

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN LAS
PROPIEDADES DEL SUELO Y EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE TIPO
CHERRY (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L. VAR. *CERASIFORME*)**

KATHIA ANGELINA MONTIEL RUIZ

Santiago, Chile

2020

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN LAS
PROPIEDADES DEL SUELO Y EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE TIPO
CHERRY (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L. VAR. *CERASIFORME*)**

**EFFECT OF THE ORGANIC AMENDMENTS INCORPORATION IN THE
SOIL PROPIERTIES AND YIELD OF CHERRY TOMATO (*SOLANUM
LYCOPERSICUM* L. VAR. *CERASIFORME*)**

KATHIA ANGELINA MONTIEL RUIZ

Santiago, Chile

2020

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN LAS
PROPIEDADES DEL SUELO Y EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE TIPO
CHERRY (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L. VAR. CERASIFORME)**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniera Agrónoma.

KATHIA ANGELINA MONTIEL RUIZ

PROFESOR GUÍA	CALIFICACIONES
Sr. Osvaldo Salazar G. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D.	7,0
PROFESORES EVALUADORES	
Sra. Yasna Tapia F. Ingeniero de Alimentos, Dra.	6,5
Sr. Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0

The image shows two handwritten signatures in blue ink. The top signature is a stylized, cursive signature that appears to be 'Yasna Tapia'. The bottom signature is also cursive and appears to be 'Ian Homer B.'. Both signatures are positioned to the right of the corresponding names in the table above.

Santiago - Chile

2020

AGRADECIMIENTOS

En memoria de mi padre, Marcos, un hombre guerrero que me enseñó a no rendirme nunca ante las adversidades, quien siempre creyó en mí y me brindó su apoyo incondicional. Pese que el destino me alejó de tu forma terrenal, siento que estás siempre en cada paso que doy, llevo tu legado en mí y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que nos encontraremos para abrazarnos toda la eternidad.

Primeramente, agradecer a mi madre por luchar siempre por nosotras, por entregarnos valores y formarnos como mujeres con grandes sueños, tu esfuerzo y perseverancia me han permitido llegar a ser la mujer de hoy. A mi hermana, mi suricata, por siempre estar ahí para escucharme y contenerme, por sacar mi lado protector y por traer la alegría a nuestra casa, *“somos como las ramas de un árbol que crecen en distintas direcciones, pero nuestra raíz será siempre una sola”*. A mi papi Juan por darme su intelecto, mi mami Rosa por su inmenso amor y valentía, gracias por enseñarme que con humildad y trabajo duro se pueden lograr grandes cosas.

A mi compañero de vida, Pablo, por levantarme cada vez que sentía que no podía más, por enseñarme tantas cosas que es difícil describir con simples palabras, por tu amor incondicional, por todas las aventuras vividas en estos hermosos años, por estar en las alegrías y colapsos. Por creer incondicionalmente que iba a alcanzar todo lo que me había planteado, aun cuando algunas ideas parecieran alocadas. Este es el término de una etapa, pero el gran comienzo de una vida juntos.

A mis amigas de toda la vida, mis hermanas Sandra y Constanza, por su amistad y amor, contención en los momentos más difíciles y por alegrarme la vida cada vez que hablamos o nos vemos, gracias por enseñarme el significado de la amistad a lo largo de estos años, son un pilar fundamental en mi vida.

A la gente hermosa que me dejó la universidad: Emilia, Carlos, Felipe, Rodolfo, Macarena, Alejandra, Daniel y tantos otros con quienes viví inolvidables experiencias, gracias por toda la ayuda desinteresada, por abrir mi mente y cambiar mi forma de ver las cosas. Cada conversación, risa, enojo, viaje, junta y carrete quedará para siempre en mis recuerdos, sin duda sin ustedes esta etapa hubiera sido mucho más difícil. A la Selección de Basquet Antumapu, mi equipo y refugio por tantos años, una familia con la cual pude contar siempre, valió la pena cada corrida después de clases para llegar a la cancha junto a ustedes.

