



Indicadores de calidad de suelo en uva de mesa (*Vitis vinifera* cv. Thompson seedless) bajo manejo integrado de nutrición

Soil quality indicators in table grape (*Vitis vinifera* cv. Thompson seedless) crops under integral nutrition management

Paola Fincheira-Robles^{1,3}; María Mercedes Martínez-Salgado^{1,2,*}; Rodrigo Ortega-Blu¹; Marc Janssens²; Maribel Parada-Ibañez⁴

¹ Grupo de Investigación en Suelo, Planta, Agua y Ambiente (GISPA). Universidad Técnica Federico Santa María. Av. Santa María 6400, Postal code: 7660251. Vitacura-Santiago, Chile.

² TROPEN- Tropical Crops, Institute of Crop Science and Resource Conservation INRES Bonn Universität, Auf dem Hugel 6, 53121 Bonn, Germany.

³ Programa de Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

⁴ Centro Biotecnológico de Estudios Microbianos (CEBEM), Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Received December 10, 2017. Accepted January 4, 2018.

Resumen

Este estudio evaluó el efecto del manejo integrado de nutrición (MIN) en la disponibilidad de nutrientes y actividades enzimáticas del suelo durante la etapa de enraizamiento en *Vitis vinifera*. Los efectos de compost (C), fertilizante mineral (FM) e inoculante microbiano (IM) se evaluaron a través de siete tratamientos y un testigo en un diseño completamente al azar con cuatro unidades experimentales por tratamiento: T₁ (C + IM + FM), T₂ (C + FM), T₃ (IM + FM), T₄ (C + IM), T₅ (FM), T₆ (C), T₇ (IM) y testigo (T). Indicadores químicos y bioquímicos se evaluaron a través de la prueba comparación de promedios (LSD, $p \leq 0,05$). Los resultados indicaron que la aplicación de C y FM incrementó la concentración de P durante los primeros 30 días (64,8 y 69,9 mg kg⁻¹), el N aumentó al día 60 en T₁ (178,1 mg kg⁻¹) y alcanzó su concentración máxima el día 30 en T₂ (433,3 mg kg⁻¹). La mayor actividad potencial de la β glucosidasa fue de 113,8 $\mu\text{g } \rho$ -nitrofenol g⁻¹ h⁻¹ al día 60 en T₁, determinándose también que la adición de compost aumenta la actividad deshidrogenasa y fosfatasa alcalina en T₁ el día 30 (62,6 $\mu\text{g de TFF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ y 155,7 $\mu\text{g } \rho$ -nitrofenol g⁻¹ h⁻¹). Los resultados sugieren que la aplicación de MIN durante el trasplante de *V. vinifera* incrementa la disponibilidad de nutrientes y las actividades enzimáticas en el suelo.

Palabras clave: uva de mesa; compost; inoculante microbiano; enzimas de suelo; calidad de suelo.

Abstract

This study evaluated the effect of integral nutrition management (INM) on the availability of nutrients and enzymatic activities of the soil during the rooting stage in *Vitis vinifera*. The effects of compost (C), mineral fertilizer (MF) and microbial inoculant (MI) were evaluated through seven treatments and one control in a completely randomized design with four experimental units per treatment: T₁ (C + MI + MF), T₂ (C + MF), T₃ (MI + MF), T₄ (C + IM), T₅ (MF), T₆ (C), T₇ (MI) y control (T). Chemical and biochemical indicators were assessed through the test comparing averages (LSD, $p \leq 0.05$). The results indicated that the application of C and MF increased the concentration of P during the first 30 days (64.8 and 69.9 mg kg⁻¹), N increased at day 60 in T₁ (178.1 mg kg⁻¹), reaching its maximum concentration on day 30 in T₂ (433.3 mg kg⁻¹). The potential activity of β -glucosidase increased to 113.8 $\mu\text{g } \rho$ -nitrophenol g⁻¹ h⁻¹ on day 60 in T₁. Furthermore, compost increased the dehydrogenase and alkaline phosphatase activity at T₁ on day 30 (62.6 $\mu\text{g TFF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ and 155.7 $\mu\text{g } \rho$ -nitrophenol g⁻¹ h⁻¹). The results suggest that the application of MIN during rooting stage in *V. vinifera* transplant increases the availability of nutrients and enzymatic activities.

Keywords: table grape; compost; microbial inoculant; soil enzymes; soil quality.

* Corresponding author
E-mail: mmmartinez@uni-bonn.de (M.M. Martínez-Salgado).

1. Introducción

Actualmente, estudios agronómicos se han enfocado en el desarrollo de herramientas agrícolas sustentables y estratégicas que permitan obtener una eficiente productividad y rendimiento de cultivos, en respuesta a la necesidad de aumentar la producción de alimentos y a la estimación de incremento de población humana de 9 billones de personas para el 2050 (Jacobsen et al., 2013). Una de las estrategias empleadas en cultivos intensivos en Chile, es el Manejo Integrado de la Nutrición (MIN), el cual se basa en la aplicación en conjunto de enmiendas orgánicas e inoculantes microbianos como complemento de la fertilización química ajustada (Ortega y Martínez, 2010; Ortega, 2015). La aplicación de MIN presenta ventajas multifacéticas, tanto para mejorar el rendimiento y eficiencia del cultivo, como para la protección del medio ambiente y la calidad de los recursos (Wu y Ma, 2015).

