



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el crecimiento de plantas
de lechuga (*Lactuca sativa*), en la Región del Maule**

MEMORIA DE TITULO

RODRIGO EDUARDO ZÚÑIGA PIÑA

TALCA, CHILE

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



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el crecimiento de plantas
de lechuga (*Lactuca sativa*), en la Región del Maule**

Por

RODRIGO EDUARDO ZÚÑIGA PIÑA

MEMORIA DE TITULO

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

INGENIERO AGRONOMO

TALCA, 2019

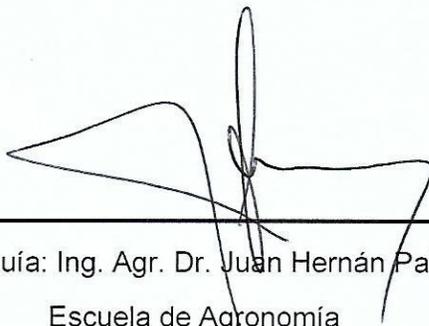
Aprobación:



Profesor Guía: Ing. Agr. Dr. Ricardo Alfonso Cabeza Pérez

Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias



Profesor Co-guía: Ing. Agr. Dr. Juan Hernán Paillán Legüe

Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Fecha de presentación de Memoria de Título: 17 de mayo, 2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia quienes han sido mis tres pilares fundamentales Berta Piña, Carlos Zúñiga y Joaquín Zúñiga. Gracias por su apoyo y cariño incondicional en los buenos y malos momentos.

Agradezco a mi profesor guía Ricardo Cabeza por su apoyo y paciencia en este último tramo en la Universidad. También agradezco a todo el equipo de la Facultad de Ciencias Agrarias por ayudarme cuando lo necesite, especialmente a María Parada por encontrar una solución a la mayoría de mis problemas. Agradezco a Carolina Vásquez por toda su ayuda y vasto conocimiento que pudo entregarme.

Finalmente agradezco a todos mis amigos y amigas, dentro y fuera de la Universidad con quienes compartí una etapa increíble de mi vida.

RESUMEN

En Chile el exceso de aplicaciones de fertilizantes inorgánicos en la agricultura convencional, provocan una degradación apresurada de la materia orgánica del suelo (MOS), perdiendo potencial productivo y dañando de manera permanente el suelo. Por ello, es importante incrementar los niveles de la MOS ya que en ella se encuentran nutrientes y microorganismos que favorecen la descomposición de restos animales y vegetales, transformándolos en sustancias aprovechables por las plantas, creando un ciclo beneficioso para todos los organismos del suelo. Fomentar la agricultura orgánica es esencial para no perder el potencial productivo de los suelos y así obtener mayores producciones y crear menor dependencia de los fertilizantes inorgánicos. Si los manejos de fertilización inorgánica no cambian, los suelos seguirán perdiendo potencial productivo, lo que conllevará a una menor producción a nivel nacional y a un aumento en los costos de producción por parte de los agricultores. Por otra parte, los niveles de nitrato presentes en los órganos comestibles de hortalizas (hojas en el caso de la lechuga) pueden provocar daños permanentes en las personas que las consumen. En este estudio se investigó el efecto de la aplicación de sustancias orgánicas que provienen de la humificación y el compostaje sobre el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*). Para ello se utilizaron tres tratamientos con soluciones distintas, una de ellas a partir de un extracto de humus, la otra una mezcla de extracto de humus y bacterias fijadoras no simbióticas de nitrógeno atmosférico (N₂) (*Kosakonia radicincitans*), y la última solución a partir de un purín de algas. Se utilizó un tratamiento control (sin fertilizar) y dos tipos de suelos. Los resultados muestran que el nitrógeno (N) tuvo el mayor efecto sobre el crecimiento de lechuga y que las sustancias húmicas si tuvieron efectos positivos en el crecimiento de las plantas. Por otra parte, debido a la mineralización de las sustancias húmicas en el suelo, se recomienda prolongar el tiempo de aplicación para obtener efectos positivos en el suelo y sobre el crecimiento las plantas.

ABSTRACT

In Chile, the excess of inorganic fertilizer applications in conventional agriculture cause a hurried degradation of soil organic matter (SOM), losing productive potential and permanently damage to the soil. Therefore it is important to increase the levels of SOM, because it contains nutrients and microorganisms that stimulate the decomposition of animal and plant remains, transforming them into substances that can be used by the plants, creating a beneficial cycle for all organisms in the soil. Promoting organic agriculture is essential to not continue losing productive potential in soils and thus obtain higher yields and creating less dependence on inorganic fertilizers. If the inorganic fertilization management does not change, the soils will continue to lose productive potential, which will lead to a lower national production and an increase in the production costs by farmers. In addition, the levels of nitrates present in edible parts of the plants (leaves in case of lettuce), can cause permanent damage to people who consume them. This study investigated the effect of the application of organic substances, which come from humification and composting on growth in lettuce plants (*Lactuca sativa*). For this, three treatments with different solutions were used, one of them from a humus extract, the other a mixture of humus extract and a non-symbiotic nitrogen fixing bacteria (N_2)(*Kosakonia radicincitans*), and the last solution from a seaweed purin. A control treatment (without fertilization) and two types of soils were used. The results show that nitrogen (N) had the greatest effect on lettuce growth and that the humic substances did have positive effects on plants growth. On the other hand, due to the mineralization of humic substances in the soil, it is recommended to extend the application time to obtain positive effects on the soil and on the growth of the plants.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Hipótesis.....	14
1.2 Objetivos generales.....	14
1.3 Objetivos específicos.....	14
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 <i>Lactuca sativa</i> , origen y descripción botánica.....	15
2.2 Variedad y temperatura óptima de crecimiento.....	15
2.3 Requerimiento de suelo.....	15
2.4 Suelo serie Rancagua y serie Talca.....	16
2.5 Nitrógeno y nitratos.....	16
2.6 Agricultura orgánica.....	16
2.6.1 Aspectos generales.....	16-17
2.6.2 Situación internacional.....	17-18
2.6.3 Situación nacional.....	18-19
2.7 Materia orgánica.....	19-20
2.8 Sustancias húmicas.....	20
2.9 El compost y sus efectos en el suelo.....	20-21
2.10 Carbono orgánico del suelo.....	21
2.11 Mineralización del nitrógeno (N).....	21-22
2.12 <i>Kosakonia radicincitans</i>	22

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1 Lugar del estudio.....	23
3.2 Toma de muestras de suelo.....	23
3.3 Diseño y preparación del experimento.....	23-24
3.4 Trasplante y primer riego.....	24
3.5 Riego.....	24-25
3.6 Cosecha y obtención de materia fresca aérea (MFA) y materia seca aérea (MSA).....	25-26
3.7 Análisis químico de suelos y concentración de nutrientes en las hojas.....	26
3.8 Análisis estadístico.....	27
IV. RESULTADOS.....	28
4.1 Balance de nutrientes.....	28
4.1.1 Balance de nitrógeno (N).....	28-29
4.1.2 Balance para macronutrientes (P, K, Ca y Mg).....	30-32
4.1.3 Balance para micronutrientes (Zn, Cu y Fe).....	32-33
4.2 Análisis de la materia seca aérea (MSA) y materia fresca aérea (MFA) para plantas de <i>Lactuca sativa</i> var. <i>fabietto</i>	34-35
4.3 Relación de N absorbido y N disponible.....	36
V. DISCUSIÓN.....	37-39
VI. CONCLUSIONES.....	40
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41-45
VIII. ANEXOS.....	46-47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Crecimiento de la superficie orgánica producida por región a nivel mundial en los años 2014 y 2015. Fuente: Elaborado por Odepa con información de FILB, 2017.....	17
Cuadro 2. Crecimiento de la superficie orgánica producida por rubro en los años 2014, 2015 y 2016. Fuente: elaborado por Odepa con información del Servicio Agrícola y Ganadero, 2017.....	19
Cuadro 3. Detalle de cada tratamiento según el tipo de fertilización utilizado.....	23
Cuadro 4. Soluciones preparadas para cada tratamiento en el ensayo de crecimiento de lechugas.....	24
Cuadro 5. Balance de N para cada tratamiento en dos suelos distintos: N mineralizado inicialmente desde la MOS (según fórmula): calculado a partir de la cantidad de COS; N inicial en el suelo: N aportado según los análisis de suelo; N aplicado desde los tratamientos: N entregado a partir de las soluciones orgánicas en los riegos; N total disponible: sumatoria del N mineralizado, análisis de suelo y aplicado vía riego; N absorbido por la planta: N absorbido según análisis foliar; N remanente en el suelo: diferencia entre N total disponible y N absorbido. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas con extracto de humus; T3: plantas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas con purín de algas. Los valores corresponden al promedio de 4 repeticiones con el error estándar en paréntesis.....	29
Cuadro 6. Balance para Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) en cada tratamiento para ambos suelos. Aplicado: cantidad total del nutriente aplicado con enmiendas orgánicas vía riego en cada tratamiento; Absorbido: cantidad absorbida del nutriente por las plantas según análisis foliar; Tomado del suelo: cantidad del elemento absorbido por las plantas por sobre la cantidad suministrada con la enmienda. T1: plantas sin fertilización orgánica; T2: plantas con extracto de humus; T3: plantas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas con purín de algas. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones con su respectivo error estándar en paréntesis.....	31
Cuadro 7. Balance para Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Hierro (Fe), para cada tratamiento de ambos suelos. Aplicado: cantidad total del micronutriente aplicado con enmiendas orgánicas	

vía riego en cada tratamiento; **Absorbido:** cantidad absorbida del micronutriente por las plantas según análisis foliar; **Tomado del suelo:** cantidad del elemento absorbido por las plantas sobre la cantidad suministrada con la enmienda. T1: plantas sin fertilización orgánica; T2: plantas con extracto de humus; T3: plantas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas con purín de algas. Los valores corresponden a las medias de cuatro repeticiones, con su respectivo error estándar entre paréntesis.....33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie orgánica certificada total en Chile separada por región para la temporada 2017. Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, Sistema Informático de Registro Nacional de Certificación Orgánica.....18

Figura 2. Materia Seca Aérea (MSA) producida por plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) en dos suelos y fertilizadas con diferentes enmiendas orgánicas. Suelo 1 (barras de color azul): suelo Rancagua, Suelo 2 (barras de color naranja): suelo Talca. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas fertilizadas con extracto de humus; T3: plantas fertilizadas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas fertilizadas con purín de algas. Las barras indican el promedio de cuatro repeticiones \pm error estándar. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos, según la prueba Tukey HSD con un 95% de confianza.....34

Figura 3. Materia fresca aérea (MFA) producida por plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) en dos suelos y fertilizadas con diferentes enmiendas orgánicas. Suelo 1 (barras de color azul): suelo Rancagua, Suelo 2 (barras de color naranja): suelo Talca. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas fertilizadas con extracto de humus; T3: plantas fertilizadas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas fertilizadas con purín de algas. Las barras indican el promedio de cuatro repeticiones \pm error estándar. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos, según la prueba Tukey HSD con un 95% de confianza.....35

Figura 4A y 4B. Nitrógeno absorbido: N absorbido por plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) en relación al N disponible en el suelo 1 (Rancagua) (A) y en el suelo 2 (Talca) (B). **N disponible:** es la suma del N aplicado por las distintas enmiendas orgánicas, y el N aportado por el suelo según análisis de suelo y mineralización de la materia orgánica según fórmula. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas fertilizadas con extracto de humus; T3: plantas fertilizadas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas fertilizadas con purín de algas. Cada punto corresponde a una repetición, siendo cuatro repeticiones por cada tratamiento, para ambos suelos.....36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Promedio de absorción de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) por tratamiento para suelo Rancagua (suelo 1) y suelo Talca (suelo 2), en lechuga.....	46
Anexo 2. Promedio de absorción de micronutrientes (Zn, Cu, Fe) por tratamiento para suelo Rancagua (suelo 1) y suelo Talca (suelo 2), en lechugas.....	47

I. INTRODUCCIÓN

En Chile, la lechuga (*Lactuca sativa*) está posicionada como el tercer producto hortícola en cuanto a superficie sembrada, de esta una gran parte es producida por la pequeña agricultura o Agricultura Familiar Campesina (AFC). La superficie que representa la AFC es de alrededor de un 45% de la superficie total y el rendimiento promedio nacional por hectárea bordea las 42.880 unidades, aunque es muy variable y difícil de medir (Saavedra, 2017).

