al morado (Fuentes, 1996). En un comienzo, las hojas se disponen en roseta, la cual puede permanecer así y estar presente en el periodo vegetativo de la planta como lo es en el caso de las lechugas de hoja, también se puede formar una cabeza redondeada como las variedades escarolas y butterhead, o formar una cabeza elongada como las costinas (Saavedra, 2017).

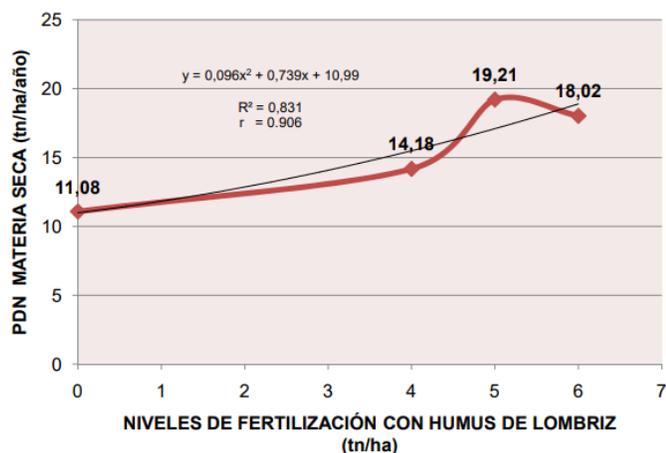
Una vez que el ciclo vegetativo llega a su fin, comienza la elongación del tallo, el cual puede llegar a medir 1 m de alto y empieza el ciclo reproductivo. Posee una inflorescencia corimbosa compuesta por muchos capítulos, donde cada capítulo consiste de varios floretes (de tipo rayo, perfectos y fértiles) de color amarillo y hermafrodita (Saavedra, 2017). El fruto es un aquenio, el cual se confunde con la semilla porque lleva un ala fina (Fuentes, 1996).

### **2.5.2 *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* (Lam.) Janchen**

La *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* (Lam.) es la variedad de lechuga conocida como romana o costina. Esta se aprovecha por sus hojas ya que no forma verdaderos cogollos. Posee hojas grandes, erguidas y anchas con un nervio central prominente las cuales tienden a cerrarse en los extremos formando una cabeza cilíndrica. Presenta un tallo más alargado que en otras variedades, que permanece protegido por las hojas. Puede alcanzar un peso de hasta 2 kg (Fuentes, 1996; Saavedra, 2017).

## **2.7 Efecto de la aplicación de humus sobre el crecimiento de ballica y lechuga**

En 2008, en la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, se realizó un estudio de la evaluación de diferentes niveles de humus (4, 5, 6 ton ha<sup>-1</sup>) en la producción primaria de ballica (Figura 2). El estudio mostró que la respuesta de la ballica a la aplicación de humus siguió una función cuadrática, es decir, a medida que se incrementan los niveles de humus en el suelo, aumenta también la producción de forraje. Tanto la producción de materia fresca y seca de ballica alcanzaron el punto máximo con una dosis de 5 ton de humus por ha de humus de lombriz (Viñán, 2008).



**Figura 2.** Línea de tendencia de regresión, en la producción de materia seca al primer corte del *Lolium perenne*, en estado de prefloración (ton/ha/año) (Viñán, 2008).

Por otra parte, en la Universidad de Chile se realizó una investigación para evaluar el uso de humus de lombriz como sustrato para la producción de plantines de hortalizas. Los resultados de esta investigación indicaron que es posible obtener plantines de calidad para lechuga y repollo usando como sustrato el humus de lombriz. Además, el humus aumentó la precocidad en el desarrollo de ambas especies y produjo un mayor crecimiento de las plantas (Pérez, 2011).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del estudio

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos (CTSyC) y en la Estación Experimental 'Panguilemo', pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca, campus Talca.

#### 3.2 Incubación de suelo con humus de lombriz

El objetivo principal de este ensayo fue evaluar la mineralización de dos fracciones de humus de lombriz en el suelo a tres diferentes dosis: 7,5, 15 y 30 Mg de humus ha<sup>-1</sup>. Previo a la incubación se determinaron algunas propiedades químicas y físicas del suelo, como nutrientes disponibles, materia orgánica (MO), densidad aparente y textura (Cuadro 3). También se realizó una caracterización química del humus (Cuadro 3).

El suelo utilizado fue tomado del fundo las Lomas, ubicado en la comuna de San Clemente, Talca, región del Maule, tiene textura arcillosa y corresponde a la serie Talca.

El humus utilizado proviene de una empresa de lombricultura llamada "Tierra nueva", la cual se encuentra en el huerto "El Maitén", sector Sarmiento en la comuna de Curicó, Región del Maule. En dicha empresa, las lombrices son alimentadas con desechos animales y vegetales. Los desechos animales provienen de guano de caballo de pesebreras cercanas a la localidad de Sagrada Familia y los desechos vegetales de restos de fruta y biruta de pino compostada, perteneciente a la misma empresa (Origen-Humus, 2018).

**Cuadro 3.** Composición química del humus y suelo utilizado. MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica.

	N	P	K	MO	C Total	N Total	pH	CE dS m <sup>-1</sup>
	%							
Humus	0,83	0,32	0,53	27,2	15,1	-	7,7	2,40
	mg kg <sup>-1</sup>							
	8300	3200	5300	-	-	-	-	-
Suelo	8	46	115	1,7	0,88	0,14	6,3	0,08

Una vez adquirido el humus se dejó secar y luego se realizó un tamizaje con las siguientes fracciones: >2 mm, 2 – 1 mm, 1 – 0,5 mm, 0,5 – 0,05 mm y <0,05 mm.

Para la incubación, se pesaron 500 g de suelo y se mezclaron con cantidades de humus equivalentes a las dosis, se humedecieron con 135 mL de agua. Las incubaciones se realizaron en una sala a una T° de alrededor de 28°C y por un período de 120 d. La mezcla se mantuvo a un 75% de la máxima capacidad de retención de agua del suelo.

Para determinar la mineralización del humus en el suelo, se muestreo una pequeña porción (~50 g) en los siguientes tiempos: 1, 7, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 días. En cada tiempo se determinó: NPK disponible, carbono orgánico, pH y conductividad eléctrica.

**Cuadro 4.** Dosis y fracciones de humus usadas en las incubaciones con suelo.

Dosis (Mg humus/ha)	Fracciones (mm)	Repeticiones por tratamiento
Dosis 1: 7,5	Gruesa: 2,0-1,0 Fina: 0,5-0,05	5
Dosis 2: 15	Gruesa: 2,0-1,0 Fina: 0,5-0,05	
Dosis 3: 30	Gruesa: 2,0-1,0 Fina: 0,5-0,05	
N°total de tratamientos: 3 Dosis x 2 Fracciones x 5 Réplicas + 1 suelo control = 35 muestras.		

### **3.3 Evaluación de la mineralización del humus mediante la determinación de la disponibilidad de nutrientes del suelo**

Para evaluar la mineralización del humus aplicado, se procedió al muestreo de suelo incubado en distintos intervalos de tiempo: 1, 7, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 días. En los siguientes puntos se indican las metodologías para los parámetros de suelo evaluados.

### **3.3.1 Determinación de nitrógeno (N) disponible en el suelo**

La determinación de nitrógeno (N) disponible en el suelo se realizó mediante la digestión Kjeldahl de la muestra de suelo con ácido sulfúrico, ácido salicílico y una mezcla catalítica de sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de titanio, se dejó hervir suavemente sin exceder los 400°C, hasta que la mezcla de digestión se tornó de color claro, se agregó agua cuidadosamente y se dejó enfriar, para posteriormente determinar el N-NH<sub>4</sub> por el método de destilación de NH<sub>3</sub> y determinación por titulación el cual se puede aplicar en cualquier tipo de suelo (Sadzawka et al., 2006). La solución una vez enfriada se alcaliniza, formando NH<sub>3</sub> el cual se destila por arrastre de vapor, se atrapa en ácido bórico y se titula el destilado con una solución estándar de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, hasta que el color cambia de verde a rosado. Posteriormente se calcula la concentración de N en la muestra y se obtiene el % de N total.

### **3.3.2 Determinación de fósforo (P) disponible en el suelo**

La determinación de fósforo (P) disponible se realizó mediante el método de extracción con solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5 y desarrollo de color con molibdato (Sadzawka et al., 2006). Se pesó 2,5 g de muestra seca al aire en un frasco de plástico, se agregó 0,3 g de carbón activado y 50 mL de solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L. Los frascos se agitaron (180 golpes min<sup>-1</sup>) durante 30 min en un agitador recíproco a temperatura ambiente. Una vez agitado, la solución fue filtrada y se procedió a la determinación de P por espectrofotometría.

### **3.3.3 Determinación de potasio (K) disponible en el suelo**

El potasio (K) disponible fue extraído con solución de acetato de amonio a una concentración de 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 y su determinación por espectrometría de absorción y emisión atómica, con lantano. Para esto se pesaron 5 g de suelo y se mezcló con 150 mL de acetato de amonio y se agitó durante 30 min en un agitador recíproco a 180 golpes min<sup>-1</sup> a temperatura ambiente. Posteriormente se filtró y se mezcló un 1 mL del filtrado con 9 mL de solución de lantano a una concentración de 1,1 g L<sup>-1</sup>. El K disponible se determinó en la mezcla mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con llama de aire-acetileno por emisión a 766,5 nm.