Chile se caracteriza por ser uno de los principales países exportadores de *Vitis vinifera* L., alcanzando cerca de 50.000 ha de cultivo y una producción cercana a las 800.000 toneladas el año 2016 (Muñoz, 2017). Las variedades cultivadas que destacan son Crimson seedless, Red globe, Flame seedless, Superior seedless y Thompson seedless. Actualmente, se aplican diversos fertilizantes minerales para incrementar la producción de *V. vinifera* L. y su contenido nutricional, los cuales son de naturaleza nitrogenada (nitrato de amonio y sulfato de amonio), fosfatada (fosfato monoamónico, fosfato monopotásico, ácido fosfórico y fosfato de urea), potásica (nitrato de potasio, sulfato de potasio y cloruro de potasio) y aquellos con calcio (nitrato de calcio y nitrato de magnesio) y magnesio (sulfato de magnesio) (Palma, 2006).

Como enmienda orgánica, los productores utilizan estiércoles de cabra o cerdo y guano de pollo, a razón de 1-5 kilos planta⁻¹ temporada⁻¹ que aportan N disponible, igualmente han producido el incremento de los niveles de N-NO₃⁻² en plantas, ablandamiento de fruta, incremento de susceptibilidad a enfermedades y fitotoxicidad (Obuotor et al., 2017). En otros casos se emplean materiales orgánicos compostados con estabilidad nutricional y gran aporte de microorganismos benéficos con importantes efectos sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, estimulando el proceso de rizogénesis y la capacidad de absorción de nutrientes, lo cual incrementa la productividad de la planta y la calidad del suelo (Wichuk y

McCartney, 2010; Martínez et al., 2013; Martínez-Blanco et al., 2013; Antil et al., 2014; Scotti et al., 2015; Habai et al., 2016). También se ha incluido como práctica agrícola el uso de inoculantes microbianos, con características de bioestimulante constituido por bacterias y/o hongos benéficos de suelo que activan funciones en la planta por la liberación de sustancias inductoras del crecimiento como fitohormonas, enzimas y ácidos orgánicos, que solubilizan y mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Martínez et al., 2010; Trabelsi y Mhamdi, 2013; Reardon y Wuest, 2016). Enmiendas orgánicas e inoculantes microbianos aplicados en conjunto con fertilizantes minerales en dosis ajustadas son importantes herramientas en sistemas de producción tradicional bajo un esquema de Manejo Integrado de la Nutrición (MIN) (Ortega y Martínez, 2010; Ortega, 2015).

Las prácticas agrícolas deben ser monitoreadas estratégicamente a través de una evaluación que incluya indicadores de calidad sensibles y efectivos que permitan percibir los cambios producidos por la práctica tanto en suelo como a nivel de planta, ya sea mejorando, manteniendo o deprimiendo la condición original o línea base (Martínez et al., 2013). Estos indicadores se pueden basar en propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica, estabilidad de agregados, fracciones de carbono y la disponibilidad de nutrientes (Martínez et al., 2010). También se pueden emplear indicadores bioquímicos que permiten evaluar los procesos de mineralización a través de mediciones de: actividad microbiana, potencial de la actividad enzimática presente en el suelo y mineralización de diferentes fuentes de carbono, nitrógeno y fósforo (Lakhdar et al., 2010). La actividad de fosfatasa alcalina, deshidrogenasa o β glucosidasa, entregan importante información sobre la degradación de materia orgánica y actividad microbiana (Scotti et al., 2015).

En base a lo anteriormente descrito se plantea como objetivo de estudio evaluar el efecto de la aplicación de un sistema de manejo integrado de la nutrición y su implicancia a través de los indicadores de calidad de suelo para *V. vinifera* L. a través del tiempo durante la etapa de enraizamiento. Para ello se realizó la evaluación de un esquema individual y en conjunto del efecto del compost, fertilizante mineral e inoculante microbiano a través de indicadores químicos y bioquímicos de suelo de *V. vinifera* a los 30 y 60 días de establecido el ensayo bajo condiciones de invernadero.

2. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero, en las instalaciones de la Universidad Técnica Federico Santa María, Vitacura (Santiago, Chile). El ensayo se realizó en épocas de verano-otoño con un promedio de temperatura de 25 °C. Para el bioensayo se establecieron plantas comerciales de *Vitis vinifera* cv Thompson seedless de 1 año de edad con tallo injertado y un patrón fenotípico similar a nivel radical y foliar.

Las plantas de *V. vinifera* fueron colocadas en macetas de 50 kg con suelo base durante la etapa de enraizamiento. El suelo base correspondiente al orden taxonómico alfisol fue obtenido de un campo agrícola localizado en las coordenadas 33° 7'1,48''S y 70° 48' 57''O de la región Metropolitana y se caracterizó por su bajo contenido de materia orgánica (0,18 %), pH 8,1, conductividad eléctrica de 0,08 dS m⁻¹ y contenidos de 15 y 8,9 mg kg⁻¹ de N y P disponible, respectivamente. Para aplicar el programa de MIN, se evaluó el compost, un inoculante microbiano desarrollado para uva de mesa y una mezcla ajustada de fertilizante mineral. El compost maduro proveniente de orujo y escobajo de uva fue proporcionado por una empresa productora de pisco (Sadzawka et al., 2006; INN, 2016). La fertilización mineral incluyó N de alta eficiencia 20 g (NH₄)₂SO₄ (Novatek 21®), fósforo a razón de 150 mL de 1 % H₃PO₄ y potasio a razón 10 g/L K₂SO₄. El inoculante microbiano estuvo conformado por un consorcio de microorganismos nativos chilenos, conformado por *Pseudomonas* sp., *Ochrobactrum* sp., *Sphingomonas* sp. y *Brevundimonas* sp. (1,1x10¹¹ UFC g⁻¹) (Agriservice SPA®). Para la aplicación del inoculante microbiano se realizó una dilución a una concentración de 10 % v/v en agua destilada estéril. La caracterización enzimática-química de los sustratos se presenta en la [Tabla 1](#).