A mi profesor guía Osvaldo Salazar, por todas sus enseñanzas, consejos y su confianza en las decisiones que tomé, me ayudó a creer más en mis capacidades. Gracias por cada oportunidad en la que me tuvo considerada. Además, agradecer al Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, profesora Yasna y Benjamin, por acogerme durante este tiempo, Sra. Consuelo por las extensas conversaciones. Agradezco en especial a la Sra Marisol por toda la ayuda brindada durante todas las mediciones.

A cada uno(a) de ustedes, muchísimas gracias.

INDICE

	Páginas
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Lugar de estudio	6
Materiales	6
Métodos	7
Descripción de los tratamientos y diseño experimental	7
Caracterización de las enmiendas orgánicas	8
Caracterización del suelo	9
Parámetros de crecimiento y rendimiento	9
Análisis estadístico	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
Caracterización de enmiendas	10
Caracterización del suelo	11
Crecimiento vegetativo y rendimiento	13
Efecto de las enmiendas orgánicas	17
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21
ANEXO.....	26
APENDICE I.....	27

RESUMEN

Los manejos convencionales sostenidos en el tiempo impulsan la degradación química, física y biológica del suelo, aumentando la susceptibilidad a la erosión, pérdida de materia orgánica del suelo (MOS) y nutrientes para los cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar el efecto de la aplicación de compost vegetal, compost de origen animal y orujo de la industria vitivinícola versus fertilizantes inorgánicos en las propiedades físicas y químicas de un suelo, midiendo además aspectos de crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate tipo Cherry (*Solanum lycopersicum* L. Var. Cerasiforme). El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Antumapu, ubicada en la Comuna de La Pintana, Provincia de Santiago. Se establecieron 4 tratamientos conformados por: un testigo con aplicación de fertilizantes que aportaron nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en niveles óptimos (T0); compost de origen vegetal (T1); compost de origen animal (T2); y orujo de uva (T3), distribuidos en un diseño en bloques completamente aleatorizados. La incorporación de las enmiendas orgánicas se realizó en agosto de 2019 y la aplicación de los fertilizantes minerales según la necesidad del cultivo de tomate, el cual se trasplantó en terreno el 17 de diciembre del 2019 y fue cosechado la primera quincena de marzo del 2020. Se realizó una caracterización inicial del suelo y de las enmiendas orgánicas para determinar la enmienda adecuada para el tipo de suelo. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la longitud del eje central en el tratamiento T1 al mes de establecido el cultivo, no obstante, pese a continuar con la tendencia de mayor altura al momento de la cosecha no fue significativamente diferente con los demás tratamientos. Los tratamientos con aplicación de compost presentaron mayor peso de frutos comparado con T0, en donde T1 presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) para la variable. El T1 presentó una relación C/N < 15 que podría favorecer la mineralización en el suelo y una disponibilidad de N mayor para etapas tempranas del cultivo. A pesar de no existir diferencias significativas, la aplicación de enmiendas orgánicas logró igualar los rendimientos obtenidos con fertilización mineral.

Palabras claves: Compost, materia orgánica, producción orgánica

ABSTRACT

Conventional managements along the time have generated a chemical, biological and physical degradation, increasing the susceptibility to the erosion, loss of soil organic matter (MOS) and nutrients for the crops. The aim of this research was to evaluate and compare the effect of the application of vegetable-source compost, animal-source compost and pomace of winemaking against inorganic fertilizers, checking the physical and chemicals properties of the soil, and measuring the growing, developing and yield of the Cherry tomatoes crops (*Solanum lycopersicum* Var. *Cerasiforme*). The research was carried out in the Antumapu Experimental Station, located in La Pintana, Santiago. It was established 4 treatments conformed by: a control with fertilizer application of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in optimal levels (T0); vegetable-source compost (T1); animal-source compost (T2); pomace of winemaking (T3); all of them located in a random block design. The organic amendments were added in august of 2019, while the mineral fertilizers were added in base of the needs of the tomato crop, which were transplanted to the ground in december 17th of 2019 and then, harvested in the first fortnight of march of 2020. An initial characterization of the soil and organic amendments was carried out to determine the appropriate amendment for the type of soil. Significant differences ($p < 0.05$) were found in the length of the central axis in the T1 treatment one month after the cultivation was established, however, despite continuing with the trend of higher height at harvest, it was not significantly different with the other treatments. The treatments with compost application presented higher fruit weight compared to T0, where T1 presented significant differences ($p < 0.05$) for the variable. T1 presented a C/N ratio < 15 that could favour mineralization in the soil and a higher availability of N for early stages of cultivation. Despite the absence of significant differences, the application of organic amendments managed to equal the yields obtained with mineral fertilization.