### **3.3.4 Determinación de carbono orgánico del suelo (COS)**

El análisis de carbono orgánico del suelo (COS) se realizó a partir del método de oxidación con dicromato en medio ácido y determinación colorimétrica del cromato reducido. Para esto se pesó entre 1 y 2 g de suelo seco al aire en un matraz Erlenmeyer de 125 mL a 150 mL. Se agregó 10 mL de solución de dicromato de sodio a la 0,5 mol/L, luego cuidadosa y rápidamente se añadió 20 mL de ácido sulfúrico mientras se mantenía agitando para evitar puntos localizados de ebullición. Posteriormente se agitó y se dejó reposar sobre una plancha aislante bajo campana

por 30 min. Transcurrido este tiempo se agregó 70 mL de agua, se mezcló y se dejó reposar durante la noche. Al día siguiente se determinó la concentración de C mediante absorbancia a 600 nm.

### **3.3.5 Determinación del pH del suelo y conductividad eléctrica**

La determinación de pH del suelo se determinó mediante el método de suspensión y determinación potenciométrica. Se preparó una suspensión de suelo (20 g) con agua (50 ml). La suspensión se agitó vigorosamente durante 5 min, y luego se dejó reposar por 2 horas. Posteriormente se calibró el medidor de pH usando dos soluciones tampones de pH 7 y pH 4 o pH 9,22, dependiendo del rango de pH de las muestras. Luego se agitó la suspensión e inmediatamente se introdujeron los electrodos y se determinó el pH.

La determinación de la conductividad eléctrica (CE) se llevó a cabo por el método de extracto en agua a una relación de 1:5 suelo/solución y determinación por conductivimetría. Se pesaron 20 g de muestra seca al aire en un frasco de plástico de 150 mL. Se agregó 100 mL de agua a 20°C y se agitó horizontalmente durante media hora a 20°C. Luego se filtró (8 µm) y se colectó el filtrado. Luego se determinó la constante de celda utilizando KCl a tres concentraciones: 0,1 mol L<sup>-1</sup>, 0,02 mol L<sup>-1</sup> y 0,01 mol L<sup>-1</sup> a los cuales se midió la CE con un conductímetro, se calculó un promedio y se ajustó a ese valor la constante de la celda del conductímetro.

$$K = \frac{CEe}{CEm}$$

Donde:

K= Constante de la celda

CEe= CE específica de una de las soluciones de KCL en dS/m (mS/cm)

CEm= CE medida de la misma solución de KCL en DS/m (mS/cm)

Finalmente se midió la CE del filtrado, corregida a 25°C y se anotaron los resultados en decisiemens por metro (dS/m)

### **3.4 Evaluación de la aplicación de humus al suelo sobre el crecimiento y absorción de nutrientes en ballica y lechuga**

El objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto de la aplicación de humus al suelo sobre el crecimiento de ballica italiana y lechuga. En esta parte, se realizó un ensayo con las dosis y fracciones de humus equivalentes al ensayo de incubación. Para esto se utilizaron macetas con 1,5 kg de suelo al cual se le adicionó humus en dosis equivalentes de: 7,5, 15 y 30 Mg humus ha<sup>-1</sup>. Tras un período de 1 mes de crecimiento en ambos cultivos, se procedió a determinar los siguientes parámetros:

- Materia seca aérea (peso)
- Materia seca radical (peso)
- Concentración de nutrientes en la parte aérea
- Cálculo de la absorción de NPK

Para la preparación de las macetas, el suelo fue secado y tamizado a 2 mm. Posteriormente cada maceta fue llenada con 1,5 kg de suelo y mezclado con humus. El humus fue separado en dos fracciones físicas: tamaño entre 1 – 2 mm y entre 0,5 – 0,05 mm. Ambas fracciones se secaron a T° ambiente y posteriormente fueron mezcladas con el suelo.

### 3.4.1 Siembra

La siembra de ballica italiana se realizó en 28 macetas cubriendo la superficie de manera homogénea con una dosis de 6 g se semillas por cada una. En el caso de las lechugas, se trasplantaron dos plantas por maceta para cada repetición.

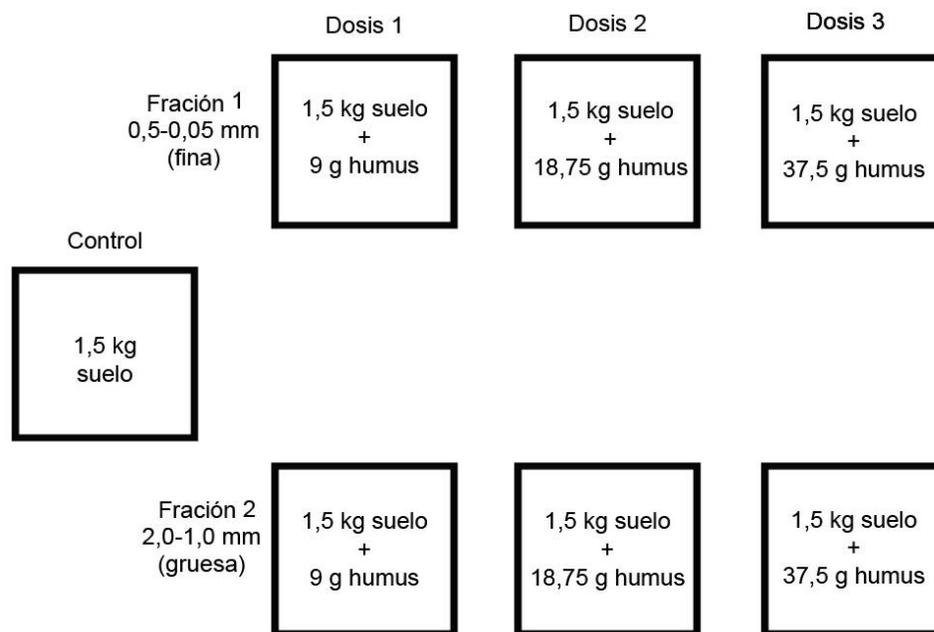
### 3.4.2. Diseño experimental

Para la evaluación de los ensayos de maceta se realizó un diseño de bloques al azar, con los tratamientos indicados en la figura 3.

De acuerdo con los análisis químicos que se le realizaron al humus utilizado en este ensayo, se obtiene que las dosis de humus aplicadas en las macetas son equivalentes a las concentraciones de NPK presentes en el cuadro 5, las cuales fueron aplicadas a una profundidad de 10 cm.

**Cuadro 5.** Equivalencia de la cantidad de NPK aplicada al suelo según la dosis de humus de lombriz correspondiente.

Dosis de humus g kg <sup>-1</sup> suelo	N	P	K
	kg ha <sup>-1</sup>		
6	62,25	24	40
12,5	124,5	48	80
25	250	96	160



**Figura 3.** Diseño experimental utilizado en los ensayos de ballica y lechuga. Ambos tenían 4 repeticiones por tratamiento, pero diferían en que en los ensayos de ballica se añadió 7 g de semillas por maceta en forma homogénea y en el caso de la lechuga se transplantaron 2 plantas similares por maceta. Los gramos de humus aplicados corresponden a dosis teóricas de 7,5; 15 y 30 Mg humus ha<sup>-1</sup> respectivamente.

### 3.4.3 Cosecha

Después de un mes de crecimiento de las plantas, se procedió a cosecharlas, lavando las raíces para eliminar los residuos de suelo. Las plantas fueron separadas en raíces y parte aérea. Se determinó el peso aéreo y radicular en estufa de aire forzado a 65 °C, hasta alcanzar peso constante.

### 3.4.4 Determinación de la concentración de nutrientes en la planta

Se pesó entre 1 a 3 g de muestra seca molida en un crisol y se pusieron en una mufla, alcanzando los 500°C en dos horas. Posteriormente, la mufla se dejó enfriar y se sacaron los crisoles cuidadosamente para así no disturbar las cenizas. Se agregó a cada crisol 1 mL de agua para humedecer las cenizas y luego se agregaron 10 mL de ácido clorhídrico (2 mol L<sup>-1</sup>). Posteriormente, las muestras fueron calentadas a ebullición en un plato calefactor. Finalmente, el contenido fue filtrado, recibido en un matraz y aforado a 50 mL.

#### **3.4.4.1 Determinación de nitrógeno (N) foliar**

La determinación del contenido de nitrógeno (N) total se realizó mediante el método por combustión según Dumas, la cual está validada para la matriz foliar. Este consiste en pesar un mínimo de 0,1 g de la muestra seca molida en una cápsula de estaño y, una vez calibrado el instrumento TruSpec CN, las muestras fueron destruidas por combustión a alta temperatura (900°C a 1.200°C), en una atmósfera de oxígeno. Los compuestos de N en la muestra fueron convertidos a N molecular, y finalmente cuantificados por un detector de conductividad térmica. Los datos obtenidos fueron procesados por el instrumento, entregando los datos directamente (INN, 2009).