Tabla 1
Caracterización química del suelo base y compost utilizados en el estudio

Parámetro	Unidad	Suelo base	Compost
AcP	µg p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹	0	54,96
AIP	µg p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹	53,96	603,46
β-glu	µg p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹	37,45	266
pH		8,1	8,12
CE	dS m ⁻¹	0,08	0,88
N-NH ₄	mg kg ⁻¹	5,4	50,4
N-NO ₃	mg kg ⁻¹	9,6	303
NaHCO ₃ -P	mg kg ⁻¹	8,9	55,6
MO	%	0,18	45,6
C/N radio		5,6	10,6

AcP = Fosfatasa ácida, AIP = Fosfatasa alcalina, β-glu = β-glucosidasa, CE = Conductividad eléctrica, N-NH₄ = Amonio, N-NO₃ = Nitrato, NaHCO₃-P = Fósforo disponible, MO = Materia orgánica.

Se establecieron siete tratamientos distribuidos en un diseño experimental completamente al azar con cuatro unidades experimentales por cada tratamiento ([Tabla 2](#)).

Tabla 2
Diseño experimental y tratamientos de evaluación planteados

Tr	Descripción	Fertilizante Mineral (L/maceta)	Inoculante Microbiano (mL/maceta)	Compost (kg/maceta)
T1	C+FM+IM	1	400	2
T2	C+FM	1	0	2
T3	IM+FM	1	400	0
T4	C+IM	1	400	0
T5	FM	1	0	0
T6	C	0	0	2
T7	IM	0	400	0
Testigo	T	0	0	0

Tr = Tratamiento, FM = Fertilizante mineral, IM = Inoculante microbiano, C = Compost.

Se evaluaron indicadores de calidad bioquímicos y químicos para determinar el efecto producido por los constituyentes de MIN en suelo de *V. vinifera* L, las muestras fueron extraídas de los primeros 30 cm de profundidad de suelo. Las variables evaluadas incluyeron nitrógeno disponible (NO₃-N and NH₄-N) (mg kg⁻¹), fósforo disponible (NaHCO₃-P) (mg kg⁻¹), conductividad eléctrica (dS m⁻¹), pH, deshidrogenasa (µg de TFF g⁻¹ 24 h⁻¹), fosfatasa alcalina (µg p-nitrofenol g⁻¹h⁻¹) y β glucosidasa (µg p-nitrofenol g⁻¹h⁻¹). Las variables fueron medidas en el día 0, 30 y 60 después de aplicados los tratamientos.

Para la cuantificación de nitrógeno disponible se realizó con una solución extractante de KCl 2N según Sadzawka et al. (2006). Mientras que el fósforo disponible se evaluó con una solución extractante de NaHCO₃ (0,5 M) y el pH de acuerdo con Sadzawka et al. (1990 y 2006). Respecto a la medición de las actividades enzimáticas, la actividad β-glucosidasa y fosfatasa alcalina fueron determinadas de acuerdo a la metodología propuesta por Nannipieri et al. (1980) usando como sustratos específicos p-nitrofenil-β-D-glucopiranosido (PNG) (0,05 M) y p-nitrofenol (PNF) (0,05 M). Las actividades fueron expresadas como unidades alcUF y UBG (µg p-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹). La actividad deshidrogenasa fue determinada utilizando 2, 3, 5-trifenilformazan como sustrato, de acuerdo al método descrito por Dindar et al. (2017). La actividad fue expresada como UDH (µg de TFF g⁻¹ 24 h⁻¹).

Todos los tratamientos fueron analizados a través de la prueba de análisis de varianza (ANDEVA) para determinar diferencias significativas en la disponibilidad de nutrientes y actividad enzimática. Los promedios

fueron comparados a través de la prueba post hoc de LSD para detectar diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$) (software Statistix 10). Adicionalmente, con la finalidad de evaluar el efecto global de los tratamientos sobre las propiedades del suelo en comparación con el testigo, se realizó un análisis de regresión con variables binarias. El modelo incluyó cada tratamiento y el tiempo (días después de la aplicación) como variables binarias para su análisis (software SAS statistical).

3. Resultados y discusión

La disponibilidad de nitrógeno en el suelo de estudio para *V. vinifera* cv Thompson seedless indicó que los tratamientos T₁ (C + FM + IM) (136,5 mg kg⁻¹), T₂ (C + FM) (125,8 mg kg⁻¹), T₃ (IM + FM) (103,1 mg kg⁻¹) y T₅ (FM) (144,3 mg kg⁻¹) obtuvieron mayor concentración de N disponible en el suelo al inicio de la evaluación ($p \leq 0,05$) (Tabla 3).

Estos resultados demuestran que la aplicación de un sistema de MIN mantiene la concentración de N disponible respecto al tratamiento de fertilización mineral, potenciando la actividad microbiológica en el suelo y probablemente, el intercambio de metabolitos microbianos entre la biota presente en el suelo y raíz (zona de rizósfera), sin embargo, se requiere un estudio más exhaustivo para afirmar esta aseveración. La mayor concentración de N disponible en el día 60 de evaluación se encontró en el tratamiento constituido solo por fertilizante mineral (219,7 mg kg⁻¹), mientras los tratamientos con compost de orujo de uva presentaron una lenta mineralización e inmovilización de N alrededor de 50 días, por lo que aplicar una fuente alternativa de N durante dicho periodo (Flavel et al., 2005), resulta adecuado, bajo un esquema de MIN. Cabe destacar que el orujo de uva es el residuo del proceso de

vitivinificación, constituido por una mezcla de escobajo, pulpa y semillas en distintas proporciones (25, 55 y 20% aproximadamente). Por ello, en sistemas agrícolas es esencial aplicar una concentración adecuada de fertilizante mineral con N de rápida disponibilidad para el cultivo y estimular el proceso de mineralización tras las aplicaciones de compost, siendo ambas fuentes (inorgánica y orgánica) un buen complemento en programas de fertilización química como parte del manejo integrado de la nutrición (MIN) (Ortega y Martínez, 2010; Habai et al., 2016). Las fuentes combinadas de N suplen los requerimientos de nitrógeno de las vides a lo largo de su desarrollo, estando cerca de 90 kg N ha⁻¹ para una adecuada producción (Sierra, 2001). Si bien las hojas y frutos poseen una mayor concentración de N acumulado anualmente, alcanzando valores de 35 y 32 kg N ha⁻¹, respectivamente, durante el crecimiento frutal en verano exige una mayor demanda de N en raíces con 2,7 kg N ha⁻¹ (Tong et al., 2010).