Es muy común realizar sobre aplicaciones de fertilizantes inorgánicos, principalmente de nitrógeno (N). Esto provoca una acumulación de nitratos y nitritos en las plantas, lo que podría provocar que sea más susceptible a diversas enfermedades, como por ejemplo, *Botrytis cinerea* (Sierra, 2013). Esto genera un aumento en las aplicaciones de productos químicos, ocasionando un aumento de residuos en el suelo y en los órganos comestibles de las plantas (Rodríguez et al., 2008). Hewitt (1975) también menciona que altas dosis de N pueden tener efectos negativos en las plantas, por ejemplo, acumulación de nitratos, que posteriormente pueden causar problemas de salud en los consumidores (Sierra, 2013). Según estudios realizados por Craddock (1983), parte del nitrato ingerido por seres humanos, puede ser convertido en nitrito, lo que por acumulación en el torrente sanguíneo podría causar metahemoglobinemia o incluso la formación de nitrosamina carcinogénica.

Debido a las altas cargas de fertilizantes sintéticos aplicados a los suelos y sus efectos negativos, es necesario buscar alternativas de fertilización. Una de ellas, es la fertilización con productos orgánicos como el humus. La aplicación de sustancias húmicas cambia favorablemente algunas propiedades del suelo, tales como: pH y contenido de nitrógeno (N), entre otros (Martínez et al., 2008). En general, cualquier adición de residuos orgánicos o sus derivados, como las sustancias húmicas, tienen gran importancia debido a que mejoran las propiedades físicas del suelo, como por ejemplo la aireación y la permeabilidad (Lobartini y Orioli, 1996).

Por estas razones, se estudió el crecimiento de plantas de lechuga con fertilización orgánica, como son las sustancias húmicas y purín de algas, las cuales pueden afectar la capacidad de absorción de nutrientes (Dubhini, 1995).

1.1 Hipótesis

La aplicación de sustancias húmicas al suelo que provienen del compostaje y humificación favorecen el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*).

1.2 Objetivo general

Determinar el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) con distintos tipos de fertilización orgánica.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar el crecimiento de lechugas fertilizadas con diferentes sustancias orgánicas.
- Determinar la absorción de nutrientes realizados por lechugas en los distintos tratamientos.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 *Lactuca sativa*: origen y descripción botánica

La lechuga (nombre común de *Lactuca sativa*), es nativa de regiones templadas de Asia, América del norte y Europa. Esta especie fue domesticada por los egipcios alrededor del año 4.500 A.C. y fue introducida en América por los europeos en el siglo XVII (Cerdas y Montero, 2004).

Corresponde a una planta herbácea anual, posee un tallo corto carnoso (2 a 5 centímetros) donde se insertan las hojas, las cuales pueden o no formar “cabeza”. Además, las lechugas son variadas en formas y colores, dependiendo de su variedad botánica. Presentan un sistema radicular pivotante, denso y superficial, que puede llegar hasta una profundidad de unos 60 cm, con numerosas raíces en los primeros 30 cm (Taringo, Repetto y Acosta, 2004). El cultivo puede desarrollarse en siembra directa o como almácigos para trasplante. Este último rompe la dominancia apical y permite la regeneración de raíces adventicias, lo que da como resultado un sistema radicular más ramificado y superficial (Galván y Rodríguez, 1999).

2.2 Variedad y temperatura óptima de crecimiento

La variedad utilizada para este estudio fue *Lactuca sativa* var. *fabiETTO*, la cual corresponde a una lechuga tipo española. Presentan hojas internas que forman un cogollo amarillento, y hojas externas lisas, orbiculares y anchas. Es una variedad precoz y se recomienda para la producción en invernadero. La lechuga tipo española aumenta su peso seco a temperaturas moderadas, pero luego (manteniendo la misma temperatura) a medida que la planta envejece, la tasa de peso seco decrece. Por lo anterior, la temperatura óptima de crecimiento inicial es de alrededor de 23 °C y luego al madurar esta es de 10 °C (Saavedra, 2017).

2.3 Requerimiento de suelo

Al desarrollar la mayor cantidad de raíces dentro de los primeros 60 cm de suelo, no es necesario un suelo profundo, pero si debe contar con buena retención de humedad y aireación, para así beneficiar la extracción de nutrientes desde el suelo por las raíces, entre otros (Jackson, 1995).

2.4 Suelo serie Rancagua y serie Talca

Los suelos serie Rancagua corresponden a suelos franco-limosos, de origen aluvial, profundos, con buena porosidad y una actividad biológica moderada en todo el perfil del suelo. Suelen ser suelos planos (0 a 1% de pendiente) y se ubican dentro del gran abanico aluvial que se extiende por ambos márgenes del Río Cachapoal (CIREN, 1997).

Los suelos serie Talca corresponden a suelos sedimentarios, a partir de sedimentos aluviales y fluvio-glaciales. Son suelos moderadamente profundos de textura franca y maciza, con buen drenaje. Presentan permeabilidad moderadamente lenta, con escurrimiento superficial lento (CIREN, 1996).

2.5 Nitrógeno y nitratos

El nitrógeno (N) es uno de los elementos más abundantes en la tierra, encontrándose en la naturaleza en forma de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O), amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrógeno elemental (N_2), elemento inerte que compone el 78% de la atmósfera terrestre. El N es un elemento esencial en la nutrición de las plantas (Salazar, 2006), principalmente en forma de nitrato, que permite la síntesis de proteínas, una vez que este ha sido asimilado. Además, cuando estos se ubican en la vacuola pueden incluso actuar como reguladores osmóticos (Behr y Wiebe, 1992). Las especies hortícolas de aprovechamiento foliar (espinacas, lechugas, entre otras), tienden a acumular NO_3^- en sus hojas, esto ocurre cuando la absorción excede a la asimilación del N dentro de la planta (Hewitt, 1975).

2.6 Agricultura orgánica

2.6.1 Aspectos generales

La agricultura orgánica es descrita como un sistema de producción agrícola alternativo, el cual está relacionado con la utilización de insumos naturales de origen vegetal o animal, como por ejemplo el estiércol. Cualquier producto sintético o químico no puede ser utilizado, ya que es un sistema que sigue la lógica de un organismo, el cual se conforma de muchos elementos

como el suelo, animales, agricultores, plantas, entre otros. Todos estos elementos están íntimamente conectados y cada uno tiene un efecto sobre el otro, este efecto puede ser tanto positivo como negativo, por lo que en la agricultura orgánica se intenta maximizar los beneficios entre estos elementos para obtener un sistema sustentable y productivo (INIA, 2005).

2.6.2 Situación internacional

Según información de la oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA, 2017), la agricultura orgánica se encuentra en 179 países con una superficie total de aproximadamente 90,6 millones de hectáreas, la cuales corresponden al 1,1% de la superficie total cultivada a nivel mundial. A continuación en el cuadro 1, se muestra la cantidad de superficie orgánica producida por regiones en el año 2014 y 2015, además de la variación entre los años 2014-2015 y 2005-2015.

Cuadro 1. Crecimiento de la superficie orgánica producida por región a nivel mundial en los años 2014 y 2015. Fuente: Elaborado por Odepa con información de FILB, 2017.

Región	Superficie orgánica 2014	Superficie orgánica 2015	Variación 2014-2015	Variación 2005-2015
Oceanía	18.532.416	22.838.513	4.306.098	10.406.693
Europa	11.757.176	12.716.969	959.793	5.403.552
Norteamérica	2.458.466	2.973.886	515.420	1.181.314
África	1.260.619	1.683.482	422.863	1.012.844
Asia	3.567.578	3.965.289	397.711	965.736
Latinoamérica	6.830.577	6.744.722	-85.855	1.795.194
Total	44.406.832	50.922.861	6.516.030	20.765.333

Como se observa en el cuadro 1, se produjo un aumento de 20,76 millones de hectáreas entre los años 2005 y 2015, y de 6,5 millones entre 2014 y 2015. En todas las regiones del mundo hubo un aumento en las superficies a diferencia de Latinoamérica, la cual disminuyó en el año 2015 debido a que en Islas Malvinas reportaron 264.000 hectáreas menos de praderas (ODEPA, 2017).

La agricultura orgánica si bien se encuentra muy lejos de sobrepasar a la agricultura convencional en cuanto a superficie, se está expandiendo rápidamente a nivel global, debido al mayor deseo de las personas por consumir productos “sanos o naturales” (ODEPA, 2017).

2.6.3 Situación nacional

El total de superficie orgánica certificada en Chile en el año 2017 fue de 174.666 hectáreas, de las cuales 50,630 (29%) se encuentran en la Región de los Ríos, 40.086 (23%) en la Región del Maule, 35.769 (20,5%) en la Región del Biobío y 33.979 (19,5%) en la Región de la Araucanía, como se puede apreciar en la figura 1 (SAG, 2017).