Keywords: Compost, organic matter, organic production

INTRODUCCIÓN

La utilización de fertilizantes inorgánicos en conjunto con una agricultura intensiva, inicialmente favorecieron un importante aumento de la productividad en los sistemas agrícolas (Agegnehu *et al.*, 2017). No obstante, este manejo sostenido en el tiempo en conjunto con un aumento de presión demográfica (SOLAW, 2011) impulsaron una degradación química, física y biológica del suelo, aumentando la susceptibilidad a la erosión y desertificación. Esta degradación provocó una pérdida importante de la materia orgánica del suelo (MOS), disminuyendo la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Jindo *et al.*, 2015). Debido a esta problemática y para lograr conllevar una agricultura más productiva y resiliente, es necesario ejercer una mejor gestión de los recursos naturales presentes, por lo que se deben ir adoptando prácticas más sustentables que ayuden a mitigar los procesos de degradación del suelo y permitan así una agricultura sostenible en el tiempo (Albuquerque *et al.*, 2012; Agegnehu *et al.*, 2017).

Según un estudio realizado por Román *et al.* (2013) ponen en manifiesto que ejercer un reciclaje de residuos orgánicos generados por la explotación agropecuaria, puede conllevar a convertir residuos en insumos agrícolas, permitiendo un retorno de nutrientes al suelo, aumentando los microorganismos y MOS, pudiendo así disminuir el riesgo de erosión y desertificación. Una forma de reciclaje es a través de la generación de compost y/o aplicación directa en forma de enmienda orgánica de origen vegetal, animal o industrial, las cuales al ser incorporadas pueden mejorar las propiedades y calidad del suelo, generando así un aumento en los rendimientos. En particular, se generan distintos efectos sobre la fertilidad de éste, dependiendo de la composición química de las enmiendas, la cual es muy variada y está ligada a su origen (Carmo *et al.*, 2016). Se ha demostrado que la aplicación de enmiendas orgánicas permite mejorar las propiedades físicas del suelo, donde estudios reportan, por ejemplo, una mayor retención de agua, mejor aireación entre los agregados del suelo (Molina *et al.*, 2016), disminución de la densidad aparente y aumento de la porosidad total (Montaño y Forero, 2013).

Carvajal y Mera (2010) señalan que las enmiendas orgánicas de origen animal han sido utilizadas históricamente en la agricultura, debido a que éstas aportan elementos esenciales como nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P) y calcio, entre otros. Estos autores agregan que las enmiendas de origen animal, una vez incorporadas al suelo, su velocidad de descomposición es mucho más rápida que otras enmiendas. Además, este tipo de residuos poseen la característica de poder aumentar el pH del suelo, lo cual sería sumamente útil en suelos muy ácidos que posean baja disponibilidad de macronutrientes (Carmo *et al.*, 2016). Sin embargo, los autores señalan que hay que considerar que en general las enmiendas de origen animal poseen un contenido alto de sales que podrían generar un aumento en la conductividad eléctrica (CE) del suelo. Lo anterior, es particularmente relevante para especies que sean sensibles a niveles ligeramente salinos en el suelo (CE: 2.0-4.0 dS m⁻¹), ya que podría ser perjudicial para la producción, por lo cual es preciso que pasen por un compostaje y/o lavado con agua para una estabilización de estos factores.

Las enmiendas de origen vegetal, generalmente se someten a procesos de compostaje para estabilizar los procesos de mineralización/inmovilización de sus elementos y la relación C/N (Barrena, 2006). El compost vegetal tiene la ventaja que puede aumentar la MOS en el suelo en el corto plazo (Abril *et al.*, 2014), como también puede elevar los niveles de macro y micronutrientes, teniendo como una característica positiva la entrega lenta de sus nutrientes, pudiendo satisfacer las demandas durante todo el ciclo del cultivo (Hewidy *et al.*, 2015).