El fósforo inicialmente (tiempo cero) presentó mayor disponibilidad en los tratamientos T₄ (C + IM) (78,1 mg kg⁻¹) y T₆ (C) (74,2 mg kg⁻¹). Hacia el día 30, la disponibilidad de P incrementó en T₁ (C + IM + FM) y T₂ (C + FM), alcanzando valores de 69 y 64 mg kg⁻¹ de P, respectivamente, corroborando la mineralización del P orgánico presente en el compost (55,6 mg kg⁻¹) y la actividad fosfatasa alcalina que permite la mineralización del P orgánico presente en la enmienda orgánica (Sharma et al., 2013). El efecto de mineralización de P que ocurre en los materiales orgánicos se complementa con la presencia del ácido fosfórico en el fertilizante mineral, lo cual permite mantener la disponibilidad de P al día 30, indicando que el compost de orujo de uva se constituya en una buena fuente de P disponible y orgánico.

Tabla 3

Disponibilidad de nutrientes y pH del suelo tras la aplicación de los tratamientos al día 0, 30 y 60

TR	N disponible (N-NH ₄ + N-NO ₃) (mg kg ⁻¹ de suelo)			P disponible (mg kg ⁻¹ de suelo)			pH		
	Día								
	0	30	60	0	30	60 †	0	30	60
T ₁	136,5 ± 6,3 ^a	310,1 ± 105,1 ^b	178,1 ± 71,5 ^{ab}	56,1 ± 16,1 ^a	69,9 ± 25,5 ^a	44,7 ± 27,6	7,3 ± 0,0 ^{bc}	7,42 ± 0,1 ^{ef}	7,8 ± 0,2 ^{cd}
T ₂	125,8 ± 8,6 ^a	294,7 ± 87,8 ^b	149,0 ± 42,7 ^b	70,0 ± 8,2 ^a	64,8 ± 7,0 ^a	45,8 ± 12,2	7,1 ± 0,1 ^c	7,26 ± 0,3 ^f	7,6 ± 0,1 ^d
T ₃	103,1 ± 7,3 ^a	433,3 ± 133,7 ^a	160,2 ± 18,5 ^b	17,1 ± 3,2 ^b	31,5 ± 7,3 ^{bc}	25,4 ± 3,3	7,2 ± 0,1 ^c	7,58 ± 0,1 ^{de}	8,0 ± 0,0 ^{bc}
T ₄	40,4 ± 48,5 ^b	38,7 ± 19,8 ^c	18,2 ± 1,7 ^c	78,1 ± 20,2 ^a	46,3 ± 12,8 ^b	66,1 ± 69,3	7,4 ± 0,3 ^{bc}	7,90 ± 0,0 ^{bc}	8,1 ± 0,1 ^{ab}
T ₅	144,3 ± 33,3 ^a	247,0 ± 38,1 ^b	219,7 ± 63,8 ^a	19,2 ± 3,7 ^b	26,0 ± 4,1 ^c	18,1 ± 12,7	7,3 ± 0,3 ^{bc}	7,76 ± 0,2 ^{cd}	8,1 ± 0,1 ^{ab}
T ₆	31,9 ± 9,4 ^b	35,0 ± 42,4 ^c	16,4 ± 27,1 ^c	74,2 ± 37,2 ^a	32,6 ± 9,4 ^{bc}	22,9 ± 7,0	7,4 ± 0,1 ^{bc}	7,80 ± 0,1 ^{cd}	8,0 ± 0,1 ^{bc}
T ₇	5,3 ± 7,1 ^b	21,1 ± 14,4 ^c	6,6 ± 3,3 ^c	11,6 ± 1,4 ^b	17,3 ± 7,7 ^{cd}	8,9 ± 1,4	7,5 ± 0,1 ^{bc}	8,07 ± 0,2 ^b	8,2 ± 0,0 ^a
T	1,2 ± 0,8 ^b	23,0 ± 23,0 ^c	10,0 ± 14,0 ^c	5,2 ± 1,2 ^b	8,7 ± 1,6 ^d	11,6 ± 5,8	7,8 ± 0,1 ^a	8,33 ± 0,0 ^a	8,0 ± 0,1 ^{ab}

Letras indican diferencias estadísticamente significativas en cada columna de acuerdo a la prueba de LSD ($p \leq 0,05$). (Promedio ± desviación estándar). † indica que no existe diferencia estadísticamente significativa. Abreviaciones: TR = tratamiento, T₁ (C + IM + FM), T₂ (C + FM), T₃ (IM + FM), T₄ (C + IM), T₅ (FM), T₆ (C), T₇ (IM) y T (testigo).