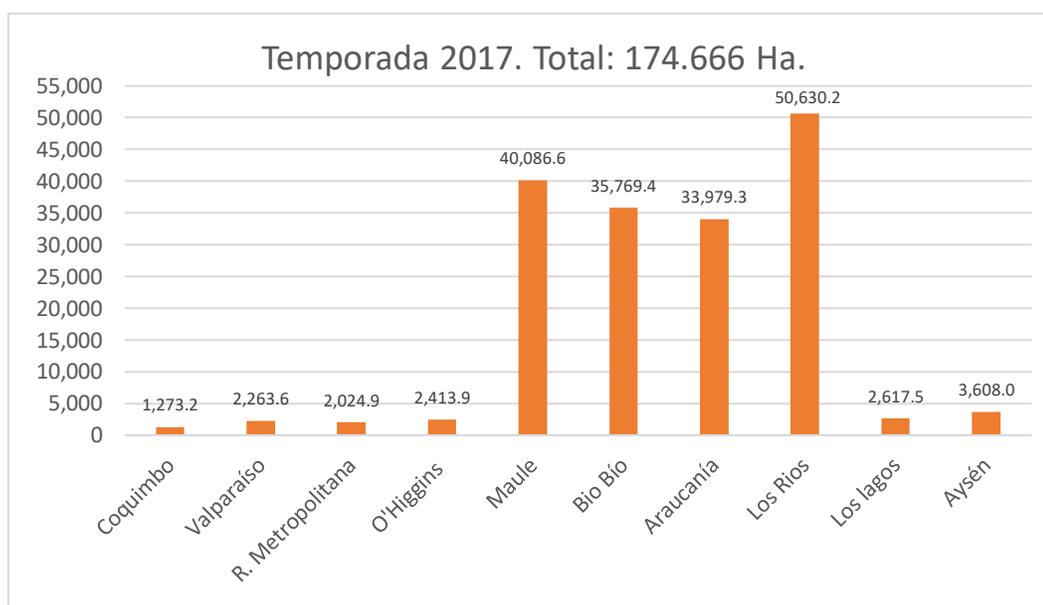


Figura 1. Superficie orgánica certificada total en Chile separada por región para la temporada 2017. Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, Sistema Informático de Registro Nacional de Certificación Orgánica.

La superficie orgánica en Chile no es estable, ya que presenta muchas variaciones en la cantidad de hectáreas producidas dependiendo del rubro, ya que la recolección silvestre es el único rubro donde la superficie a aumentado en los últimos años. Los demás rubros han disminuido sus superficies desde el año 2015 al 2016, pero tienen superficies similares al

año 2014 (ver cuadro 2). Además el cuadro 2 muestra el porcentaje de variación entre los años 2015 y 2016.

Cuadro 2. Crecimiento de la superficie orgánica producida por rubro en los años 2014, 2015 y 2016. Fuente: elaborado por Odepa con información del Servicio Agrícola y Ganadero, 2017.

Rubro	2014	2015	2016	Variación % 2016-2017
Recolección silvestre	61.751	81.054	116.136	43
Uva vinífera	3.571	3.735	3.063	-18
Frutales menores	2.384	3.600	2.478	-31
Frutales mayores (sin uva vinífera)	2.815	2.455	2.916	19
Praderas	2.548	2.698	1.621	-40
Hierbas medicinales y aromáticas	111	1.428	260	-82
Hortalizas	683	1155	499	-57
Cereales	129	269	180	-33
Semillas y plantines	32	93	34	-63
Sin uso productivo	5.598	4.499	4.788	6
Total	79.622	100.986	131.974	31

2.7 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) consiste en una mezcla de residuos animales y vegetales en distintos estados de descomposición, y en productos sintetizados biológicamente por microorganismos y pequeños animales (Aguilera y María, 2000).

La MOS y los microorganismos del suelo están íntimamente ligados, ya que la presencia de MOS permite la vida microbiana al entregar energía y nutrientes. Los microorganismos a su vez elaboran y condicionan la formación húmica (tanto su cantidad, como su calidad), por lo que ambos componentes están muy relacionados. Además, los microorganismos ayudan al proceso de mineralización el cual aporta principalmente N a las plantas, de esta forma gran cantidad de la MOS es mineralizada beneficiando la disponibilidad de N en el suelo (Gallardo, 1980).

La MOS puede verse modificada dependiendo del manejo utilizado en el suelo, como por ejemplo la rotación de cultivos y su labranza. Esta última si se utiliza continuamente puede

disminuir la cantidad de MOS, debido a una aceleración en la descomposición de residuos de cultivos incorporados en el suelo (Espinoza et al., 2007).

2.8 Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas están ampliamente distribuidas, presentes en los suelos, ríos, mares y depósitos geológicos. Son amorfas, hidrofílicas y de colores que varían de negro a café. Están constituidas por carbohidratos, ácidos orgánicos, pigmentos, grasas, proteínas y mayor parte materia orgánica soluble en agua (Lobartini et al., 1997).

Presentan una composición química compleja y no tienen una estructura física definida, por lo que es difícil conocer la cantidad exacta de elementos presentes en las sustancias húmicas, esto debido a que dependen de su origen, el método de extracción, entre otros. Beneficia tanto a las propiedades físicas como químicas del suelo tales como aireación, permeabilidad, pH, etc. De acuerdo al tipo de técnica de extracción se pueden separar en: ácidos húmicos (AH), fúlvicos (AF) y en huminas (Lobartini y Orioli, 1996). Los AF difieren de los AH en que presentan menor tamaño molecular, son menos condensados, poseen mayores grupos funcionales oxigenados y cadenas alifáticas con dobles enlaces conjugados provocando que sean más reactivos. Por otra parte los AH presentan mayor cantidad de carbono (C) e hidrógeno (H), pero menor movilidad que los AF debido a su mayor tamaño (Valero y Torres, 1999).

2.9 El compost y sus efectos en el suelo

El compost corresponde al proceso biológico de descomposición de compuestos orgánicos (estiércol, residuos vegetales, algas, etc.) hasta la formación de un producto estable y rico en sustancias húmicas. Para favorecer este proceso se necesita crear condiciones ideales para la actividad microbiana como la cantidad necesaria de agua y oxígeno, entre otros (Soto y Muñoz, 2001).

Al ingresar sustancias orgánicas al suelo, como compost o purines, se observan efectos positivos sobre las propiedades químicas del suelo, aumenta la MOS, se mejora notablemente el pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mejorando así la disponibilidad de nutrientes para el cultivo y disminuyendo la necesidad de encalar el suelo. Por otra parte, la

adición de sustancias húmicas al suelo (como purín de algas, extracto de humus, etc.) puede mejorar las propiedades físicas del suelo, como la retención de agua (Muñoz et al., 2015).

Por otro lado, en suelos cultivados de manera convencional, la pérdida de material húmico es mayor que la tasa de formación de humus, por lo tanto, es importante utilizar métodos de producción que favorezcan el aumento de sustancias húmicas en el suelo (Kern y Johnson, 1993).

2.10 Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) se encuentra en forma de residuos orgánicos vegetales, animales y de microorganismos, en forma de humus y en formas condensadas cercanas al carbono elemental (C). En condiciones normales el COS es consecuencia del balance entre, la incorporación del material orgánico fresco y la salida de C como CO₂ a la atmósfera. El COS afecta la mayoría de las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo; todas ellas vinculadas a la calidad, sustentabilidad y capacidad productiva (Martínez et al., 2008).

Según FAO (2001), el COS es un componente importante para el ciclo del C al ocupar un 69,8% del C orgánico presente en la biósfera. La MOS se estima a partir de la determinación de COS por métodos analíticos (calcinación húmeda o seca), debido a que es el principal elemento de la MOS. Una vez obtenido el COS mediante alguna metodología de laboratorio, este puede ser transformado a MOS asumiendo que la concentración de CO es relativamente constante en ella y de aproximadamente 58% (factor de van Benmelen de 1,724) (Jackson, 1964).

2.11 Mineralización del nitrógeno (N)

La mineralización corresponde al proceso donde el N orgánico del suelo es transformado por los microorganismos a formas inorgánicas como amonio (NH₄⁺) o nitrato (NO₃⁻) (Binkley y Hart, 1989). El primer producto de este proceso es el amoniaco, el cual adquiriendo un hidrógeno forma NH₄⁺ (asimilable por las plantas y microorganismos), el que puede ser fijado

por las arcillas del suelo o por la MOS; también puede volatilizarse como amoníaco en condiciones de pH alcalino y alta temperatura (T^0), u oxidado por bacterias hasta (NO_3^-). Esto último, por medio del proceso de nitrificación, puede ocasionar que se transformen en NO_2^- y luego a NO_3^- , provocando su asimilación por los microorganismos incorporándolos a su biomasa (no disponible para las plantas), este último proceso se conoce como inmovilización (Celaya y Castellanos, 2011).

2.12 *Kosakonia radicincitans*

Esta bacteria pertenece a la familia Enterobacteriaceae y al género Enterobacter, aunque recientemente se le ha designado como un miembro del género recién definido “Kosakonia” (Brady et al., 2013). Corresponde a una bacteria que promueve el crecimiento de las plantas o “PGPB” por sus siglas en inglés (Plant Growth-Promoting Bacteria), esta bacteria es inoculada en los cultivos para aumentar su rendimiento sin tener pérdida en su calidad. Esta cepa es capaz de fijar nitrógeno atmosférico (N_2) (el cual posteriormente puede ser aprovechado por las plantas) y producir fitohormonas (Berger et al., 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar del estudio

El estudio se realizó en el Centro Experimental de la Universidad de Talca ubicado en la localidad de Panguilemo, ciudad de Talca, Chile.

3.2 Toma de muestras de suelo

Se extrajeron 2 tipos de suelo, uno proveniente de la ciudad de Rancagua (serie Rancagua; suelo 1) y otro desde el mismo sector del Centro experimental (serie Talca; suelo 2). Se extrajo suficiente suelo para llenar 16 maceteros (7 L cada uno).

3.3 Diseño y preparación del experimento

El diseño experimental se muestra en el cuadro 3, el factor a evaluar fue el tipo de humus aplicado, a decir: extracto de humus, extracto de humus más bacterias y extracto de cochayuyo. El tratamiento sin fertilizar fue utilizado como control. Se realizaron 4 repeticiones por cada tratamiento dando un total de 16 maceteros por suelo y se rotularon todos los maceteros como muestra en el cuadro 1.

Cuadro 3. Detalle de cada tratamiento según el tipo de fertilización utilizado.

Suelo	Tratamientos	Descripción
Suelo1: Rancagua	T1	Plantas sin fertilización (control)
	T2	Plantas + extracto de humus
	T3	Plantas + extracto de humus + bacterias
	T4	Plantas + purín de algas
Suelo 2: Talca	T1	Plantas sin fertilización
	T2	Plantas + extracto de humus
	T3	Plantas + extracto de humus + bacterias
	T4	Plantas + purín de algas

Los maceteros se instalaron al interior de un invernadero de polietileno con estructura de madera. La distribución de los maceteros fue totalmente al azar, para que el crecimiento de las plantas no fuera afectado por su posición dentro del invernadero.

3.4 Trasplante y primer riego

Se utilizaron semillas de lechuga variedad Fabietto, también llamadas de tipo mantecosas, las cuales se germinaron en bandejas plásticas con turba alrededor de 45 días en condiciones de invernadero, para luego ser trasplantadas. Al momento del trasplante (15 de mayo de 2018) se utilizaron 16 maceteros por cada suelo y se trasplantó una planta por macetero, para luego ser regadas con agua hasta obtener la humedad de capacidad de campo del suelo, procurando compactar el suelo para que no hubiera zonas de aire entre las raíces de la planta y el suelo.