#### **3.4.4.2 Determinación de fósforo (P) foliar**

La determinación de la concentración de P foliar se determinó a partir de las cenizas por el método de colorimetría con nitro-vanado-molibdato una vez realizada la calcinación. Se tomó 1 mL del filtrado de cada muestra y se agregó 4 mL de la solución nitro-vanado-molibdato, mezclando bien. Se dejó reposar por una hora y se determinó la concentración de P por absorbancia a 466 nm.

#### **3.4.4.3 Determinación de potasio (K) foliar**

La determinación de K se realizó por el método de espectrofotometría de emisión atómica (EEA) con llama de aire – acetileno por aspiración directa de la muestra. Para ello se tomó 1 mL de la muestra y se agregó 9 mL de solución de lantano y se mezcló. Posteriormente se calibró el espectrofotómetro y se midió la concentración de K por emisión a 766,5 nm. Finalmente se calculó la concentración de K en la muestra.

### **3.5 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico GraphPad Prism ® 8 y Statgraphics ®.

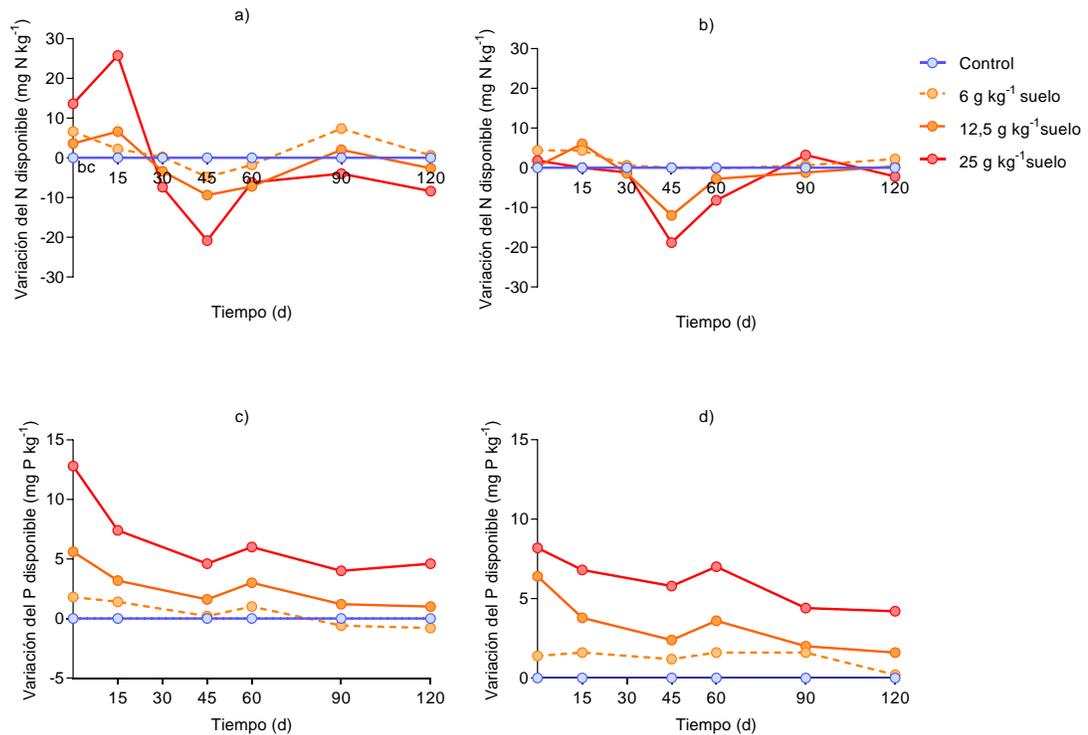
Para evaluar las diferencias entre el tratamiento control y dosis creciente de humus, tanto en ballica como en lechuga, se realizaron ANOVAS de una vía con GraphPad Prism ® 8, y para evaluar las medias se aplicó la prueba HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). En tanto, para determinar el efecto de las diferentes fracciones de humus aplicadas al suelo (F1 y F2) sobre el crecimiento de ballica y lechuga se aplicó un test-t ( $p < 0,05$ ). Por otro lado, las diferencias entre las dosis crecientes de humus incubadas en el suelo se analizaron para las diferentes fracciones por separado con el programa estadístico Statgraphics ®, las separaciones de medias fueron realizadas mediante la

prueba HSD de Tukey's ( $p < 0,05$ ). Los gráficos fueron hechos con el programa GraphPad Prism  
® 8.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Incubación de suelo con humus de lombriz

Al incubar diferentes dosis de humus de lombriz en el suelo, se puede observar que existen diferencias en cada tiempo para la concentración de N en el suelo que recibió la fracción más fina de humus (F1), excepto a los 60 días (Figura 4a). En el caso de la fracción más gruesa (F2), no existen diferencias, excepto a los 45 d desde la incubación, donde el tratamiento control y la aplicación de 6 g humus  $\text{kg}^{-1}$  suelo fueron diferentes a los tratamientos con dosis de 12,5 y 25 g humus  $\text{kg}^{-1}$  suelo (Figura 4b). Por otro lado, existió una diferencia considerable de P disponible entre la dosis más alta (25 g  $\text{kg}^{-1}$  suelo) para ambas fracciones y los otros tratamientos (Figura 4c y 4d respectivamente; diferencias estadísticas en el Anexo 2).



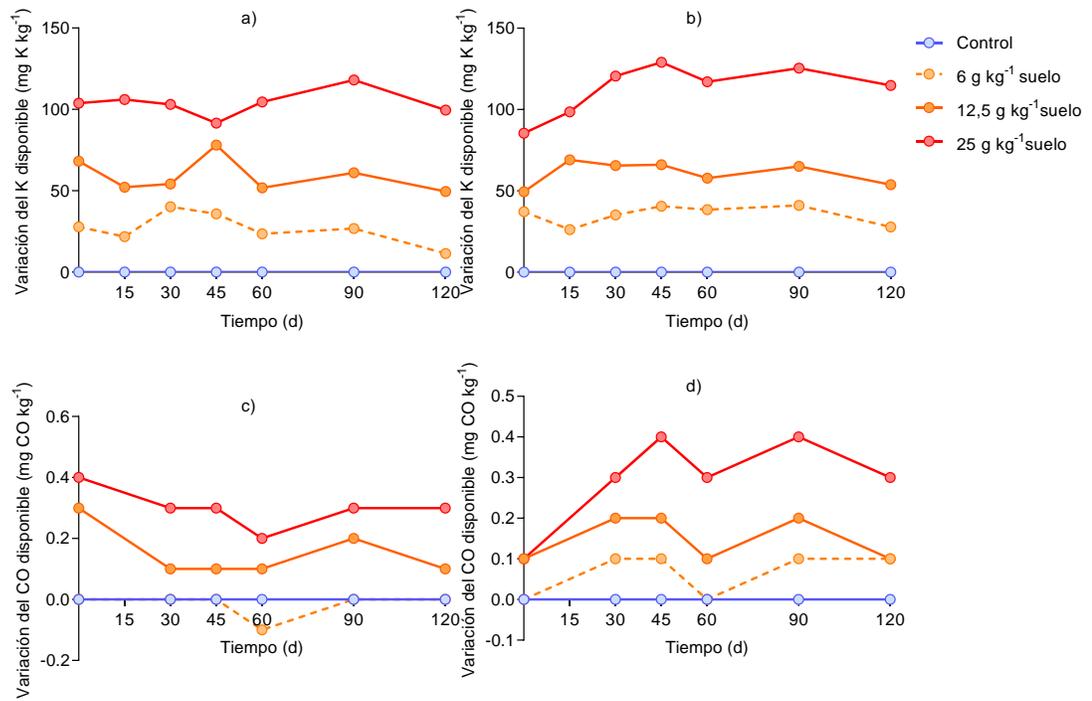
**Figura 4..** Variación del N y P disponible luego de la aplicación de dos fracciones de humus en dosis de 6, 12,5 y 25 g  $\text{kg}^{-1}$  de suelo y la evolución a través del tiempo. a) N disponible después de la aplicación de humus de tamaño entre 0,5 y 0,05 mm (F1) y b) N disponible en F2 (2-1 mm) de humus; c) P disponible en F1 (0,5 – 0,05 mm) de humus; d) P disponible en la F2 (2-1 mm) de humus.

A medida que transcurre el tiempo se observan variaciones en el mismo tratamiento (Anexo 1) para el N disponible en las dos fracciones de humus. Por ejemplo, hay un aumento de N para la dosis de 25 g kg suelo<sup>-1</sup> después de 15 d en la fracción de humus F1 con respecto al tratamiento control, pero este comienza a decaer aproximadamente hasta el día 45, donde se vuelve a observar un aumento en la disponibilidad de dicho elemento, el cual posteriormente se mantiene constante en el tiempo. En las fracciones F1 y F2 ocurren sucesos similares, pero la fracción fina alcanza mayor disponibilidad de N como se puede observar en los gráficos a) y b) de la figura 4.

En el caso del P disponible (Figura 4 c y d), este aumenta con el aumento de la dosis, independiente del tamaño de la fracción de humus aplicada. En general, a medida que pasa el tiempo de incubación, la concentración de P en relación al suelo sin adición de humus, disminuye hasta los 45 d. Posteriormente, el P disponible se comporta de manera similar en todos los tratamientos, siendo constante en el tiempo (Figura 4c). Para la fracción más gruesa (F2), no existen diferencias en la dosis de 6 y 25 g kg suelo<sup>-1</sup> (Anexo 2), pero sí existen diferencias entre el tratamiento control y la dosis de 12,5 g de humus por kg suelo, los cuales en los primeros días tiende a disminuir y luego se mantiene constante (Figura 4d).