Los resultados mencionados indican que los tratamientos con compost y fertilización mineral potencian la disponibilidad de P, debido a la presencia de H_2PO_4 (fuente de P en el fertilizante mineral) que actúa como fuente inicial de P para plantas y microorganismos, y que constituye un suministro directo de P para la vid (Tabla 2). Además, se destaca que, durante el periodo de enraizamiento, brotamiento y post cosecha, nutrientes como N y P son esenciales debido a que constituyen estructuralmente cofactores y activadores de enzimas presentes en diversos procesos metabólicos (Palma, 2006; Brataševac *et al.*, 2013). A diferencia de los indicadores referidos a la concentración de nutrientes, el pH disminuye tras la aplicación de los tratamientos durante los primeros 30 días.

Finalmente, se realizó el análisis de regresión con variables binarias y el tiempo para explicar el comportamiento de cada una de las variables medidas (Figura 1).

Los resultados indicaron que la disponibilidad de N total no aumentó a través del tiempo, aunque los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_5 fueron significativamente diferentes respecto al testigo. Igualmente, la concentración de P disponible aumentó más del 100 % respecto a T_5 en los dos primeros periodos de evaluación, probablemente por la importante carga de P disponible (55,6 mg kg^{-1}) entregado por el compost o bien debido al suministro orgánico e inorgánico que actúa sinérgicamente para aumentar la mineralización del P orgánico presente en el compost a través de la presencia de microorganismos fisiológicamente activos. Todos los tratamientos con compost (T_1 , T_2 , T_4 y T_6) incrementaron significativamente la concentración de P comparado con el testigo, destacando T_2 y T_4 con un coeficiente de aumento de 52 y 55 mg kg^{-1} de P. Además, el promedio de pH aumentó significativamente a través del tiempo 0,0095 unidades por día.

Los resultados indican que el N disponible se mantuvo en el tiempo cuando se utilizaron las fuentes orgánica e inorgánica, coincidiendo con lo indicado por Wuest y Gollany (2012), quienes reportaron que el N disponible no cambia significativamente después de la aplicación de enmiendas orgánicas en el campo (3 años). Igualmente, Ren *et al.* (2014) reportó que tratamientos con estiércol de pollo y fertilizante mineral no incrementó el nitrógeno total en el suelo durante 6 años bajo condiciones controladas de invernadero. Estudios realizados por Ryals *et al.* (2014) indican que el N proporcionado por el compost puede persistir a través del tiempo debido a la

protección física que ofrecen las partículas del suelo, perdurando este efecto durante periodos largos. Además, se destaca que la disponibilidad de P disminuyó a través del tiempo, pero los tratamientos con enmienda orgánica mantienen una concentración significativamente más alta.

Las enzimas hidrolíticas se consideran indicadores de calidad bioquímicos que reflejan el estado de algunos ciclos bioquímicos debido a que desempeñan un rol importante en la degradación de compuestos orgánicos durante el proceso de mineralización, lo cual refleja indirectamente la actividad microbiana del suelo (Makoi y Dakidemi, 2008; Nannipieri *et al.*, 2012; Burns *et al.*, 2013). La fosfatasa alcalina es una enzima extracelular responsable de la mineralización de P orgánico que cataliza la hidrólisis de ésteres y anhídridos de H_3PO_4 (Lata y Marschner, 2013). En este estudio se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, destacándose los tratamientos con compost y fertilización mineral T_2 (151,9 g ρ -nitrofenol $g^{-1} h^{-1}$) y T_4 (156,3 g ρ -nitrofenol $g^{-1} h^{-1}$) con los valores más altos debido a la característica alcalina del compost (pH 8,12) el día 30 (Tabla 4). A los 60 días de evaluación, se destaca la actividad más alta en T_1 con 92,0 g ρ -nitrofenol $g^{-1} h^{-1}$, evidenciando que el manejo integrado de nutrición (MIN) favorece la actividad fosfatasa a largo plazo, probablemente debido a la presencia simultánea de compost, inoculante microbiano y fertilizante mineral, lo cual favorece la actividad microbiana capaz de excretar esta enzima (evidenciado por la actividad deshidrogenasa presente en T_1). Adicionalmente, la deshidrogenasa, la cual se caracteriza por ser una enzima intracelular implicada en el metabolismo microbiano oxidoreductor, incrementó su potencial de actividad al día 30, en los tratamientos con compost, T_1 (62,6 TFF $g^{-1}24 h^{-1}$), T_2 (46,7 TFF $g^{-1}24 h^{-1}$) y T_6 (47,9 TFF $g^{-1}24 h^{-1}$) respecto al testigo (11,4 TFF $g^{-1}24 h^{-1}$) (Kumar *et al.*, 2013; Reardon y Wuest, 2016). Además, el T_4 incrementó la actividad deshidrogenasa al día 60, alcanzando 8,7 TFF $g^{-1}24 h^{-1}$ en comparación con el control que presentó 0,8 TFF $g^{-1}24 h^{-1}$. Este efecto puede ser producido por la biomasa microbiana y la materia orgánica lábil aportada por el compost, lo cual juega un rol esencial en la mineralización (Mohammadi *et al.*, 2012; Malik *et al.*, 2013). La β glucosidasa es una enzima extracelular que participa en la degradación de celulosa (Ma *et al.*, 2010); la cual presentó un incremento de actividad en los tratamientos con aplicación de compost, probablemente por un mayor sustrato para

la enzima o concentración de sustancias húmicas y coloides para inmovilizarla (Zhang *et al.*, 2011) (Tabla 4). Además, T₁ (C + IM + FM) corrobora la importancia del MIN (113,8 g *p*-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹), coincidiendo con lo reportado por Tian *et al.* (2010), quien demostró que un manejo mixto orgánico y convencional puede aumentar la actividad β glucosidasa en un suelo cultivado.