Para el trasplante, se utilizaron 32 maceteros y dos tipos de suelos a los que se trasplantó una planta por macetero. De estos 32 maceteros, 16 fueron llenados con el suelo Rancagua (suelo 1) y los otros 16 con el suelo Talca (suelo 2), ambos mezclados con perlita al 20% para aumentar su aireación y retención de humedad.

3.5 Riego

El sistema de riego fue utilizado para suministrar los productos orgánicos disueltos en el agua, a modo de un fertirriego. De esta forma, las plantas de lechuga fueron regadas con los preparados de cada sustancia orgánica que se indican en el Cuadro 4. Las aplicaciones de las sustancias húmicas fueron realizadas durante el período de crecimiento de las plantas, dando un total de 8 aplicaciones.

Cuadro 4. Soluciones preparadas para cada tratamiento en el ensayo de crecimiento de lechugas.

Soluciones	Tratamiento	Tipo del fertilizante orgánico	Concentraciones de la solución	Cantidad de solución por riego	Total aplicado
Solución 1	T2	Extracto de humus	Extracto de humus	300 mL	2.400 mL
Solución 2	T3	Extracto de humus + bacterias	6 L humus + 1 L bacteria	300 mL	2.400 mL
Solución 3	T4	Purín de algas	1,5 L de purín de alga + 6 L de agua	300 mL	2.400 mL

Se utilizaron exactamente las mismas soluciones para ambos suelos. En el caso del tratamiento 3 (extracto de humus + bacteria), la bacteria utilizada pertenece al género *Enterobacter* y su nombre científico es *Kosakonia radicincitans* (Brady et al., 2013).

Posterior al primer riego (trasplante) se comenzaron las aplicaciones con las soluciones preparadas para cada tratamiento. Cada tratamiento fue regado semanalmente con 300 mL por macetero de solución, hasta la semana antes de cosecha, con un total de 8 aplicaciones (ver cuadro 4). Las plantas de lechuga estuvieron 57 días en las macetas desde trasplante a cosecha, pero se comenzó a fertilizar 3 días después del trasplante, por lo que los días desde el comienzo de la fertilización a cosecha fueron 54. En los pocos casos que se necesitó regar por falta de humedad (más cercano a cosecha), se regó solamente con agua.

3.6 Cosecha y obtención de materia fresca aérea (MFA) y materia seca aérea (MSA)

Al momento de la cosecha (10 de julio de 2018), las plantas fueron separadas en parte aérea y radical, donde se obtuvieron inmediatamente sus materias frescas (MF aérea y MF radical respectivamente). Se utilizó como indicador del momento de la cosecha el transcurso de 40 a 60 días después del trasplante (Cerdas y Montero, 2004).

Posteriormente se llevaron a las instalaciones del Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos (CTSyC) de la Universidad de Talca, donde se determinó la materia seca aérea (MSA) producida. La MSA se obtuvo por diferencia de peso después de secar las muestras en un

horno de aire forzado a 67,5 °C y hasta alcanzar peso constante (Van Es y Van Der Meer, 1980).

3.7 Análisis químico de suelos y concentración de nutrientes en las hojas

Se tomaron muestras de suelo previas al trasplante que fueron llevadas a al laboratorio de CTSyC, donde se realizaron análisis de suelo para determinar la cantidad de N disponible y Carbono orgánico (CO) presente en los suelos de cada tratamiento, con el fin de calcular la cantidad de N disponible en el suelo y la mineralización de la MOS.

En cuanto al suelo, el N total disponible es obtenido mediante el método de digestión Kjeldahl. Este método permite determinar el N total del suelo (N amoniacal, N nitrato, N nitrito y N orgánico). El CO es determinado mediante la oxidación de la materia orgánica con una mezcla de dicromato y ácido sulfúrico, para posteriormente medir colorimétricamente el cromato reducido (Sadzawka et al., 2006).

Además, se realizaron análisis foliares a la materia seca de las plantas para obtener la absorción de cada nutriente. Para obtener la concentración de N total, se usó el método de combustión según Dumas. Este método consiste en pesar 0,1 g de la muestra vegetal seca y molida en una capsula de estaño, para luego por combustión a altas temperaturas, obtener el N molecular de la muestra. Para esto, se utilizó el instrumento TruSpec el que entrega finalmente las concentraciones de N (INN, 2009). Para obtener las concentraciones de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe), fue empleado el método de calcinación. Este método constaconsiste en secar y moler el tejido vegetal, para luego calcinarlo a 500°C, luego las cenizas se disuelven en ácido clorhídrico para obtener una solución que contiene los elementos disueltos. La solución es filtrada y en ella se determina la concentración de K, Ca, Mg, Zn, Cu y Fe utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) con llama de aire-acetileno por aspiración directa. En el caso del P, la concentración se determinó por colorimetría del complejo fosfo-vanadomolibdato (Sadzawka et al., 2007).

3.8 Análisis estadístico

El experimento tuvo un diseño completamente aleatorio. Los productos orgánicos aplicados se consideraron como el factor principal según una ANOVA de una vía (Quinn y Keough, 2002). La prueba ANOVA fue seguida por la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% para separar las medias. Finalmente se obtuvieron los residuos de los datos, y se les realizaron supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia del 5% para verificar que los datos presentaban una distribución normal. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics ®. Los gráficos fueron hechos utilizando el programa Microsoft Excel ®.

IV. RESULTADOS

4.1 Balance de nutrientes

4.1.1 Balance de nitrógeno (N)

En el presente estudio se realizó un balance de N (Cuadro 5), donde se muestra el N disponible en el suelo proveniente de la mineralización de la MOS (basado en supuestos de mineralización), el N determinado en análisis de suelo, el N aplicado por el total de riegos en cada tratamiento y el N absorbido por las plantas. Para el caso del N proveniente de la MOS, se asumió que esta tiene un 5% de N, y que de él, un 4% fue mineralizado (Binkley y Hart, 1989). De esta forma se obtuvo la cantidad de N disponible para la absorción de las plantas. Finalmente, por diferencia, se realizó un balance de N en cada tratamiento, lo cual indica la cantidad de N remanente en el suelo que no fue absorbido por las plantas.

En el tratamiento 1 (sin aplicación de fertilizantes orgánicos; T1) del suelo Rancagua (suelo 1), el balance fue negativo. Lo anterior indica que el supuesto de N mineralizado a partir de la MOS no se corresponde con la cantidad de N presente en el suelo, siendo este mayor a lo estimado. Así, los valores del tratamiento 1 se consideraron como la cantidad de N que se encuentra disponible y es absorbida por las plantas solamente desde el suelo (sin la adición de productos orgánicos).

En el suelo Rancagua, los valores iniciales de N mineralizado (previo a las aplicaciones de los tratamientos) fueron similares (Cuadro 5). Sin embargo, considerando el análisis de suelo realizado al inicio del experimento, se observa que existe una variación en la cantidad de N disponible entre los suelos de los distintos tratamientos. El suelo del tratamiento con aplicación de humus más bacterias (T3) presenta alrededor de 3 veces más concentración de N. Por otra parte, el N aplicado en las soluciones de sustancias húmicas disueltas, se distingue que el tratamiento 3 presenta alrededor de cuatro veces más N en comparación a los otros tratamientos. Debido a esto, la cantidad de N disponible en el tratamiento 3 es mayor. Por otro lado, el tratamiento 2 (extracto de humus; T2) y el tratamiento 4 (purín de algas; T4) no presentaron mayores diferencias. La mayor cantidad de N disponible en T3, probablemente ocasionó que las plantas absorbieran una mayor cantidad de N, obteniendo una diferencia significativa con respecto los demás tratamientos (ver anexo1). Debido a que en T3 la cantidad de N obtenido desde el suelo y las aplicaciones fueron tan altas, es el tratamiento donde las

plantas absorbieron una mayor cantidad de N y a la vez el de mayor cantidad de N remanente en el suelo.

Cuadro 5. Balance de N para cada tratamiento en dos suelos distintos: **N mineralizado inicialmente desde la MOS (según fórmula):** calculado a partir de la cantidad de COS; **N inicial en el suelo:** N aportado según los análisis de suelo; **N aplicado desde los tratamientos:** N entregado a partir de las soluciones orgánicas en los riegos; **N total disponible:** sumatoria del N mineralizado, análisis de suelo y aplicado vía riego; **N absorbido por la planta:** N absorbido según análisis foliar; N remanente en el suelo: diferencia entre N total disponible y N absorbido. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas con extracto de humus; T3: plantas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas con purín de algas. Los valores corresponden al promedio de 4 repeticiones con el error estándar en paréntesis.

	N mineralizado inicialmente desde la MOS (según fórmula)	N inicial en el suelo (Análisis de suelo)	N aplicado desde los tratamientos	N total disponible	N absorbido por la planta	N remanente en el suelo
Suelo 1: Rancagua -----mg N [maceta] ⁻¹ -----						
T1	271 (6)	58 (15)	0	329 (17)	370 (9)	-41(19)
T2	264 (11)	40 (22)	98	402 (20)	396 (14)	7 (15)
T3	255 (3)	151 (24)	421	826 (27)	540 (5)	286 (22)
T4	268 (3)	63 (19)	85	416 (18)	393 (10)	24 (23)
Suelo 2: Talca						
T1	365 (6)	211 (35)	0	587 (89)	427 (12)	149 (45)
T2	375 (3)	159 (28)	98	632 (28)	466 (9)	166 (29)
T3	354 (4)	359 (48)	421	1.134 (48)	495 (20)	639 (61)
T4	353 (4)	131 (45)	85	570 (45)	471 (18)	99 (37)

Por otro lado, en el Talca el N mineralizado desde la MOS fue similar entre los tratamientos, no así para el N de análisis de suelo, donde se observa que el tratamiento 3 presenta mayor cantidad de N. El tratamiento de extracto de humus y bacterias al mismo tiempo presenta alrededor de tres veces más N aplicado, lo que da como resultado un N disponible (suma del N mineralizado, del análisis de suelo y el aplicado) desde el suelo mucho más alto que los demás tratamientos. Del mismo modo, el N absorbido por las plantas presenta diferencias significativas (ver anexo 1) en el tratamiento 3, no así en los demás tratamientos (ver anexo 1).

4.1.2 Balance para macronutrientes (P, K, Ca y Mg)

Se calculó el balance para fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), según los promedios de los tratamientos estudiados para cada suelo. Para ello se determinó la cantidad absorbida de cada nutriente por las plantas de lechuga y la cantidad total aportada de cada nutriente desde las aplicaciones de cada tratamiento. Luego, mediante diferencia, se estimó los valores de los nutrientes tomados desde el suelo por las plantas de lechuga. Estos valores en su mayoría son negativos, ya que la cantidad de nutrientes entregados en las aplicaciones no siempre suplieron la cantidad absorbida por las plantas. La cantidad de nutrientes tomados desde el suelo en el tratamiento 1 (sin fertilizar) de ambos suelos, sirve para tener una referencia sobre la cantidad de nutrientes absorbidos por las plantas, que provienen únicamente del suelo (ver cuadro 6).