Existen residuos de procesos agroindustriales que con un adecuado manejo se pueden utilizar como enmiendas en el suelo; por ejemplo, en la industria vitivinícola se producen desechos posteriores a la elaboración de vinos, como son las lías y orujos desalcoholizados. Moreno y Moral (2008) señalan que dentro de su composición química se destaca un alto contenido de N, P y K disponibles, MO, pH ácido y baja CE; también presentan una relación C/N entre 9-32, lo cual podría favorecer una dominancia de procesos de mineralización de N en el suelo.

Dentro de los cultivos hortícolas más importantes se encuentra el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) el cual cuenta con una amplia distribución mundial y alto valor económico, siendo una de las hortalizas de mayor consumo. Debido a la creciente conciencia de adquirir productos orgánicos por parte del consumidor, es necesario ir adaptando manejos hacia una producción más sustentable con el entorno. Se ha evidenciado que adición de enmiendas orgánicas en el cultivo de tomate, favorece un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas, aumentando su productividad en comparación a cultivos sin manejo orgánico (Aylaj *et al.*, 2018).

Debido a lo argumentado anteriormente, se plantea en este estudio como hipótesis que la utilización de enmiendas orgánicas en comparación con la utilización de fertilizantes inorgánicos, mejoran las propiedades químicas y físicas del suelo, lo que conlleva a un aumento de rendimiento en el cultivo de tomate Cherry.

Objetivo general

Evaluar y comparar el efecto de la aplicación de compost vegetal, compost de origen animal y orujo de uva versus fertilizantes inorgánicos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo y en la producción y desarrollo de tomate tipo Cherry.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar químicamente el orujo y los compost para evaluar su utilización como enmienda orgánica en el suelo.
- Revisar información actual sobre el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo y su efecto sobre el rendimiento de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Antumapu, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la Comuna de La Pintana, Provincia de Santiago (33°34'S-70°38'O). El experimento se realizó en un suelo que se ha mantenido sin cultivo por un periodo superior a los 5 años, cubierto la mayor parte del tiempo por malezas.

De acuerdo con la clasificación de Köeppen, el clima de la zona es templado cálido, presentando un régimen hídrico con una precipitación anual de 320 mm concentrado en invierno y un periodo seco de ocho meses. El régimen térmico presenta una temperatura media anual de 15,2°C, que varía en promedio entre una máxima de 28,2°C en el mes de enero y una mínima en el mes de junio de 7,9°C (Santibañez *et al.*, 2017).

El suelo de los ensayos corresponde a un suelo de origen aluvial, perteneciente a la Serie de suelos Santiago, miembro de la Familia franca gruesa sobre arenosa esquelética, mixta, térmica de los Entic Haploxerolls. Presenta una topografía plana, con una pendiente de 1%, una profundidad media de 0,6 m y buen drenaje (CIREN, 1996). En el Anexo 1 se incorporó la descripción morfológica realizada en otro proyecto de Investigación del sitio en estudio en el año 2015.

Todas las muestras de suelo, enmiendas orgánicas y tejido del cultivo colectadas en este estudio fueron procesadas y analizadas en las instalaciones del Laboratorio de Química de Suelos y Aguas y en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Materiales

Antes de dar inicio al ensayo de aplicación de enmiendas orgánicas, y con el objetivo de uniformizar los manejos del sitio de estudio, se estableció en toda la superficie un cultivo de maíz grano, utilizando la variedad comercial híbrida 33Y74 (Pioneer), realizando la siembra a mediados de noviembre del 2017. Posterior a la cosecha del maíz se realizó una caracterización física y química del suelo, a continuación, se aplicaron las enmiendas orgánicas para luego realizar el trasplante de una variedad trepadora de tomate Cherry (*Solanum Lycopersicum* L. Var. Cerasiforme) en diciembre de 2019. Los plantines se obtuvieron de vivero Las Palmas en Antupiren y fueron trasplantados en el estado de tres hojas verdaderas totalmente expandidas.