El análisis de regresión indicó que la actividad fosfatasa alcalina disminuyó a través del tiempo, pero presentó valores más altos respecto al testigo en todos los tratamientos que contienen compost (T₁, T₂, T₄ y T₆), alcanzando un valor aproximado de 55 g *p*-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹ (Figura 1). La actividad deshidrogenasa incrementó significativamente en T₁ (23 μg de la PNF g⁻¹ 24 h⁻¹), pero

disminuyó a través del tiempo conforme el consumo del carbono presente por parte de los microorganismos. Malik *et al.* (2013), sugiere que la carga microbiana consume el carbono presente en la enmienda por su demanda en la actividad metabólica y disminuye conforme la fuente de C se hace limitante.

La actividad β glucosidasa incrementó en todos los tratamientos a través del tiempo, excepto en T₅ (FM), único tratamiento sin fuente orgánica de sustrato. Finalmente se destaca que a través de tiempo hubo diferencias significativas en aquellos tratamientos con compost, lo cual demuestra su importancia en la actividad enzimática del suelo, respaldando lo reportado hasta la fecha.

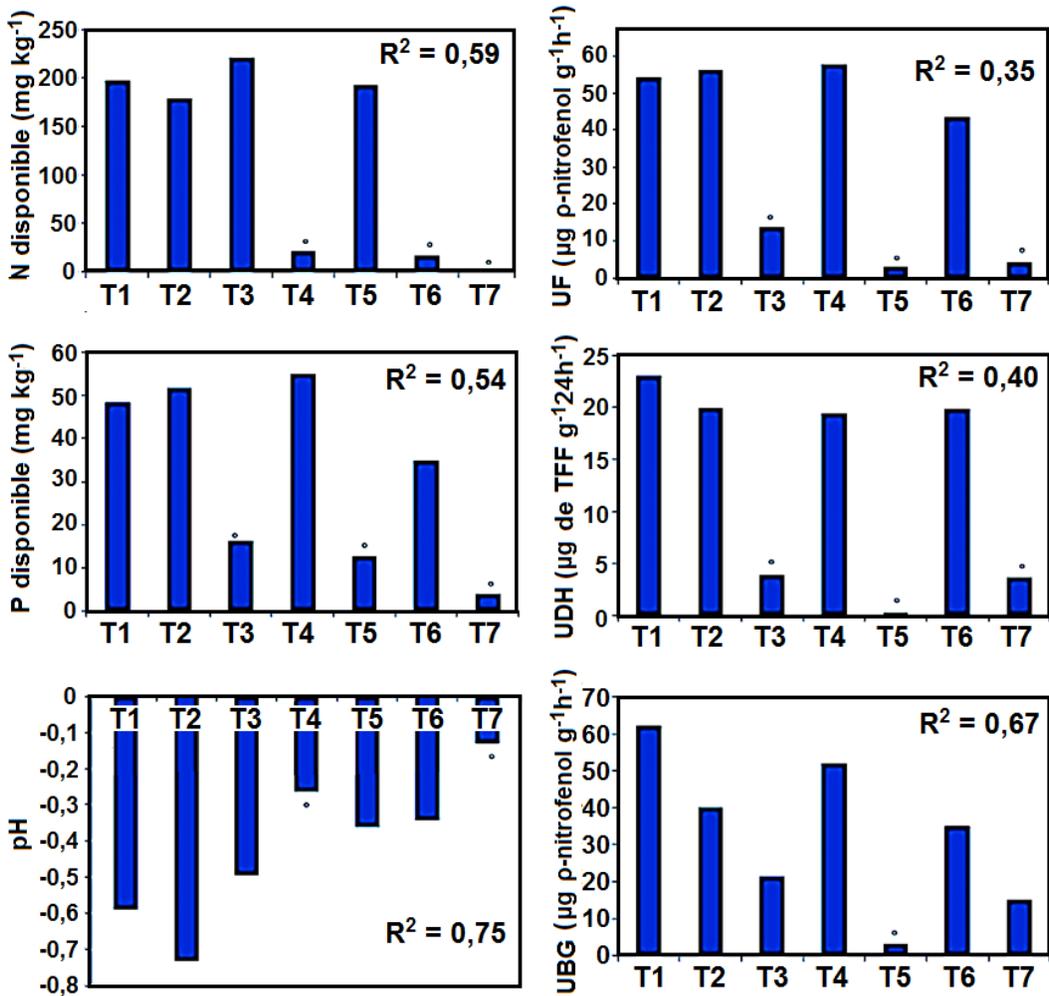


Figura 1. Coeficiente de factor de la disponibilidad de nutrientes, pH y enzimas de suelo derivados de la regresión lineal ($p \leq 0,05$). Abreviaciones: T₁ (C + IM + FM), T₂ (C + FM), T₃ (IM + FM), T₄ (C + IM), T₅ (FM), T₆(C) y T₇ (IM). Círculos indican que tratamiento correspondiente no tiene diferencia estadísticamente significativa respecto al testigo.

Tabla 4

Actividad enzimática en el suelo tras la aplicación de los tratamientos al día 0, 30 y 60