En el suelo proveniente de Rancagua, para P se encuentran 3 grupos estadísticamente distintos. El tratamiento 2 (extracto de humus) presenta la mayor cantidad de P aplicado con respecto a los demás tratamientos, al mismo tiempo presenta diferencia significativa al tener la mayor cantidad absorbida (ver anexo 1). El tratamiento de purín de algas también presenta diferencias significativas en cuanto a la absorción de P, pero se encuentra en un rango inferior al tratamiento de extracto de humus (ver anexo1). Cabe mencionar que si bien el tratamiento de humus con bacterias (T3) no presenta diferencia significativa en la absorción de P (anexo 1), sí presenta valores más altos que el tratamiento de purín de algas (T4) y similares al que contenía solamente extracto de humus (T2).

Por otro lado, para K los resultados son semejantes a los obtenidos en P, siendo el tratamiento de extracto de humus el que presenta diferencia significativa en cuanto a la absorción (ver anexo 1). A diferencia de P, en K solo hay 2 grupos estadísticamente distintos. El tratamiento de humus con bacterias no presenta diferencia significativa, pero presenta valores similares al tratamiento 2.

En Ca se observan 2 grupos distintos para la absorción del elemento (ver anexo 1), siendo el tratamiento de purín de algas el de mayor valor. Al igual que en P y en K, el tratamiento de humus y bacterias no presenta diferencia significativa, pero si presenta valores similares al tratamiento de mayor valor, en este caso el tratamiento 4 (purín de algas).

En Mg los tratamientos de extracto de humus y purín de algas (T2 y T4 respectivamente) presentan diferencias significativas (ver anexo 1). El tratamiento 4 presenta valores de

alrededor de 4 veces más que los demás tratamientos, por lo que es probable que debido a esto haya presentado mayor valor de absorción (ver cuadro 4).

Cuadro 6. Balance para Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) en cada tratamiento para ambos suelos. **Aplicado:** cantidad total del nutriente aplicado con enmiendas orgánicas vía riego en cada tratamiento; **Absorbido:** cantidad absorbida del nutriente por las plantas según análisis foliar; **Tomado del suelo:** cantidad del elemento absorbido por las plantas por sobre la cantidad suministrada con la enmienda. T1: plantas sin fertilización orgánica; T2: plantas con extracto de humus; T3: plantas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas con purín de algas. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones con su respectivo error estándar en paréntesis.

	Aplicado	Absorbido	Tomado del suelo	Aplicado	Absorbido	Tomado del suelo
Suelo 1	Rancagua	P (mg [maceta] ⁻¹)		K (mg [maceta] ⁻¹)		
T1	0	48 (0,9)	-48 (0,9)	0	660 (20,1)	-660 (20,1)
T2	49	61 (2,1)	-13 (2,1)	436	783 (7,9)	-347 (7,9)
T3	33	60 (0,9)	-27 (0,9)	419	770 (45,4)	-351 (45,4)
T4	26	54 (1,5)	-28 (1,5)	261	712 (18,3)	-450 (18,3)
		Ca (mg [maceta] ⁻¹)		Mg (mg [maceta] ⁻¹)		
T1	0	187 (6,2)	-187 (6,2)	0	55 (1,2)	-55 (1,2)
T2	95	207 (5,3)	-112 (5,3)	14	68 (3,9)	-54 (3,9)
T3	85	233 (8,7)	-148 (8,7)	11	56 (1,6)	-45 (1,6)
T4	110	238 (6,4)	-127 (6,4)	67	78 (2,3)	-11 (2,3)
Suelo 2	Panguilemo	P (mg [maceta] ⁻¹)		K (mg [maceta] ⁻¹)		
T1	0	42 (1,8)	-42 (1,8)	0	821 (20,9)	-821 (20,9)
T2	49	46 (1,8)	3 (1,8)	436	896 (16,2)	-460 (16,2)
T3	33	44 (2,5)	-11 (2,5)	419	856 (9,7)	-436 (9,7)
T4	26	43 (2,3)	-17 (2,3)	261	836 (22,9)	-575 (22,9)
		Ca (mg [maceta] ⁻¹)		Mg (mg [maceta] ⁻¹)		
T1	0	134 (4,8)	-134 (4,8)	0	43 (2)	-43 (2)
T2	95	141 (10,1)	-46 (10,1)	14	48 (1,6)	-34 (1,6)
T3	85	136 (4)	-51 (4)	11	44 (2,3)	-33 (2,3)
T4	110	144 (2,9)	-34 (2,9)	67	48 (3,3)	19 (3,3)

En el suelo Talca, al igual que en el suelo Rancagua, existe relación directa entre la cantidad aplicada de cada nutriente por los tratamientos y la cantidad absorbida de estos. Por lo tanto, a medida que aumenta la cantidad de nutriente aplicado, aumenta la absorción por la planta. Para el caso del P, se puede observar que las plantas fertilizadas con la enmienda hecha a partir de extracto de humus (tratamiento 2) presentan la mayor cantidad de P

absorbido, aunque no hay diferencias significativas con los otros tratamientos (ver anexo 1). Sin embargo, el tratamiento con extracto de humus fue el único con un valor positivo para P tomado desde el suelo, por lo que se puede deducir que la cantidad de P aplicada con esta enmienda fue suficiente para abastecer la cantidad demandada por la absorción de las plantas (ver cuadro 6). Además, en el tratamiento con extracto de humus las plantas de lechuga absorbieron también la mayor cantidad de K, aunque no hubo diferencias significativas con los otros tratamientos. Por otro lado, la aplicación de purín de algas (tratamiento 4) generó la mayor absorción de Ca y Mg en las lechugas. El mismo tratamiento con purín de algas mostró una mayor cantidad de Mg en el suelo Talca, resultando en un aumento de Mg en el suelo (balance positivo) (ver cuadro 6).

4.1.3 Balance para micronutrientes (Zn, Cu, y Fe)

A continuación, en el cuadro 7, se muestra un balance de micronutrientes para cada tratamiento en ambos suelos. Se obtuvo la cantidad de cada micronutriente absorbido por las plantas mediante análisis foliar. Además, se obtuvo la cantidad aplicada de cada micronutriente en base a la fertilización de cada tratamiento. Por diferencia (entre lo absorbido y lo aplicado) se obtuvo la cantidad de micronutriente absorbido por las plantas, probablemente, desde el suelo. Estos valores están representados con valores negativos cuando la cantidad absorbida es mayor que la aplicada por los tratamientos. Los valores del control (tratamiento 1) se utilizaron como referencia de la cantidad de micronutriente absorbida por las plantas sin la adición de productos orgánicos.

Los valores de Zn en el suelo Talca (suelo 1) presentan 2 grupos estadísticamente distintos (ver anexo 2). El tratamiento hecho en base a purín de algas (T4) obtuvo los niveles más altos para la cantidad de Zn absorbido por las plantas de lechuga. El tratamiento hecho a partir de humus y bacterias (T3) presenta niveles similares de Zn en comparación con el tratamiento de purín de algas. Por otro lado, los valores de Cu también presentan 2 grupos distintos (ver anexo 2), donde se destaca el tratamiento 3, el cual presenta diferencia significativa con los demás tratamientos, siendo el mayor de todos. Para Fe hay variaciones en la cantidad aplicada entre los tratamientos, ya que el tratamiento de extracto de humus aportó alrededor de 6 veces más Fe que el tratamiento con purín de algas (ver cuadro 7). Esto provocó, probablemente, que el tratamiento con extracto de humus tuviese más Fe disponible, por lo que la cantidad absorbida por las plantas de lechuga fue mayor en este tratamiento en

comparación con la aplicación de purín de algas (ver anexo 2). Todos los valores para la cantidad de nutrientes aplicados fueron negativos, por lo que la fertilización orgánica, no suplió la demanda por micronutrientes de las plantas de lechuga (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Balance para Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Hierro (Fe), para cada tratamiento de ambos suelos. **Aplicado:** cantidad total del micronutriente aplicado con enmiendas orgánicas vía riego en cada tratamiento; **Absorbido:** cantidad absorbida del micronutriente por las plantas según análisis foliar; **Tomado del suelo:** cantidad del elemento absorbido por las plantas sobre la cantidad suministrada con la enmienda. T1: plantas sin fertilización orgánica; T2: plantas con extracto de humus; T3: plantas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas con purín de algas. Los valores corresponden a las medias de cuatro repeticiones, con su respectivo error estándar entre paréntesis.

	Aplicado	Absorbido	Tomado del suelo	Aplicado	Absorbido	Tomado del suelo	Aplicado	Absorbido	Tomado del suelo	
Suelo 1 Rancagua	Zn (mg [maceta] ⁻¹)			Cu (mg [maceta] ⁻¹)			Fe (mg [maceta] ⁻¹)			
	T1	0,00	0,62 (0,02)	-0,62 (0,02)	0,00	0,51 (0,04)	-0,51 (0,04)	0,00	21,19 (2,82)	-21,19 (2,82)
	T2	0,26	0,72 (0,03)	-0,46 (0,03)	0,12	0,62 (0,08)	-0,50 (0,08)	11,98	35,26 (1,53)	-23,28 (1,53)
	T3	0,36	0,77 (0,06)	-0,41 (0,02)	0,14	0,81 (0,02)	-0,67 (0,02)	7,80	29,66 (2,28)	-21,86 (2,28)
	T4	0,36	0,82 (0,03)	-0,46 (0,03)	0,10	0,57 (0,03)	-0,48 (0,03)	1,92	21,93 (1,34)	-20,01 (1,34)
Suelo 2 Panguilemo	Zn (mg [maceta] ⁻¹)			Cu (mg [maceta] ⁻¹)			Fe (mg [maceta] ⁻¹)			
	T1	0,00	0,47 (0,02)	-0,47 (0,02)	0,00	0,17 (0,01)	-0,17 (0,01)	0,00	45,69 (0,93)	-45,69 (0,93)
	T2	0,26	0,47 (0,03)	-0,21 (0,03)	0,12	0,18 (0,01)	-0,06 (0,01)	11,98	61,49 (0,93)	-49,51 (0,93)
	T3	0,36	0,53 (0,01)	-0,17 (0,01)	0,14	0,18 (0,01)	-0,04 (0,01)	7,80	54,45 (0,68)	-46,65 (0,68)
	T4	0,36	0,52 (0,04)	-0,16 (0,04)	0,10	0,17 (0,02)	-0,08 (0,02)	1,92	47,16 (1,16)	-45,24 (1,16)

Con respecto al suelo Rancagua (suelo 2) se puede mencionar que para Zn y Cu, los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí (ver anexo 2), en cuanto a la absorción de estos por las plantas de lechuga. El tratamiento de mayor absorción para ambos nutrientes fue el tratamiento de extracto de humus y bacterias, y este a la vez, fue el material orgánico con la concentración de Zn y Cu más alta. Para Fe, los tratamientos hechos a partir de extracto de humus (tratamiento 2) y extracto de humus y bacterias (tratamiento 3) mostraron diferencias significativas, pero el tratamiento 2 logró la mayor cantidad de Fe absorbido por las plantas (ver anexo 2). El tratamiento con purín de algas tuvo valores muy bajos de Fe, similares al tratamiento sin fertilización orgánica (T1), debido a esto no presentó diferencias de absorción.