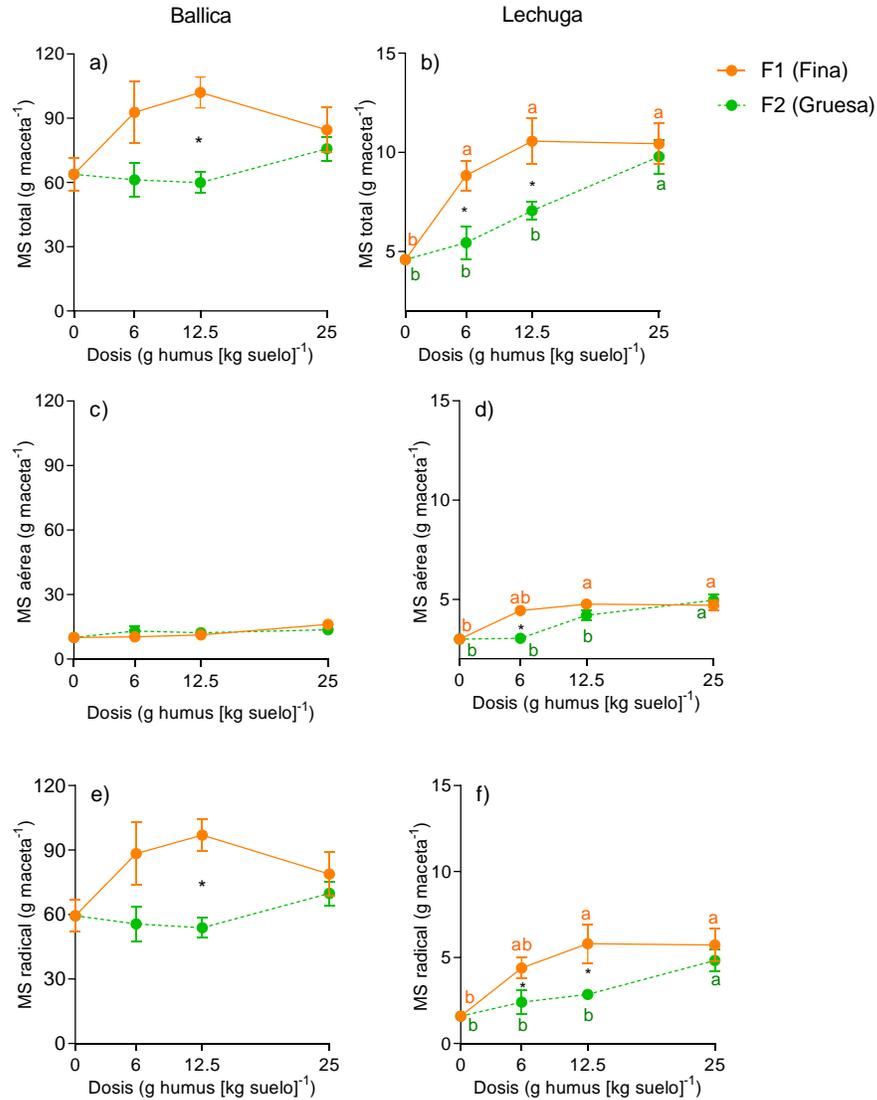
En el caso del K, el aumento de la dosis de humus afecta la cantidad de K disponible en el suelo. A medida que se incuba una mayor dosis de humus de lombriz, tanto para la fracción fina (F1) o gruesa (F2), mayor es la disponibilidad de K en el suelo, siendo los 4 tratamientos significativamente diferentes entre ellos (Figuras 5a y 5b; Anexo 3). En el caso del carbono orgánico (CO), como observa en la Figura 5c y 5d, a medida que se agrega mayor dosis de humus de lombriz mayor es el aumento de CO disponible. Con la adición de la fracción más fina (F1), no existe variación entre el tratamiento control y el tratamiento de 6 g de humus por kg suelo, pero sí entre estas dos y las dosis de 12, 5 y 25 g kg suelo<sup>-1</sup> (Anexo 4).

A medida que transcurre el tiempo, se observa una leve variación del K disponible en el tratamiento control y la dosis de 12,5 g de humus de la fracción F1, no así en las dosis de 6 y 25 g kg suelo<sup>-1</sup>. En el caso de la fracción F2 ocurre algo similar, existen diferencias, pero son mínimas. Por otro lado, la variación de CO a través del tiempo es mínima en los tratamientos (Figura 5c y 5d), siendo la fracción fina F1 en dosis de 6 y 25 g no significativas. En cambio, la aplicación de la fracción gruesa F2, generó un aumento en la cantidad de CO hasta aproximadamente el tiempo 30, y luego la variación fue mínima o nula (Diferencias estadísticas en el anexo 4).



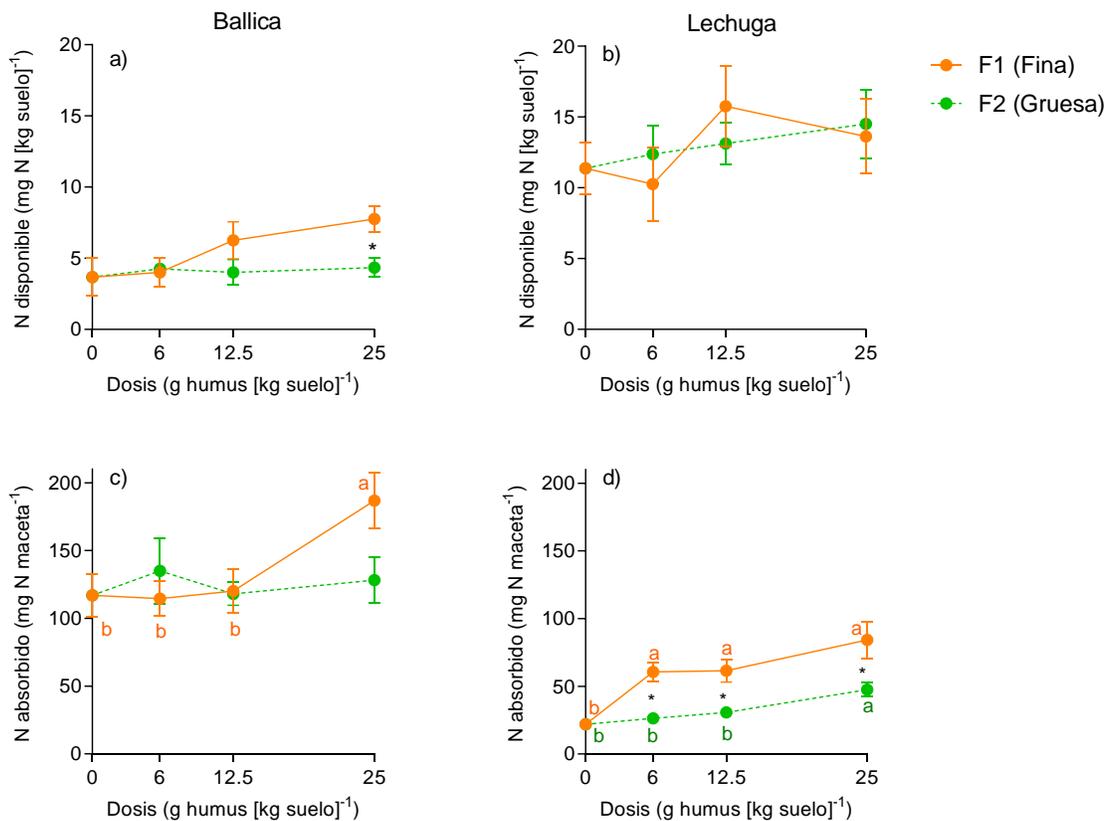
**Figura 5.** Variación del K y carbono orgánico (CO) disponible luego de la aplicación de dos fracciones de humus en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo. a) K disponible después de la aplicación de humus de tamaño entre 0,5 y 0,05 mm (F1) y b) K disponible en F2 (2-1 mm) de humus; c) CO disponible en F1 (0,5 – 0,05 mm) de humus; d) CO disponible en la F2 (2-1 mm) de humus.

#### 4.2 Evaluación de la aplicación de humus al suelo sobre el crecimiento y absorción de nutrientes en ballica y lechuga



**Figura 6.** Materia seca (MS) producida por ballica y lechuga luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup>. a) y b) MS total; c) y d) MS aérea; e) y f) MS radical. \*indica diferencias significativas entre ambas fracciones en la misma dosis (test-t con  $p < 0,05$ ). Letras distintas indican diferencias para una misma fracción según la dosis aplicada (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Separación de medias por la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A medida que aumenta la dosis de humus, e independiente de la fracción utilizada, aumenta la producción de materia seca (MS), tanto para ballica como para lechuga. La MS total corresponde en mayor porcentaje a la MS radical, por lo que no existe, entre estas dos, diferencias apreciables como se observa en la Figura 6. También se puede notar que al aplicar la fracción más fina (F1), en la mayoría de los casos, se incrementa la producción de MS, a diferencia del uso de la fracción gruesa (F2). En el caso de la MS radical producida en ballica, al aplicar una dosis de 12,5 g kg suelo<sup>-1</sup> de la fracción fina F1, existe una diferencia significativa con respecto a la fracción gruesa F2. En el caso de la lechuga se observan también diferencias entre el tamaño del humus al aplicar una dosis de 6 y 12,5 g humus kg suelo<sup>-1</sup>.