Tr	Fosfatasa alcalina (p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹)			Deshidrogenasa (TFF g ⁻¹ 24 h ⁻¹)			β glucosidasa (p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹)		
	Día								
	0	30	60	0	30	60	0	30	60
T ₁	105,5 ± 41,2 ^{ab}	155,7 ± 59,4 ^a	92,0 ± 39,2 ^a	22,1 ± 7,7 ^{ab}	62,6 ± 31,1 ^a	11,1 ± 6,5 ^a	78,6 ± 20,8 ^a	80,9 ± 16,3 ^a	113,8 ± 4,0 ^a
T ₂	141,0 ± 35,1 ^a	151,9 ± 54,6 ^a	66,0 ± 18,0 ^{bc}	31,1 ± 7,0 ^a	46,7 ± 22,2 ^a	9,1 ± 3,3 ^a	64,8 ± 22,8 ^a	73,9 ± 14,9 ^{ab}	68,1 ± 11,0 ^{bc}
T ₃	60,4 ± 15,7 ^b	82,2 ± 5,9 ^{bc}	88,8 ± 43,9 ^a	21,0 ± 3,2 ^{ab}	15,4 ± 4,8 ^b	2,1 ± 2,1 ^b	19,7 ± 6,7 ^b	57,7 ± 13,1 ^c	68,7 ± 7,4 ^{bc}
T ₄	139,9 ± 93,9 ^a	156,3 ± 10,6 ^a	67,3 ± 12,6 ^{bc}	28,9 ± 12,5 ^a	47,4 ± 10,5 ^b	8,7 ± 4,0 ^a	77,0 ± 34,0 ^a	76,2 ± 9,2 ^a	88,7 ± 23,2 ^{ab}
T ₅	68,0 ± 18,9 ^b	73,1 ± 11,4 ^c	58,5 ± 5,6 ^{bc}	15,8 ± 2,2 ^b	10,5 ± 1,2 ^b	1,3 ± 1,3 ^b	17,6 ± 3,7 ^b	35,1 ± 2,8 ^d	43,6 ± 5,2 ^c
T ₆	124,5 ± 58,5 ^{ab}	125,9 ± 31,3 ^{ab}	70,7 ± 9,1 ^{bc}	31,4 ± 8,9 ^a	47,9 ± 15,2 ^a	7,2 ± 3,3 ^a	63,1 ± 14,1 ^a	59,1 ± 3,0 ^{bc}	69,9 ± 14,8 ^{bc}
T ₇	71,6 ± 7,8 ^b	72,4 ± 16,9 ^c	59,2 ± 14,2 ^{bc}	18,1 ± 6,3 ^b	16,4 ± 3,6 ^b	3,4 ± 3,4 ^b	21,2 ± 6,4 ^b	40,3 ± 5,6 ^d	69,7 ± 8,8 ^{bc}
T	68,5 ± 22,1 ^b	73,4 ± 12,0 ^c	48,6 ± 14,3 ^b	14,7 ± 3,7 ^b	11,4 ± 4,2 ^b	0,8 ± 1,3 ^b	18,2 ± 9,6 ^b	25,6 ± 6,3 ^d	43,2 ± 16,7 ^c

Letras indican diferencias estadísticamente significativas por cada columna de acuerdo a la prueba de LSD ($p \leq 0,05$). (Promedio ± desviación estándar). Abreviaciones: Tr = tratamiento, T₁ (C+ IM + FM), T₂ (C + FM), T₃ (IM + FM), T₄ (C + IM), T₅ (FM), T₆(C), T₇ (IM) y T (testigo).

4. Conclusión

A partir de los resultados se puede concluir que existen propiedades químicas (disponibilidad de nutrientes) y bioquímicas (actividad de enzimas hidrolíticas) definidas como indicadores de calidad de suelo que pueden reflejar el efecto de diferentes condiciones de manejo de cultivo de *V. vinifera* L. durante su etapa de enraizamiento. El cultivo de *V. vinifera* L. bajo un esquema de manejo integrado de la nutrición, basado en la aplicación de compost maduro, dosis ajustadas de fertilizante mineral e inoculantes microbianos, demostraron un aumento de la concentración de N y P disponible. La combinación de enmiendas orgánicas y nutrientes de fuente inorgánica, ajustados puede complementarse para incrementar la disponibilidad de nutrientes. Adicionalmente, indicadores de calidad enzimáticos, como es la actividad deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y β glucosidasa demostraron ser indicadores sensibles a través del tiempo, permitiendo determinar el efecto de la aplicación de manejos diferenciados, sean estos orgánicos (compost) o integrados con fertilizante químico. Finalmente, este estudio sugiere que el MIN constituye una herramienta estratégica para mejorar las propiedades del suelo del cultivo de *V. vinifera* cv Thompson seedless.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer al Proyecto FONDECYT 1130975 y a los Proyectos USM 28.09.49 y 11.28.69 por financiar parcialmente esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Antil, R.; Raj, D.; Abdalla, N.; Inubushi, K. 2014. Composting for sustainable agriculture. Springer International Publishing. Switzerland. 290 pp.
 Brataševac, K.; Sivilotti, P.; Vodopivec, B.M. 2013. Soil and foliar fertilization affects mineral contents in *Vitis vinifera* L. cv. 'rebuta' leaves. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13: 650-663