4.2 Análisis de materia seca aérea (MSA) y materia fresca aérea (MFA) para plantas de *Lactuca sativa* var. *fabiETTO*.

En la figura 2 se observa la materia seca aérea (MSA) producida en el ensayo, para todos los tratamientos en dos suelos distintos. En ambos suelos, el tratamiento con extracto de humus y adición de bacterias (T3) obtuvo la máxima producción de MSA, siendo significativa en el caso del suelo 1, mientras que en el suelo 2, sólo en tendencia.

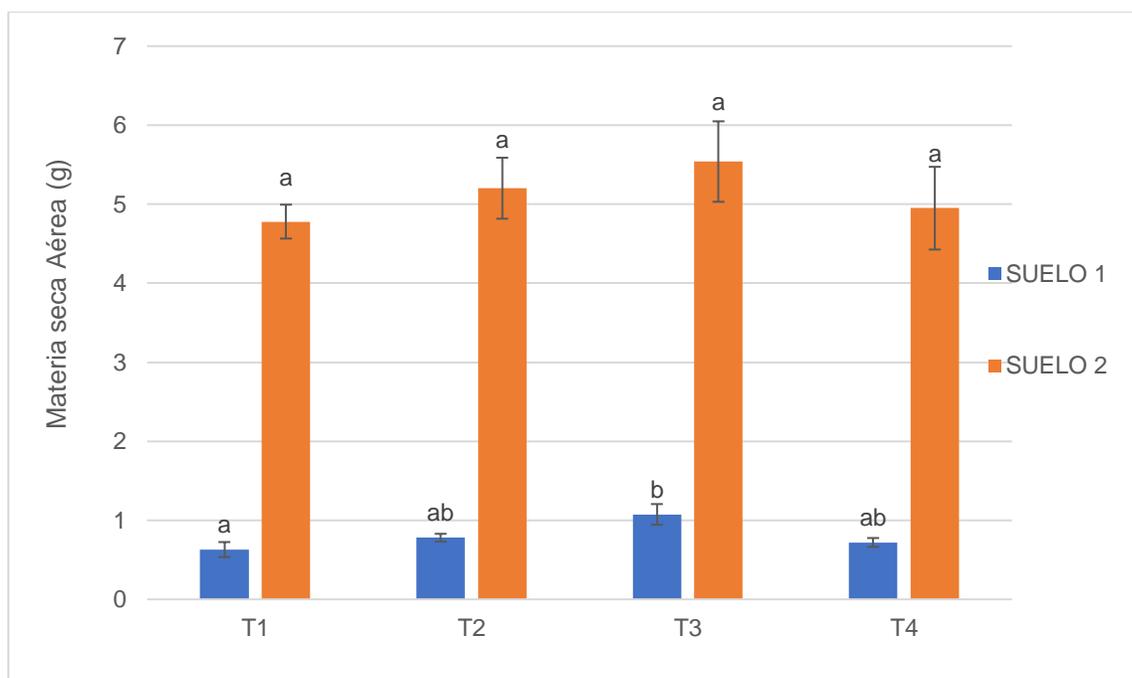


Figura 2. Materia Seca Aérea (MSA) producida por plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) en dos suelos y fertilizadas con diferentes enmiendas orgánicas. Suelo 1 (barras de color azul): suelo Rancagua, Suelo 2 (barras de color naranja): suelo Talca. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas fertilizadas con extracto de humus; T3: plantas fertilizadas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas fertilizadas con purín de algas. Las barras indican el promedio de cuatro repeticiones \pm error estándar. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos, según la prueba Tukey HSD con un 95% de confianza.

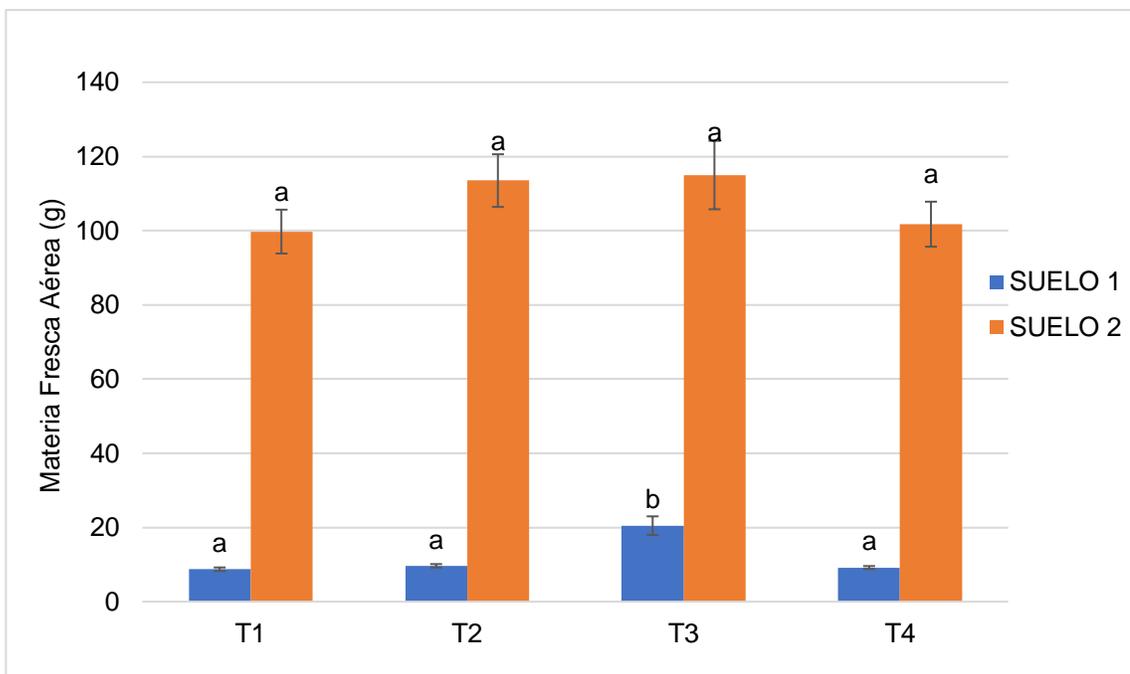


Figura 3. Materia fresca aérea (MFA) producida por plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) en dos suelos y fertilizadas con diferentes enmiendas orgánicas. Suelo 1 (barras de color azul): suelo Rancagua, Suelo 2 (barras de color naranja): suelo Talca. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas fertilizadas con extracto de humus; T3: plantas fertilizadas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas fertilizadas con purín de algas. Las barras indican el promedio de cuatro repeticiones \pm error estándar. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos, según la prueba Tukey HSD con un 95% de confianza.

En la figura 3 se observa la producción de materia fresca aérea (MFA) para todos los tratamientos en ambos suelos. Debido a que la lechuga es una hortaliza de consumo fresco, es importante analizar la producción de materias fresca en cada tratamiento. Es importante mencionar, que la cantidad de MSA y MFA es mayor en el suelo 2 (Talca), y se aprecian diferencias cercanas a los 90 g de MFA producida entre cada suelo. Aun así, el tratamiento 3 presenta la mayor producción de MFA en ambos suelos, aunque solo con diferencias significativas en el suelo 1.

4.3 Relación de N absorbido y N disponible

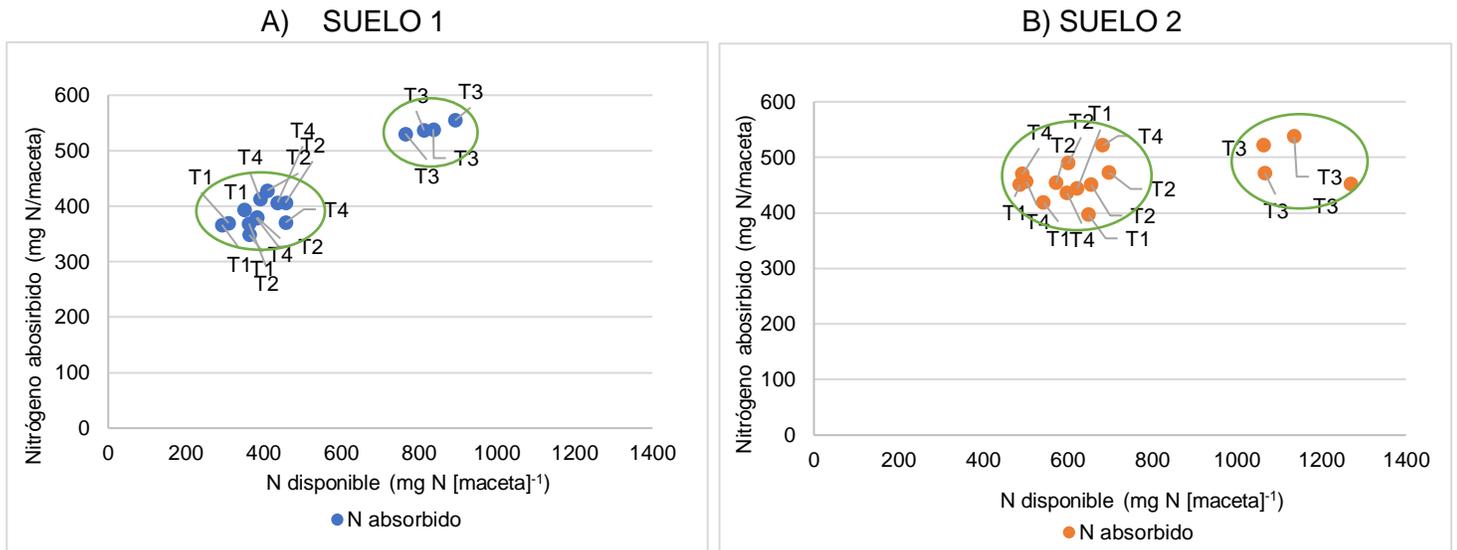


Figura 4A y 4B. Nitrógeno absorbido: N absorbido por plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) en relación al N disponible en el suelo 1 (Rancagua) (A) y en el suelo 2 (Talca) (B). **N disponible:** es la suma del N aplicado por las distintas enmiendas orgánicas, y el N aportado por el suelo según análisis de suelo y mineralización de la materia orgánica según formula. T1: plantas sin fertilización; T2: plantas fertilizadas con extracto de humus; T3: plantas fertilizadas con extracto de humus y bacterias; T4: plantas fertilizadas con purín de algas. Cada punto corresponde a una repetición, siendo cuatro repeticiones por cada tratamiento, para ambos suelos.