**Figura 7.** Nitrógeno (N) disponible en el suelo y N absorbido por ballica y lechuga, luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup>. a) y b) N disponible en el suelo una vez establecido el cultivo; c) y d) N absorbido por la planta hasta el momento de cosecha indica diferencias significativas entre ambas fracciones en la misma dosis (test- t con p<0,05). Letras distintas indican diferencias para una misma fracción según la dosis aplicada (ANOVA, p<0,05). Separación de medias por la prueba de Tukey (p<0,05).

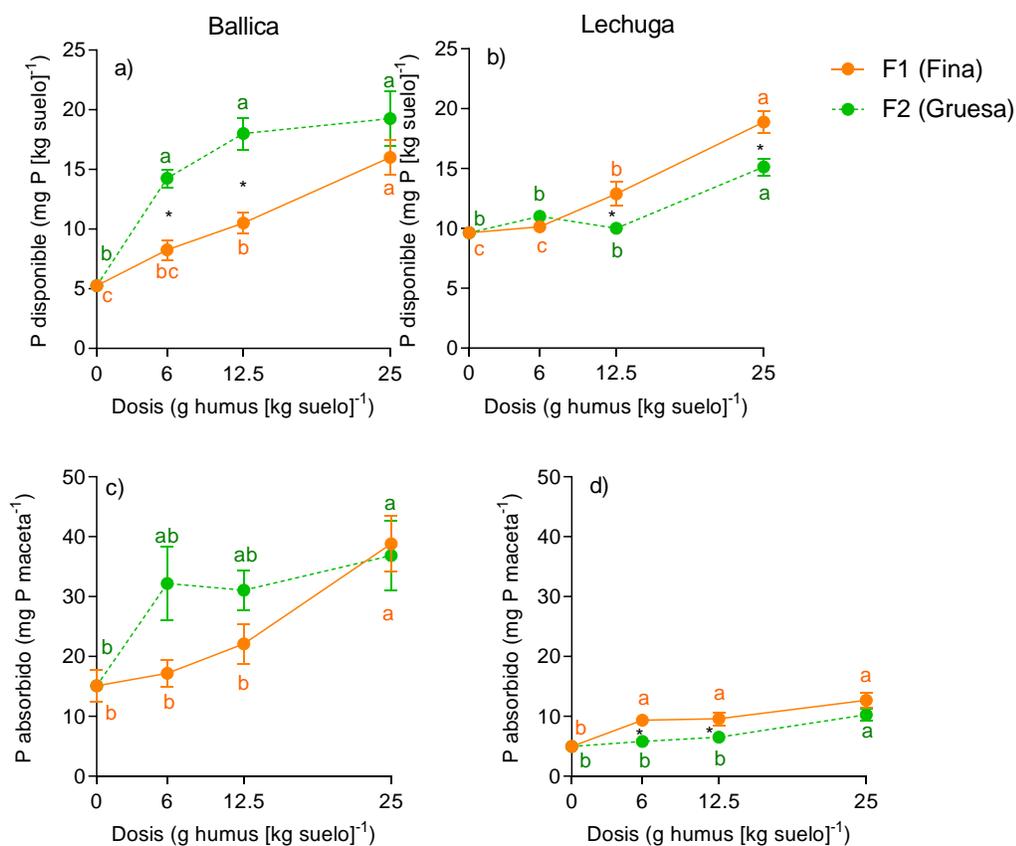
En el caso de la MS aérea, para ballica (Figura 6c) se observa una tendencia al aumento a medida que se aplica una mayor dosis de humus al suelo, aunque no existen diferencias estadísticas. Sin embargo, para el caso de la producción de MS radical, existe una respuesta positiva de la ballica a la aplicación de humus. En el caso de la lechuga, a medida que se agrega una mayor dosis de humus, mayor es la MS aérea y radical, alcanzando la máxima producción con una dosis de 12,5 g humus kg suelo<sup>-1</sup> para la fracción fina de humus (F1), aunque en el caso de la fracción gruesa (F2), la producción de MS aérea aumentó hasta la aplicación más alta de humus (Figura 6d). Algo similar ocurre para la MS radical de lechuga.

Con relación a la disponibilidad de los nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo, luego de la aplicación de humus, se observa en general, un efecto positivo (Figuras 8 y 9, a y b respectivamente). Sin embargo, para el caso del N disponible, aunque la tendencia es al aumento, no hay diferencias entre las dosis (Figura 7a y b). Del mismo modo, la absorción de N fue levemente afectada por la dosis, siendo mayor en ballica que en lechuga (Figura 7 c y d).

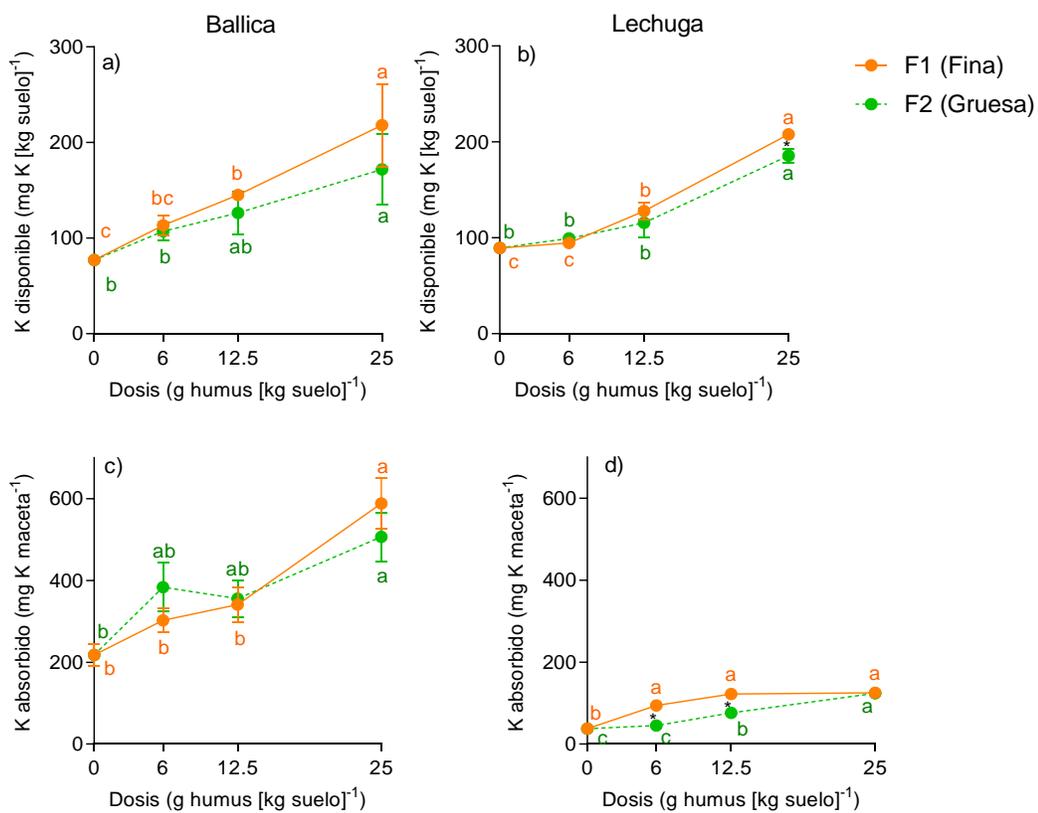
Por el contrario, en el caso de P, la absorción de ballica y lechuga fue mayor a las dosis más altas, aunque la absorción de P por parte de ballica fue aproximadamente tres veces mayor que en lechuga. En ballica no hubo diferencias significativas para la absorción de P entre las dos fracciones de humus. Sin embargo, a medida que aumenta la dosis de humus se observa una mayor absorción (Figura 8c). Por otro lado, al analizar la disponibilidad de P en el suelo existe una diferencia significativa entre ambas fracciones a dosis de 6 y 12,5 g de humus kg suelo<sup>-1</sup>, siendo la fracción gruesa F2 la que alcanza un valor más alto (Figura 8a). Por otro lado, la absorción de P en lechuga fue diferente entre las fracciones con dosis de 6 y 12,5 g humus kg suelo<sup>-1</sup> (Figura 8d).

Como consecuencia del aumento de la dosis de humus, aumentó la disponibilidad de K en el suelo. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre las fracciones. Debido a lo anterior, la absorción de K en ambas especies aumentó de acuerdo a la dosis. Nuevamente, y al igual que en el caso del P, la absorción de K en ballica fue mayor que en lechuga. Al comparar las fracciones, en lechuga hubo diferencias entre ellas para la absorción de K para las dosis de 6 y 12,5 g humus kg suelo<sup>-1</sup> (Figura 9d).

También se observa un efecto del tamaño del humus aplicado al suelo. En general, y aunque en algunos casos solo en tendencia, la fracción de humus más pequeña (F1), genera un mayor aumento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo que la fracción gruesa (F2). Aunque lo anterior no se aplica al caso del P, ya que la fracción más gruesa, en uno de los casos, generó un mayor aumento del P disponible y también del P absorbido en ballica (Figura 8 a y c).