Burns, R.; DeForest, J.; Marxsen, J.; Sinsabaugh, R.; Stromberger, M.; Wallenstein, M.; Weintraub, M.; Zoppini, A. 2013. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. Soil Biology and Biochemistry 58: 216-234.
 Dindar, E.; Topac, F.; Baskaya, H.S.; Kaya, T. 2017. Effect of wastewater sludge application on enzyme activities in soil contaminated with crude oil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 17: 180-193.
 Flavel, T.; Murphy, D.; Fillery, D. 2005. Gross N mineralization rates after application of composted grape marc to soil. Soil Biology and Biochemistry 37: 1397-1400.
 Instituto Nacional de Normalización (INN). 2016. Compost- Quality requirements and classification 2880-2016. Santiago, Chile. 16 pp.
 Habai, R.; Nwakaego, V.; Deusdedit, P.; Odeh, I.; Singh, A.; Buchan, D.; De Neve, S. 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. Applied Soil Ecology 101: 185-193.
 Jacobsen, S.; Sorensen, M.; Pedersen, S.; Weiner, J. 2013. Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity. Agronomy for Sustainable Development 33: 651-662.
 Kumar, S.; Chaudhuri, S.; Maiti, S. 2013. Soil dehydrogenase enzyme activity in natural and mine soil - A Review. Middle-East Journal of Scientific Research 13: 898-906.
 Lakhdar, A.; Scelza, R.; Scotti, R.; Rao, M.; Jedidi, N.; Gianfreda, L.; Abdelly, C. 2010. The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 10: 40-47.
 Lata, S.; Marschner, P. 2013. Compost effects on microbial biomass and soil P pools as affected by particle size and soil properties. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13: 313-328.
 Ma, X.; Che, L.; Chen, Z.; Wu, Z.; Zhang, L.; Zhang, Y. 2010. Soil glycosidase activities and water soluble organic carbon under different land use types. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 10: 93-101.
 Makoi, J.; Dakidemi, P. 2008. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. African Journal of Biotechnology 7: 181-191.
 Malik, M.; Khan, K.; Marschner, P.; Hassan, F. 2013. Microbial biomass, nutrient availability and nutrient uptake by wheat in two soils with organic amendments. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13: 955-966.
 Martínez, M.; Gutiérrez, V.; Novo, R. 2010. Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos. Editorial USM. Santiago, Chile. 235 pp.
 Martínez-Blanco, J.; Lazcano, C.; Christensen, T.; Muñoz, P.; Rieradevall, J.; Möller, J.; Antón, A.; Boldrin, A. 2013. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment, a review. Agronomy for Sustainable Development 4: 721-732.

- Martínez, M.; Ortega, R.; Angulo, J.; Janssens, M. 2013. Effect of different carbon rates on table grapes (*Thompson seedless*) in a controlled experiment. *Acta Horticulturae* 1018: 271-278.
- Mohammadi, K.; Heidari, G.; Karimi, M.; Ghamari, S.; Sohrabi, Y. 2012. Contrasting soil microbial responses to fertilization and tillage systems in canola rhizosphere. *Saudi Journal of Biological Sciences* 19: 377-383.
- Muñoz, M. 2017. Boletín frutícola: Avance Enero 2017. Oficina de estudios y política agraria (ODEPA). Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 10 pp.
- Nannipieri, P.; Ceccanti, B.; Cervelli, S.; Matarese, E. 1980. Extraction of phosphatase, urease, protease, organic carbon and nitrogen from soil. *Soil Science Society of America Journal* 44: 1011-1016.
- Nannipieri, P.; Giagnoni, L.; Renella, G.; Puglisi, E.; Ceccanti, B.; Masciandaro, G.; Fornasier, F.; Moscatelli, M.C.; Marinari, S. 2012. Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and Fertility of Soils*. 48: 743–762.
- Obuotor, T.M.; Kolawole, A.O.; Sakariyau, A.O. 2017. Evaluation of the phytotoxicity of compost produced from market waste and cow dung. *Advances in Biological Research* 11: 89-95.
- Ortega, R. 2015. Integrated nutrient management in conventional intensive horticulture production systems. *Acta Horticulturae* 1076: 159-164.
- Ortega, R.; Martínez, M. 2010. Nuevas tendencias en nutrición de frutales. *Revista Frutícola* 1: 20-23.
- Palma, J. 2006. Estrategia de fertilización en vid de mesa diseños y monitoreos. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad: Uva. Soquimich Nitratos S.A. Chile. Santiago, Chile. 136 pp.
- Reardon, C.; Wuest, S. 2016. Soil amendments yield persisting effects on the microbial communities- a 7-year study. *Applied Soil Ecology* 101: 197-116.
- Ren, T.; Wang, J.; Chen, Q.; Zhang, F.; Lu, S. 2014. The effects of manure and nitrogen fertilizer applications on soil organic carbon and nitrogen in a high-input cropping System. *PLoS One* 9: e97732.
- Ryals, R.; Kaiser, M.; Torn, M.; Berhe, A.; Silver, W. 2014. Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 52-61.
- Sadzawka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina N°16. Instituto de Investigaciones Agropecuarias- INIA. Santiago, Chile. 130 pp.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R.; Mora, M.; Flores, H.; Neaman, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile Revisión 2006. Serie actas INIA N°34. Instituto de Investigaciones Agropecuarias- INIA. Santiago, Chile. 164 pp.
- Scotti, R.; Bonanomi, G.; Scelza, R.; Zoina, A.; Rao, M. 2015. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 333-352.
- Sharma, S.; Sayyed, R.; Trivedi, M.; Gobi, T. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus* 2: 587.
- Sierra, C. 2001. Fertilización en vides de mesa. Boletín INIA N° 74. Instituto de investigaciones Agropecuarias- INIA. Santiago, Chile. 56 pp.
- Tian, L.; Dell, E.; Shi, W. 2010. Chemical composition of dissolved organic matter in agroecosystems: Correlations with soil enzyme activity and carbon and nitrogen mineralization. *Applied Soil Ecology* 46: 426-435.
- Tong, Y.; Ma, W.; Gao, Y.; Zhang, S. 2010. Characteristics of nutrient uptake by grape. *Better Crops* 94: 29-31.
- Trabelsi, D.; Mhamdi, R. 2013. Microbial inoculants and their impact on soil microbial communities: A review. *BioMed Research International* 2013: ID 863240.
- Wuest, S.; Gollany, H. 2012. Soil organic carbon and nitrogen after application of nine organic amendments. *Soil Science Society of America Journal* 77: 237-245.
- Wichuk, K.; McCartney, D. 2010. Compost stability and maturity evaluation — a literature reviews. *Canadian Journal of Civil Engineering* 37: 1505–1523.
- Wu, W.; Ma, B. 2015. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Science of the Total Environment* 512: 415–427.
- Zhang, Y.; Chen, L.; Wu, Z.; Sun, C. 2011. Kinetic parameters of soil β -glucosidase response to environmental temperature and moisture regimes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 1285-1291.