En la figura 4A (suelo Rancagua) se observa que los puntos azules de los tratamientos T1, T2 y T4, se encuentran en un rango distinto que los puntos del tratamiento T3. Este rango se encuentra aproximadamente entre 250-500 mg de N disponible. A este rango las plantas absorbieron alrededor 350-450 mg de N. Por otro lado, las plantas del tratamiento 3 presentan un rango de 750-850 mg de N disponible y absorbieron alrededor de 500-600 mg de N.

En la figura 4B (suelo Talca) se observa que los puntos naranjos se encuentran principalmente dentro de un mismo rango, exceptuando algunos valores del tratamiento 3 los cuales se encuentran con, aproximadamente, 50 mg de N más de absorción. Existió diferencia significativa en la cantidad de N absorbido para el tratamiento 3, esta diferencia se produjo después de aumentar aproximadamente de 450 mg a 1270 mg de N, es decir, el tratamiento 3 (extracto de humus y bacterias) tuvo más del doble de nitrógeno disponible y aumentó la absorción de N en cerca de un 10% con respecto al promedio (ver anexo 1).

V. DISCUSIÓN

En este estudio se investigó el efecto del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* var. *fabietto*) con diferentes tipos de fertilización provenientes de sustancias húmicas, en dos tipos de suelos distintos. Para ello se utilizaron tres tipos de tratamientos con soluciones que contenían distintos fertilizantes orgánicos (ver cuadro 4), más un tratamiento control (T1) al cual solo se regó con agua para obtener la respuesta de las plantas sin fertilización, es decir, para obtener el crecimiento de la planta solo con el aporte de nutrientes provenientes del suelo; para así verificar si los demás tratamientos afectan o no el crecimiento de las plantas.

Las distintas soluciones de cada tratamiento provocaron ciertas diferencias, las cuales en primera instancia se lograron apreciar a simple vista. Para evaluar el efecto de la adición de las sustancias húmicas, se determinó la materia fresca aérea (MFA) y la materia seca aérea (MSA) de las plantas (ver figura 2 y 3), como parámetros representativos del crecimiento de las plantas de lechuga. Así, las plantas que presentaron altos valores de MFA y MSA, indicaron cual tratamiento tuvo mayor efecto en su crecimiento. Dicho esto, el tratamiento que tuvo mayor efecto en la producción fue el tratamiento de humus con bacterias (T3; ver cuadro 3), esto ocurrió en ambos suelos. La posible razón del aumento en el crecimiento de las plantas de lechuga es porque este tratamiento en particular presentó niveles mayores de N disponible (ver balance de N en cuadro 5). El N es un macronutriente esencial, y en el caso de la lechuga es importante ya que determina la cantidad y calidad de las hojas (Sierra, 2013). Estudios realizados por Leja et al. (1994) demuestran que los factores más importantes que influyen en la producción y el crecimiento de lechugas son la radiación, la temperatura y la nutrición nitrogenada. En este ensayo la temperatura y la radiación no influyeron en las plantas, ya que se realizó una distribución al azar, por lo que el factor de mayor efecto en el crecimiento de las plantas de lechuga es la cantidad de N disponible que está presente en el suelo. Por lo tanto, como se puede ver en la figura 4A, a medida que aumenta el N disponible aumenta el N absorbido por las plantas, ya que la diferencia de N disponible entre T3 y los otros tratamientos fue alrededor de 300 mg, y la diferencia de N absorbido fue de aproximadamente 145 mg (ver anexo 1).

La adición de extracto de humus más bacterias resultó en un mayor crecimiento de las lechugas en ambos suelos, esto probablemente debido a la presencia de bacterias de *Kosakonia radicincitans*, las cuales pueden fijar N atmosférico en forma libre (ver cuadro 4). Según menciona Berger et al. (2015), *Kosakonia radicincitans* puede actuar mediante la

producción de hormonas, inducir resistencia a la planta y en la fijación biológica de N_2 . Basándose en los estudios de Berger et al. (2015), el aporte extra de N_2 fijado por las bacterias pudo aumentar la absorción de N de las plantas de lechuga. Como se mencionó en el estudio, las plantas de lechuga acumulan NO_3^- , estos se acumulan en las vacuolas y pueden tener un rol muy importante, ya que pueden ser utilizados para mantener la presión osmótica de la célula, así a una mayor cantidad de NO_3^- , estos podrían almacenar mayor cantidad de agua en la planta aumentando su MFA (Reinink, 1993).

En la figura 4A y 4B, podemos observar la comparación entre la absorción de N de ambos suelos y su cantidad de N disponible en ellos. En el suelo 1 a medida que aumenta la disponibilidad de N, aumenta significativamente el N absorbido por las plantas (figura 4A; suelo Rancagua). Por otro lado, en el suelo 2 (figura 4B; suelo Talca) no ocurre con la misma magnitud, si bien el T3 presenta diferencia significativa (ver anexo 1), la cantidad de N disponible es alrededor de 3 veces más que en suelo 1 y de todas formas no presenta la misma magnitud. Esto no solo ocurre para N; en el cuadro 6 se muestra que la cantidad aplicada del nutriente afecta de manera directa a la absorción de las plantas, ya que, al aumentar la cantidad del nutriente disponible por medio de los tratamientos, aumenta la cantidad absorbida de ellos. Sin embargo, lo anterior tiene mayor relación con suelo 1, ya que el suelo 2 no ocurre de la misma manera. En suelo 2 ningún tratamiento presentó grupos estadísticos distintos para los macronutrientes, exceptuando la absorción de N (anexo 1). En las aplicaciones realizadas para todos los tratamientos se regó con 2400 mL finales de solución, buscando añadir cantidades similares de MO entre tratamientos, por lo que cualquier diferencia entre la absorción de nutrientes, es probablemente, ocasionada por los distintos contenidos nutricionales existentes en cada suelo, y sus propiedades físicas y químicas (García y García, 2013). Debido a esto es muy importante centrarse en las características que presenta el suelo a utilizar, ya que suelos pobres se verán más afectados.

La adición de sustancias húmicas, más allá de favorecer el crecimiento de las plantas de lechuga por medio de la concentración de nutrientes que estas aporten, favorecen las propiedades químicas y físicas del suelo. Resultados obtenidos por Orozco y Muñoz (2011) demuestran que los aportes de sustancias húmicas favorecen las propiedades químicas del suelo como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), además de aumentar el pH considerablemente, provocando un incremento en la disponibilidad de macronutrientes, y el contenido de MO. Hay que recordar, que la cantidad de MO afecta el proceso de mineralización, por lo que al suministrar MO mediante los riegos de los tratamientos 2, 3 y 4

(ver cuadro 3) pudo aumentar la disponibilidad de nutrientes (especialmente de N) en el suelo para ser absorbidos por las plantas (Muñoz et al., 2015).

Además, las sustancias húmicas pueden actuar como un agente quelante, el cual ayuda a la desorción de nutrientes desde los coloides del suelo, aumentando la disponibilidad de estos (Mahmoud y Ibrahim, 2012). Como ya se ha mencionado, las sustancias húmicas favorecen las propiedades físicas del suelo y según estudios de Stevenson (1985), las sustancias húmicas producen efectos en la asociación arcilla-metal-humus, en el cual el catión polivalente neutraliza las cargas negativas de las arcillas y del coloide orgánico, cumpliendo la función de puente entre ellos. Los principales cationes polivalentes responsables de esta unión son Ca, Fe y Al, afectando la aireación y retención de agua en el suelo. La movilización y quelación de metales por parte de las sustancias húmicas pudo afectar el crecimiento de las plantas, especialmente en el suelo Rancagua. La cantidad absorbida de Cu por las lechugas en este suelo superó en casi 10 veces la concentración máxima de Cu que el reportado para lechugas sanas (Reuter y Robinson, 1986). Lo anterior pudo provocar una disminución en la producción de lechugas en este suelo, sumado probablemente a la mayor concentración de Cu en el suelo, esto podría explicar la diferencia de crecimiento en el suelo 2, para la aplicación de distintos productos orgánicos. El tratamiento con extracto de humus (T2) y el de humus con bacterias (T3) presentaron un mayor crecimiento en las plantas de lechuga (ver cuadro 2). La mayor cantidad de Fe absorbido por las plantas lo presentó el tratamiento con extracto de humus (T2) presentando diferencia significativa (ver anexo 2). Por otro lado, las plantas regadas con el tratamiento de purín de algas presentaron niveles de absorción de Fe similares al tratamiento control (T1). El Fe presenta un rol importante dentro de la planta, que se relaciona con los procesos de producción de clorofila, por lo que tener bajos niveles de este, puede afectar la fotosíntesis de la planta (Moreno, 2015; Rivera, 2009). Si bien las diferencias de absorción entre los tratamientos en ambos suelos no son muy amplias (ver anexo 1 y 2), la acción en conjunto de los niveles de absorción de N, K y Fe, pudieron provocar las diferencias en los crecimientos que se aprecian en las figuras 2 y 3, ya que cada uno cumple un rol esencial en la planta tales como el proceso de formación de la clorofila, apertura de estomas, entre otros.

VI. CONCLUSIONES

La aplicación de productos orgánicos al suelo favorece al aumento de la MOS, provocando mayor mineralización y disponibilidad de nutrientes.

La aplicación de sustancias húmicas con bacterias de *Kosakonia radicincitans*, afecta positivamente al crecimiento de plantas de *Lactuca sativa*, pero se debe tener en consideración una inoculación lo más temprana posible, ya que la lechuga presenta un periodo de crecimiento muy rápido (siembra a cosecha) con respecto a las demás hortalizas.

Es importante considerar el estado nutricional del suelo que se utilizará, sobre todo el nivel de N disponible, lo cual puede influir sobre la cantidad de humus a aplicar o sobre la calidad del material orgánico a utilizar.

El N es el macroelemento más limitante en el crecimiento de plantas de *Lactuca sativa*, ya que altos contenidos de este, produce mayor crecimiento.

Finalmente, para alcanzar efectos positivos en los cultivos, es necesario utilizar las sustancias orgánicas de manera sostenida a través del tiempo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, S., y María, S. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en los suelos. Simposio proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Universidad de Chile. Valdivia, Chile. 85 p. Recuperado en: < <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065> >Consultado el: 20 de diciembre de 2018.

Behr U., & Wiebe J. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Scientia Horticulturae*. 49: 175-179.

Berger, B., Wiesner, M., Brock, A., Schreiner, M., & Ruppel, S. 2015. *K. radicincitans*, a beneficial bacteria that promotes radish growth under field conditions. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 1521-1528.

Binkley, D., & Hart, S. C. 1989. The components of nitrogen availability assessments in forest soils. *Soil Science* 10: 57-112.