**Figura 8.** Fósforo (P) absorbido y disponible para ballica y lechuga luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup>. a) y b) P disponible en el suelo una vez establecido el cultivo; c) y d) P absorbido por la planta hasta el momento de cosecha.\* indica diferencias significativas con valor  $p < 0,05$  entre ambas fracciones en la dosis que corresponda según test-t. Letras distintas indican diferencias entre las fracciones de humus; F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) según ANOVA ( $p < 0,05$ ). El método empleado para discriminar entre las medias fue la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 9..** Potasio (K) absorbido y disponible para ballica (izquierda) y lechuga (derecha) luego de la aplicación de dos fracciones de humus F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo. a-b) K disponible en el suelo una vez establecido el cultivo; c-d) K absorbido por la planta hasta el momento de cosecha. \* indica diferencias significativas con valor  $p < 0,05$  entre ambas fracciones en la dosis que corresponda según test-t. Letras distintas indican diferencias entre las fracciones de humus; F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) según ANOVA ( $p < 0,05$ ). El método empleado para discriminar entre las medias fue la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## V. DISCUSIÓN

Son variados los factores que afectan el crecimiento y la productividad de una planta, dentro de los cuales uno de los más importantes es la fertilización del suelo. Si la concentración de nutrientes en el suelo es óptima, y sus propiedades físicas lo permiten, los cultivos producirán mejores rendimientos (Rodríguez, 1991).

En los resultados de estos ensayos se puede observar que, al incubar y aplicar una mayor dosis de humus de lombriz al suelo, mayor es la disponibilidad de nutrientes, como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). También aumenta la concentración de carbono orgánico (CO) presente en el suelo. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Wang et al. (2000), quienes realizaron aplicaciones de vermicompost y midieron su efecto sobre el crecimiento de col china (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*). En este estudio, los autores encontraron que, al aplicar vermicompost en distintas relaciones al suelo, aumentaron las concentraciones de P y K disponible. En el presente trabajo, el aumento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo también resultó en un aumento de la producción de materia seca (MS) y en un aumento de la absorción de estos nutrientes por las plantas (Figura 7, 8 y 9). El aumento en la disponibilidad de nutrientes se puede explicar por la liberación de los nutrientes contenidos en el humus, producto de la mineralización. La adición del humus aumenta la cantidad de CO soluble, lo cual incrementa la actividad biológica y facilita la mineralización del humus, producto de ello, se liberan los minerales contenidos en él (N, P, K y Ca), dejándolos en formas solubles y más disponibles para las plantas (Hidalgo y Harkess, 2002). Además de lo anterior, el humus podría actuar como un agente quelante y facilitar la desorción de nutrientes desde los coloides del suelo (Mahmoud y Ibrahim, 2012). Por otra parte, la humificación de residuos orgánicos mejora el intercambio de nutrientes en la matriz del suelo, confiriendo una mejor retención y una resistencia al lavado de los elementos químicos (Somarriba y Guzmán, 2004).

En general, un aumento de la dosis de humus resultó en un aumento de la disponibilidad de nutrientes. Esto es consecuencia de la cantidad de nutrientes presentes en el humus, los cuales fueron aplicados en dosis similares a dosis comerciales de fertilizantes sintéticos (ver Cuadro 5). Así, a mayor dosis, mayor fue la producción de materia seca (MS) total en ambas plantas. Joshi et al. (2015) observaron que aplicaciones de humus de lombriz incrementaron la germinación de semillas, altura de las plantas y la MS aérea y radical trabajando con plantas ornamentales y hortalizas. Por otro lado, además de la adición de nutrientes contenidos en el humus, es importante mencionar, que el humus mejora la capacidad de retención de agua en los suelos. Lo anterior ha sido también reportado por Marinari et al. (2000). Además, Mahmoud y Ibrahim (2012), asociaron la aplicación de humus de lombriz con el aumento de la tasa de crecimiento y con el

rendimiento de cebada, y en parte lo atribuyeron a la capacidad que posee el humus para mejorar las propiedades físicas del suelo. Como el humus de lombriz aumenta la diversidad y actividad microbiana en los suelos, Arancon y Edwards (2005) concluyeron que la aplicación de humus puede ser un importante regulador del crecimiento, la floración y los rendimientos de las plantas. Lo anterior fue sugerido en trabajos clásicos realizados por Nielson (1965), quien observó que en los tejidos de lombrices existían sustancias reguladoras del crecimiento vegetal (por ej. sustancias orgánicas como indol) que poseían un efecto sobre el crecimiento de arvejas.

En este trabajo también se evaluó el efecto del tamaño del humus aplicado al suelo. La lógica de este ensayo fue que, a menor tamaño, mayor debería ser la mineralización del humus aplicado. Así, la aplicación de la fracción más fina de humus de lombriz (F1), en el caso del ensayo de incubación y del ensayo de macetas en ambos cultivos (ballica y lechuga), produjo mayor disponibilidad de nutrientes y MS total en comparación con la fracción gruesa (F2). Esto se puede explicar, por el hecho de que la calidad del humus depende de variados factores, uno de estos es su granulometría (Bastidas, 2004). En el humus más fino, los nutrientes se encuentran en una forma más disponible para la planta, lo cual permite una absorción más rápida, ya que la mineralización también es mayor, facilitando la liberación de nutrientes. Resultados obtenidos por Martínez et al. (2008), dan cuenta que fracciones de humus de menor tamaño están asociados a agregados altamente mineralizados. Por lo tanto, humus con un tamaño de partícula pequeña pueden ser útiles en cultivos de corta duración, es decir, que necesiten una demanda inmediata de fertilizantes. Por otro lado, el humus más grueso posee liberación lenta de los nutrientes y mayor retención de humedad, el cual podría ser más útil para la fertilización de frutales y plantas que lo absorben en un plazo más largo (Bastidas, 2004). Estos resultados también son consistentes con lo observado en ensayos con humus y compost de diferentes tamaños (Hanc y Dreslova, 2016). En estos ensayos, los autores encontraron que las fracciones más pequeñas de estos productos entregaron la mayor disponibilidad de P, K y Mg.

Así, como ambas plantas son de rápido crecimiento, estas necesitan una disponibilidad inmediata de nutrientes para tener un buen desarrollo, tal como ocurrió con la fracción más fina (F1) de humus, no así con la fracción más gruesa (F2), la cual entregó una lenta liberación de nutrientes. Además, como las plantas estuvieron solamente un mes en crecimiento, la fracción F2 de humus no fue capaz de entregar los nutrientes necesarios, generando menor cantidad de MS, tal como se aprecia en las pendientes de la Figura 6. Por otro lado, con el transcurso del tiempo, se observa un aumento en la disponibilidad de NPK (Figura 4). Lo anterior se puede explicar por la mineralización del humus aplicado. Aunque en el caso de la mineralización de N, este puede inicialmente sufrir una inmovilización debido al aumento del CO soluble y el consecuente aumento de la actividad biológica del suelo (Paradelo et al., 2010). Sin embargo,

también es importante mencionar, que un aumento de la dosis de humus aplicado al suelo, resultan en una mayor disponibilidad de N (Arancon y Edwards, 2005).

Por otro lado, el P de igual manera pasa por una serie de transformaciones. Se encuentra en el suelo bajo tres compartimentos: en la solución del suelo, en una forma intercambiable que es inmediatamente disponible y otra sorbida con mayor fuerza a los coloides del suelo, y por tanto de menor disponibilidad (Barrow, 1980). Aparentemente, la adición de humus resulta en un aumento de la fracción de P disuelta en la solución del suelo. Mahmoud y Ibrahim (2012), tras sus ensayos, observaron que el P disponible aumenta con la aplicación de humus, y que probablemente la liberación de ácido húmico durante la descomposición de la materia orgánica, libere P desde formas menos disponibles. Marinari et al. (2000) encontraron aumentos similares en el P disponible luego de la aplicación de enmiendas orgánicas.

De esta misma manera, la aplicación de humus también incrementó la disponibilidad del K, lo cual se atribuye al alto contenido del nutriente presente en el humus (ver Cuadro 3) y al efecto que este puede tener sobre la liberación de nutrientes en el suelo (Germida y Siciliano, 2000). Wang et al. (2010) registraron un aumento del K disponible en el suelo al incorporar humus en distintas relaciones humus:suelo.

## VI. CONCLUSIONES

La aplicación de humus de lombriz resulta en un aumento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y en un mayor crecimiento de ballica y lechugas.

La aplicación de fracciones más pequeñas de humus posee, en general, un mejor efecto sobre la disponibilidad de nutrientes y crecimiento de ballica y lechugas.

Al momento de aplicar humus de lombriz al suelo, es importante considerar dos factores, primero; qué especie se pondrá en dicho lugar y su requerimiento nutricional, y segundo la granulometría del humus de lombriz, ya que, fracciones más finas dejan los nutrientes rápidamente disponibles para la planta, en cambio fracciones más gruesas liberan lentamente los nutrientes.

## VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amachuy, Á. 2013. Efecto de tres dosis de humus de lombriz provenientes de residuos sólidos orgánicos urbanos en el cultivo de acelga (*beta vulgaris*) en la zona de Mallasa. Tesis de Licenciado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 121 p.
- Anderson, D., Paul, E. y Arnaud, R. 1974. Extraction and characterization of humus with reference to clay-associated humus. *Canadian Journal of Soil Science* 54: 317–323.
- Arancon, N. y Edwards, C. 2005. Effects of vermicomposts on plant growth. *International Symposium Workshop on Vermi Technologies for Developing Countries (ISWVT 2005)*, Los Banos, Philippines November 16-18. 25 p.
- Bastidas, S. 2004. Evaluación de alternativas metodológicas para el manejo integrado de suelo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) en la provincia del Carchi. Tesis de Licenciado en Ingeniería Agropecuaria. Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra, Ecuador. 166 p.
- Basaure, P. 1995. *Lombricultura: Manual técnico*. Agroflor Lombricultura. Chile. 43 p.
- Barrow, N. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In: *The role of phosphorus in agriculture*. Eds: Khasawneh, F. Sample, E. and Kamprath, E. ASA-CSSA-SSA, Madison, USA. 333–359.
- Berdugo, J. y Carvajal, P. 2014. Fertilización convencional vs fertilización orgánica. <https://prezi.com/hazr7r04c8vo/fertilizacion-convencional-vs-fertilizacion-organica/>
- Bernal, J. y Espinosa, J. 2003. *Manual de nutrición y fertilización de pastos*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Bogotá, Colombia. 100 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo*. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bouzo, C. y Favaro, J. 2002. Curva de crecimiento adimensional en lechuga para el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. *Universidad Nacional del Litoral*. Santa Fe, Argentina. 10 p.
- Céspedes, M. 2010. Manejo de la fertilidad del suelo. *Boletín técnico N° 4*. Centro Regional de Investigaciones Quilamapu, INIA. Chillán, Chile. 11 p.
- Céspedes, M. 2017. Manejo de la fertilidad del suelo. *Centro Regional de Investigaciones Quilamapu, INIA*. Chillán, Chile. 2 p.
- Cerón, L. y Ariztizábal, F. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología* 1: 285-295.

- Condori, M. y Borda, A. 2014. Influencia del humus de lombriz en el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum*) variedad única en la zona yunga - La cantuta durante el año 2011. Tesis de Licenciado en Educación. Facultad de Agropecuaria y Nutrición. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Lima, Perú. 102 p.
- Demagnet, R. 2004. Identificación de especies forrajeras. Cátedra de gramíneas, Universidad de la frontera. [http://praderasypasturas.com/files/menu/catedras/praderas\\_y\\_pasturas/2004/02-Identificacion-de-Especies-Forrajeras.pdf](http://praderasypasturas.com/files/menu/catedras/praderas_y_pasturas/2004/02-Identificacion-de-Especies-Forrajeras.pdf)
- Díaz, J. 2017. Malherbología – Maleza principal de cultivos anuales y huertos frutales: Ballica, ballica italiana. Ficha técnica N° 81. INIA. Santiago, Chile. 2 p.
- FAO. 2002. Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. 77 p.
- Fuentes, A. 1996. Evaluación de cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el sistema hidropónico NFT continuo e intermitente. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de agronomía. Universidad de Talca. Talca, Chile. 88 p.
- Germida, J. y Siciliano, J. 2000. Microbially Mediated Process. En: Handbook of Soil Science, Ed. Sumner, M.E. CRC Press, Boca Raton, Florida. 95-117.
- Giaconi, V. y Escaff, M. 1993. Cultivo de hortalizas. 8ª Ed. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 333 p.
- Gavrilov, K. 1963. Earthworms, producers of biologically active substances. Journal of General Biology 24: 149–54.
- Hanc, A. y Dreslova, M. 2016. Effect of composting and vermicomposting on properties of particle size fractions. Bioresource Technology 217: 186–189.
- Hidalgo, P. y Harkess, R. 2002. Earthworm castings as a substrate amendment for chrysanthemum production. HortScience 37(7): 1035–1039.
- Hirzel, J. y Salazar, F. 2011. Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos. Curso de acreditación para operadores SIRSD. INIA. Santiago, Chile. 30 p.
- INN. 2009. Determinación de contenido de nitrógeno total – Método por combustión según principio de Dumas. Norma NCh2748. Alimentos. División de Normas del Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile. 15 p.
- Jackson, L. 1995. Root architecture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca spp.*). Plant, Cell and Environment 18(8): 885–897.
- Joshi, R., Singh, J. y Vig, A. 2015. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 14(1): 137–159.
- MacCarthy, P. 2001. The principles of humic substances. Soil Science 166: 738–751.

- Mahmoud, E.K. y Ibrahim, M.M. 2012. Effect of vermicompost and its mixtures with water treatment residuals on soil chemical properties and barley growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 431–440.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B. y Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology* 72: 9–17.
- Martínez, E., Fuentes, J. y Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1): 68–96.
- Ndegwa, P., Thompson, S. y Das, K. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 71: 5-12.
- Nielson, R.L. 1965. Presence of plant growth substances in earthworms demonstrated by paper chromatography and the went pea test. *Nature* 208: 1113.
- Origen-humus. 2018. Lombricultura tierra nueva. <http://www.humus-origen.cl/producto/>
- Paradelo, R., Moldes, A.B. y Barral, M.T. 2011. Carbon and nitrogen mineralization in a vineyard soil amended with grape marc vermicompost. *Waste Management and Research* 29: 1177–1184.
- Pérez, A. 2011. Humus de lombriz como materia prima en la elaboración de sustratos para la producción de plantines de hortalizas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 38 p.
- Pinochet, D. 2005. El sistema de recomendación de fertilización de cultivos extensivos en Chile. En: García, F., Micucci, G. (Eds.). *Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. INPOFOS /Fertilizar*. Rosario, Argentina. 35-39.
- Rice, J. 2001. Humin. *Soil Science* 166: 848–857.
- Rodríguez, J. 1991. *Manual de fertilización*. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 362 p.
- Rodríguez, J., Pinochet, D., Matus, F.J. 2001. *Fertilización de los cultivos*. Editorial LOM. Santiago, Chile. 117 p.
- Rodríguez, J. 1993. *La fertilización de los cultivos, un método racional*. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 290 p.
- Romero, M., Santos, A., García, R. y Ferrera, R. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34: 261-269.
- Saavedra, G. 2017. *Manual de producción de Lechuga*. INIA. Santiago, Chile. 09, 150
- Sadzawka, R., Carrasco, M., Grez, Z., Mora, M., Flores, H. y Neaman, A. 2006. *Métodos de análisis de recomendados para los suelos de Chile*. Revisión 2006. Serie Actas N°34, INIA. Santiago, Chile, 164p.
- Schuldt, M. 2006. *Manual de lombricultura teoría y práctica*. Ed. Mundiprensa. Madrid, España. 188 p.

Schnitzer, M. y Schuppli, P. 1989. The extraction of organic matter from selected soils and particle size fractions with 0.5 M NaOH and 0.1 M Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> solutions. *Canadian Journal of Soil Science* 69: 253–262.

SG 2000. 2015. Ballica anual, Ficha técnica, SG 2000 expertos en semillas. Santiago, Chile. 4 p.

Somarriba, R. y Guzmán, G. 2004. Análisis de la influencia de la cachaza de azúcar y estiércol de bovino como sustrato de lombriz roja californiana para producción de humus. Tesis de licenciado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Desarrollo Rural. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 55 p.

Swift, R. 1996. Organic matter characterization. En: D.L. Sparks (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA Book Series, N° 5. SSSA, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. 1011–1029.

Tenecela, X. 2012. Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos. Tesis para optar al título de Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 113 p.

Viñán, J. (2008). Evaluación de diferentes niveles de humus (4, 5, 6 Ton/ha) en la producción primaria del *Lolium perenne* explotada en el Cantón Guano, provincia de Chimborazo. Tesis para optar al título de Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 99 p.

Wang, D., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Hu, J., Liu, J. y Yang, F. 2010. Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris ssp. chinensis*). *Biology and Fertility of Soils* 46: 689–696.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1..** Variación del N disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo

Fracción	Tratamiento (g humus kg suelo <sup>-1</sup> )	Tiempo (días)						
		0	15	30	45	60	90	120
F1	0	4,4 a A	12,4 a AB	18,8 ab BC	24,2 c C	18,0 a BC	13,4 ab ABC	18,0 ab BC
	6	8,8 b A	16,8 a AB	19,4 b B	24,2 bc B	17,8 a AB	14,0 b B	20,2 b AB
	12,5	4,8 ab A	18,4 a B	17,4 ab AB	12,2 b AB	15,2 a AB	12,2 ab AB	18,4 ab AB
	25	6,2 c B	12,4 b C	17,6 a AB	5,4 a A	9,8 a AB	16,6 a AB	15,8 a AB
F2	0	4,4 a A	12,4 a AB	18,8 a BC	24,2 b C	18,0 a BC	13,4 a ABC	18,0 a BC
	6	11,0 a A	14,6 a AB	19 a AB	19,4 b B	16,2 a AB	20,8 a AB	18,6 a AB
	12,5	8,0 a A	19,0 a B	15,4 a B	14,8 a AB	10,8 a B	15,4 a AB	15,4 a B
	25	18,0 a A	38,2 a AB	11,4 a B	3,4 a A	11,8 a AB	9,4 a B	9,6 a B

Promedios (mg N kg<sup>-1</sup>) seguidos por letras minúsculas indican una diferencia entre los tratamientos para el mismo tiempo. Letras mayúsculas indican una diferencia para el mismo tratamiento a través del tiempo. ANOVA 1 vía (p<0,05). El método empleado para discriminar entre las medias es test de Tukey (p<0,05).

**Anexo 2.** Variación del P disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo

Fracción	Tratamiento (g humus kg suelo <sup>-1</sup> )	Tiempo (días)					
		0	15	45	60	90	120
F1	0	13,0 a A	13,8 a AB	13,6 a AB	13,0 a A	13,8 a AB	14,4 a B
	6	14,4 a BC	15,4 a C	14,8 b ABC	14,6 b ABC	15,4 b A	14,6 a AB
	12,5	19,4 b B	17,6 b AB	16,0 c A	16,6 c A	15,8 c A	16,0 b A
	25	21,2 c C	20,6 c B	19,4 d A	20,0 d A	18,2 d A	18,6 c A
F2	0	13,0 a A	13,8 a AB	13,6 a AB	13,0 a A	13,8 a AB	14,4 ab B
	6	14,8 a A	15,2 b A	13,8 ab A	14,0 b A	13,2 a A	13,6 a A
	12,5	18,6 ab A	17,0 c AB	15,2 b A	16,0 c A	15,0 c A	15,4 c A
	25	25,8 b A	21,2 d A	18,2 c A	19,0 d A	17,8 d A	19,0 d A

Promedios (mg P kg<sup>-1</sup>) seguidos por letras minúsculas indican una diferencia entre los tratamientos para el mismo tiempo. Letras mayúsculas indican una diferencia para el mismo tratamiento a través del tiempo. ANOVA 1 vía (p<0,05). El método empleado para discriminar entre las medias es test de Tukey (p<0,05).

**Anexo 3.** Variación del K disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo.

Fracción	Tratamiento (g humus kg suelo <sup>-1</sup> )	Tiempo (días)						
		0	15	30	45	60	90	120
F1	0	95,8 a A	95,6 a A	102,2 a AB	109,0 a B	98,8 a A	99,0 a A	103,2 a AB
	6	133,0 b A	121,8 b A	137,4 a A	149,6 ab A	137,2 b A	140,0 b A	131,0 a A
	12,5	145,2 c A	164,6 c A	167,8 ab A	175 bc B	156,6 c A	164 c A	157,0 b A
	25	181,2 d A	194,2 d A	222,8 b A	238 c A	215,8 d A	224,4 d A	218,0 c A
F2	0	95,8 a A	95,6 a A	102,2 a AB	109,0 a B	98,8 a A	99,0 a A	103,2 a AB
	6	123,6 b BC	117,4 a A	142,4 b B	144,8 b C	122,4 b B	125,8 b BC	114,6 b AB
	12,5	164,0 b A	147,8 b BC	156,4 c BC	187 c C	150,6 c AB	160,0 c BC	152,8 c AB
	25	199,6 c A	201,6 b AB	205,2 d AB	200,6 d B	203,4 d AB	217,0 d AB	202,8 d AB
Promedios (mg K kg <sup>-1</sup> ) seguidos por letras minúsculas indican una diferencia entre los tratamientos para el mismo tiempo. Letras mayúsculas indican una diferencia para el mismo tratamiento a través del tiempo. ANOVA 1 vía (p<0,05). El método empleado para discriminar entre las medias es test de Tukey (p<0,05).								

**Anexo 4.** Variación del CO disponible luego de la incubación de dos fracciones de humus, F1 (0,5-0,05 mm) y F2 (2-1 mm) en dosis de 6, 12,5 y 25 g kg de suelo<sup>-1</sup> y la evolución a través del tiempo

Fracción	Tratamiento (g humus kg suelo <sup>-1</sup> )	Tiempo (días)					
		0	30	45	60	90	120
F1	0	0,519 a A	0,575 a B	0,547 a AB	0,594 a B	0,516 a A	0,506 a A
	6	0,541 a A	0,633 a A	0,645 a A	0,636 b A	0,648 a A	0,629 a A
	12,5	0,580 b B	0,751 b A	0,746 b AB	0,725 c A	0,723 b AB	0,642 b A
	25	0,583 b A	0,842 c A	0,955 c A	0,876 d A	0,873 b A	0,803 c A
F2	0	0,519 a A	0,575 a B	0,547 a AB	0,594 a B	0,516 a A	0,506 a A
	6	0,560 a A	0,589 ab AB	0,596 b AB	0,523 ab AB	0,552 b B	0,527 b AB
	12,5	0,775 a A	0,690 bc B	0,697 c B	0,671 b B	0,718 b B	0,655 b AB
	25	0,870 a A	0,848 c B	0,852 d B	0,832 c B	0,773 c B	0,781 c B
Promedios (mg CO kg <sup>-1</sup> ) seguidos por letras minúsculas indican una diferencia entre los tratamientos para el mismo tiempo. Letras mayúsculas indican una diferencia para el mismo tratamiento a través del tiempo. ANOVA 1 vía (p<0,05). El método empleado para discriminar entre las medias es test de Tukey (p<0,05).							

**Anexo 5.** Suministro de N proveniente del suelo y humus de lombriz para la planta y N absorbido por la planta.

Especie	Fracción	Dosis g Humus maceta <sup>-1</sup>	N Suelo g N maceta <sup>-1</sup>	N Humus g N dosis <sup>-1</sup>	N Total g N maceta <sup>-1</sup>	N Planta g N planta <sup>-1</sup>	Diferencia N Total - N Planta
Ballica	.	0,00	0,012	0,000	0,012	0,048	-0,036
	F1	9,00	0,012	0,075	0,087	0,049	0,038
		18,75	0,012	0,156	0,168	0,054	0,114
		37,50	0,012	0,311	0,323	0,066	0,257
	F2	9,00	0,012	0,075	0,087	0,059	0,028
		18,75	0,012	0,156	0,168	0,059	0,109
37,50		0,012	0,311	0,323	0,056	0,268	
Lechuga	-	0,00	0,012	0,000	0,012	0,007	0,005
	F1	9,00	0,012	0,075	0,087	0,011	0,075
		18,75	0,012	0,156	0,168	0,013	0,155
		37,50	0,012	0,311	0,323	0,019	0,304
	F2	9,00	0,012	0,075	0,087	0,011	0,075
		18,75	0,012	0,156	0,168	0,010	0,157
		37,50	0,012	0,311	0,323	0,011	0,313

**Anexo 6.** Suministro de P proveniente del suelo y humus de lombriz para la planta y P absorbido por la planta.

Especie	Fracción	Dosis g Humus maceta <sup>-1</sup>	P Suelo g P maceta <sup>-1</sup>	P Humus g P dosis <sup>-1</sup>	P Total g P maceta <sup>-1</sup>	P Planta g P planta <sup>-1</sup>	Diferencia P Total - P Planta	
Ballica	-	0,00	0,069	0,000	0,069	0,007	0,062	
	F1	9,00	0,069	0,029	0,098	0,007	0,091	
		18,75	0,069	0,060	0,129	0,010	0,119	
		37,50	0,069	0,120	0,189	0,014	0,175	
	F2	9,00	0,069	0,029	0,098	0,014	0,084	
		18,75	0,069	0,060	0,129	0,015	0,114	
		37,50	0,069	0,120	0,189	0,016	0,173	
	Lechuga	-	0,00	0,069	0,000	0,069	0,002	0,067
		F1	9,00	0,069	0,029	0,098	0,002	0,096
18,75			0,069	0,060	0,129	0,003	0,126	
37,50			0,069	0,120	0,189	0,003	0,186	
F2		9,00	0,069	0,029	0,098	0,002	0,095	
		18,75	0,069	0,060	0,129	0,002	0,127	
		37,50	0,069	0,120	0,189	0,002	0,187	

**Anexo 7.** Suministro de K proveniente del suelo y humus de lombriz para la planta y K absorbido por la planta.

Especie	Fracción	Dosis g Humus maceta <sup>-1</sup>	K Suelo g K maceta <sup>-1</sup>	K Humus g K dosis <sup>-1</sup>	K Total g K maceta <sup>-1</sup>	K Planta g K planta <sup>-1</sup>	Diferencia K Total - K Planta
Ballica	-	0,00	0,173	0,000	0,173	0,097	0,076
	F1	9,00	0,173	0,048	0,220	0,130	0,090
		18,75	0,173	0,099	0,272	0,154	0,118
		37,50	0,173	0,199	0,371	0,208	0,163
	F2	9,00	0,173	0,048	0,220	0,168	0,052
		18,75	0,173	0,099	0,272	0,175	0,097
37,50		0,173	0,199	0,371	0,221	0,151	
Lechuga	-	0,00	0,173	0,000	0,173	0,012	0,160
	F1	9,00	0,173	0,048	0,220	0,016	0,204
		18,75	0,173	0,099	0,272	0,024	0,248
		37,50	0,173	0,199	0,371	0,030	0,342
	F2	9,00	0,173	0,048	0,220	0,019	0,202
		18,75	0,173	0,099	0,272	0,026	0,246
37,50		0,173	0,199	0,371	0,030	0,342	