Brady, C., Cleenwerck, I., Venter, S., Coutinho, T., & y De Vos, P. 2013. Taxonomic evaluation of the genus *Enterobacter* base on multilocus sequence analysis (MLSA): proposal to reclassify *E. nimipressuralis* and *E. amnigenus* into *Lelliottia* gen. nov. as *Lelliottia nimipressuralis* comb. nov. and *Lelliottia amnigena* comb. nov., respectively, *E. gergoviae* and *E. pyrinus* into *Pluralibacter* gen. nov. as *Pluralibacter gergoviae* comb. nov. and *Pluralibacter pyrinus* comb. nov., respectively, *E. cowanii*, *E. radicincitans*, *E. oryzae* and *E. arachidis* into *Kosakonia* gen. nov. as *Kosakonia cowanii* comb. nov., *Kosakonia radicincitans* comb. nov., *Kosakonia oryzae* comb. nov., respectively, and *E. turicensis*, *E. helveticus* and *E. pulveris* into *Cronobacter* as *Cronobacter zurichensis* nom. nov., *Cronobacter helveticus* comb. nov. and *Cronobacter pulveris* comb. nov., respectively, and emended description of the genera *Enterobacter* and *Cronobacter*. *Systematic and Applied Microbiology* 36: 309-319.

Cerdas, M., y Montero, M. 2004. Guía del manejo poscosecha de apio y lechuga para el mercado fresco. No J11 3. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 19 p. Recuperado en: < http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/manual_apio_lechuga_II.pdf >Consultado el: 06 de agosto de 2018.

CIREN. 1996. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Estudio Agrológico VI Región. Pub. CIREN N° 114. Santiago, Chile. 570 p.

CIREN. 1997. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Estudio Agrológico VII Región. Pub. CIREN N° 117. Santiago, Chile. 660 p.

Craddock., V. 1983. Nitrosamines and human cancer: proof of an association?. Nature 306: 638.

Dubbini, G. 1995. Interés de los bioestimulantes. Hortoinformación 9: 50-51.

Espinoza, Y., Lozano, Z., y Velásquez, L. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. Interciencia 32: 554-559.

Gallardo, J. 1980. El humus. Investigación y Ciencia 46: 8-16.

Galvan G., y Rodríguez J. 1999. Cultivos de Hoja. Lechuga Generalidades y Ecofisiología. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 19 p.

García, G., y García, S. 2013. Química agrícola química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Tercera edición. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España. 493 p.

Hewitt E., 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. Annual Reviews of Plant Physiology 26: 72-100.

INN. 2009. Determinación de contenido de nitrógeno total – Método por combustión según principio de Dumas. Norma NCh2748. División de Normas del Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile. 15 p.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2005. Agricultura Orgánica: Principios y prácticas de Producción. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado en: <<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33207.pdf>> Consultado el 27 de abril de 2019.

Jackson, L. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.

Jackson, L. 1995. Root architecture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.). Plant, Cell and Environment 18: 885-894.

Kern, J., & Johnson, M. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Science Society of America Journal 57: 200-210.

Leja, M., Rozek, S., & Myczkowski, J. 1994. The effect of fertilization with different forms of nitrogen on greenhouse lettuce quality and its changes during storage. III. Phenolic Metabolism. *Folia Horticulturae* 6: 63-72.

Lobartini, J., y Orioli, G. 1996. Las sustancias húmicas y la nutrición vegetal. *Revista de la Facultad de Agronomía La plata* 101: 201-209.

Lobartini, J., Orioli, G., & Tan, K. 1997. Characteristics of soil humic acid fractions separated by ultrafiltration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 28: 787-796.

Martínez, E., Fuentes, J., y Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8: 68-96.

Mahmoud, E., & Ibrahim, 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.

Moreno, J. 2015. Influencia de diferentes fuentes de nitrógeno en el contenido de clorofila y altura de la planta de banano hacienda Morella. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.

Muñoz, J., Muñoz, J., y Montes, C. 2015. Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en popayan, Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13: 73-82.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2014. Agricultura orgánica: agosto de 2017. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado en: <<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/organico2017Final.pdf>> Consultado el: 27 de abril de 2019.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2017. Estudio del mercado nacional de agricultura orgánica. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado en: <https://www.odepa.gob.cl/files_mf/1369684542Estudio_Agricultura_Organica_Chile.pdf> Consultado el: 27 de abril de 2019.

Orozco, R., y Muñoz, R. 2012. Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 25: 16-31.

Quinn G., & Keough M. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge. 537 p.

Reuter, D., Robinson, J., & Coleman, L. 1986. Plant Analysis. An Interpretation Manual. Inkata Press. Australia. 218 p.

Reinink, K. 1993. Relationship between effects of seasonal change on nitrate and dry matter content in lettuce. *Scientia Horticulturae* 53: 35-44.

Rivera, H. 2009. Efecto de la aplicación de dos fuentes de hierro en solución nutritiva y foliar sobre el rendimiento de dos cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Guayaquil. 49 p.

Rodríguez, N., Cano, P., Figueroa, U., Palomo, A., Favela, E., Álvarez, P., Márquez, C., y Moreno, A. 2008. Producción de Tomate en Invernadero con Humus de Lombriz como Sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* vol. 31: 265-278.

Saavedra, G. 2017. Lechuga. Boletín INIA N° 356. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación la Platina. Buin, Chile. 4 p. Recuperado en: <<http://www.inia.cl/wp-content/uploads/PautasdeChequeo/09.%20Pauta%20de%20chequeo%20Lechuga.pdf>> Consultado el: 09 de agosto de 2018.

Sadzawka, A., Carrasco, M., Demanet, R., Flores, H., Grez, R., Mora, M., y Neaman, A. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda edición. Serie Actas INIA 40. INIA La Platina. Santiago, Chile. 140 p.

Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., Mora, D., Flores, H., y Neaman, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Serie Actas INIA 34. INIA La Platina. Santiago, Chile. 164 p.

Salazar, J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana* 17: 69-77.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 2017. Datos de superficie orgánica 2017. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado en: <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/datos_superficie_organica_2017.pdf> Consultado el: 27 de abril de 2019.

Sierra, C. 2013. Fertilización y manejo de Suelos y Hortalizas: Alcachofa, Apio, Lechuga, Pepino dulce, Pimiento; tomate y Zanahoria. Boletín INIA N° 271. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. 112 p. Recuperado en: <<http://www.inia.cl/wp-content/uploads/Boletines/NR40528.pdf>> Consultado el: 20 de octubre de 2018.

Soto, G., y Muschler, R. 2001. Agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas 62: 101-105.

Stevenson, F. 1985. Geochemistry of soil humic substances. In Humic Substances in Soil, Sediment and Water, Edited by: Aiken, G., McKinght, D., Wershaw, R., & MacCarthy, P. Jhon Wiley & Sons. New York, 13-52.

Tarigo, A., Repetto, C., y Acosta, D. 2004. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) a campo. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. 169 p.

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World Soil Reports 96. Rome. 58p.

Valero, M., y Torres, L. 1999. Sustancias húmicas en aguas para abastecimiento. Ingeniería e Investigación. 44: 63-72.

Van Es, A., & Van der Meer, J. 1980. Methods of analysis for predicting the energy and protein value of feeds for farm animals. Insitute for Livestock Feeding and Nutrition Research, Lelystad, Netherlands. 77 p.

Vitousek, P., Aber, J., Howarth, R., Likens, G., Matson, P., Schindler, D., Schlesinger, W., & Tilman, G. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. Ecological Applications 7: 737-750.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Promedio de absorción de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) por tratamiento para suelo Rancagua (suelo 1) y suelo Talca (suelo 2), en lechuga.

PROMEDIO DE ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES										
Suelo 1	N	Grupo	P	Grupo	K	Grupo	Ca	Grupo	Mg	Grupo
------(mg N [maceta] ⁻¹)-----										
T1	369,8 (9,4)	a	47,6 (0,9)	a	659,9 (20,1)	a	187,5 (6,2)	a	54,7 (1,2)	a
T2	395,6 (13,5)	a	61,5 (2,1)	c	783,1 (7,9)	b	206,5 (5,3)	ab	67,9 (3,9)	b
T3	540,2 (5,2)	b	59,9 (0,9)	bc	769,9 (45,4)	ab	232,9 (8,7)	bc	56,1 (1,6)	a
T4	392,6 (10,2)	a	54,1 (1,5)	b	711,5 (18,3)	ab	237,5 (6,4)	c	77,9 (2,3)	b
Suelo 2										
T1	427,2 (12,4)	a	42,1 (1,8)	a	821,3 (20,9)	a	134,6 (4,8)	a	43,8 (1)	a
T2	466,5 (9)	ab	45,7 (1,8)	a	896,3 (16,2)	a	140,6 (10,1)	a	47,6 (0,8)	a
T3	495,2 (20,2)	b	44,2 (2,5)	a	855,6 (9,7)	a	135,5 (4)	a	44,5 (1,1)	a
T4	470,7 (18,2)	ab	43,3 (2,3)	a	836,1 (22,9)	a	144,2 (2,9)	a	48,2 (1,6)	a

N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Grupo: letras distintas indican que hay diferencia estadística significativas entre las medias de los tratamientos, realizado por la prueba Tukey (HSD) con un 95% de confianza. Los valores corresponden a las medias de cuatro repeticiones por tratamiento, con su respectivo error estándar entre paréntesis.

Anexo 2. Promedio de absorción de micronutrientes (Zn, Cu, Fe) por tratamiento para suelo Rancagua (suelo 1) y suelo Talca (suelo 2), en lechugas.

PROMEDIO DE ABSORCIÓN DE MICRONUTRIENTES						
Suelo 1	Zn	Grupo	Cu	Grupo	Fe	Grupo
----- (mg N [maceta]⁻¹) -----						
T1	0,618 (0,02)	a	0,513 (0,04)	a	21,187 (2,82)	a
T2	0,724 (0,03)	ab	0,617 (0,08)	ab	35,258 (1,52)	b
T3	0,773 (0,06)	ab	0,814 (0,02)	b	29,663 (2,27)	ab
T4	0,821 (0,03)	b	0,575 (0,03)	a	21,930 (1,33)	a
Suelo 2						
T1	0,469 (0,02)	a	0,171 (0,01)	a	45,693 (0,92)	a
T2	0,471 (0,03)	a	0,176 (0,01)	a	61,489 (0,93)	c
T3	0,526 (0,01)	a	0,179 (0,01)	a	54,454 (0,68)	b
T4	0,524 (0,04)	a	0,173 (0,02)	a	47,162 (1,15)	a

Zn: Zinc; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Grupo: letras distintas indican que hay diferencia estadística significativas entre las medias de los tratamientos, realizado por la prueba Tukey (HSD) con un 95% de confianza. Los valores corresponden a las medias de cuatro repeticiones por tratamiento, con su respectivo error estándar entre paréntesis.