Las tres enmiendas utilizadas se obtuvieron desde diversos orígenes: el compost vegetal se obtuvo por medio de la Dirección de Gestión Ambiental (DIGA) de la Municipalidad de La

Pintana, el cual es elaborado a partir de residuos vegetales de ferias libres y restos de comida domiciliaria, compostados durante 6 a 8 meses; el compost animal fue facilitado por la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, este es elaborado en pilas con guano de diversos animales presentes en “Mundo Granja” (guano de gallina, bovino, ovinos, equinos principalmente.); y el residuo vitivinícola fue otorgado por el Departamento de Agroindustria y Enología de la Facultad de Ciencias Agronómicas, posterior a una vendimia.

Métodos

1. Descripción de los tratamientos y diseño experimental

Se estableció un diseño en bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones cada uno, dando un total de 12 unidades experimentales. Los bloques fueron divididos con dimensiones de 4 m x 3 m, dentro de los cuales se establecieron unidades experimentales (UE) de 1,5 m x 2,0 m como se puede visualizar en el Apéndice I. En cada UE se situaron cuatro hileras separadas a 40 cm con una distancia de plantas sobre hilera de 30 cm, dando una densidad de plantación de 4 plantas por metro lineal.

Como variables se consideró fertilización orgánica con residuos de distinto origen (Cuadro 1) y fertilización mineral en niveles óptimos (Cuadro 2). La aplicación de los tratamientos orgánicos se efectuó por cada hilera y fue realizada en agosto del 2019.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos evaluados y dosis de enmienda orgánica (EO) aplicada por Unidad Experimental (UE)

Tratamiento	Enmienda orgánica	Nombre común	Dosis EO ----kg UE ⁻¹ ----
T0	-		0
T1	Compost vegetal	Compost DIGA	20
T2	Compost Animal	Compost MG	18
T3	Residuo vitivinícola	Orujo	6,4

Para determinar la dosis de las enmiendas se consideró la caracterización del suelo efectuada en el sitio de estudio, tomando en cuenta que el contenido de MOS promedio del primer horizonte fue de 2,5% (MOS_{inicial}). La dosis de materia orgánica (MO) a aplicar en el suelo se calculará considerando subir el contenido de MOS en la capa arable (0-20 cm) hasta 3,0% (MOS_{final}) utilizando un balance de masas planteado en la Ecuación 1:

$$Dosis\ de\ MO\ (kg\ ha^{-1}) = \frac{\% \text{ de MOS a subir} \times Da \times Prof \times 100.000}{Ef} \quad (Ec.1)$$

donde:

% MOS a subir = % MOS_{final} - % MOS_{inicial} = kg MOS/100 kg

Da = densidad aparente del suelo (Mg m⁻³)

Prof = Profundidad de suelo (m)

Ef = 1/3 de lo aplicado que corresponde a la eficiencia estimada del aporte neto de la MO incorporada al suelo, posterior a la asimilación del carbono ingresada por la biomasa microbiana

Posteriormente una vez calculada la dosis de MO, se determinó la dosis de cada enmienda orgánica (Eo) con la Ecuación 2

$$Dosis\ de\ Eo\ (ton\ ha^{-1}) = \frac{Dosis\ de\ MO(1) \times 10.000}{\% \text{ de materia orgánica en la Eo} \times \% MS \text{ de la Eo}} \quad (Ec.2)$$

En cuanto al tratamiento T0, se calculó la dosis óptima según la demanda del cultivo, para el cual se consideró un rendimiento esperado de 115 ton ha⁻¹. Se aplicaron los fertilizantes según la curva de absorción de nutrientes descrita por Tjalling (2006), la cual es detallada en el Cuadro 2. Los fertilizantes utilizados fueron urea, superfosfato triple y muriato de potasio, siendo aplicados en forma de fertirriego.

Cuadro 2. Descripción de dosis aplicadas parcializadas en días desde el trasplante

Etapa fenológica	DDT ¹	----- g UE ⁻¹ -----		
		Dosis Urea	Dosis SFT	Dosis KCl
Trasplante	8	6,0	2,8	6,0
Desarrollo de la planta	27	14,4	2,8	8,4
Floración	41	48,0	5,3	44,4
Fructificación	55	40,8	5,3	43,2
Plena cosecha	110	10,8	0,0	18
Total		120	16,2	120

¹DDT= días desde trasplante

2. Caracterización de las enmiendas orgánicas

En las enmiendas orgánicas se analizaron los siguientes parámetros según los métodos descritos por Sadzawka *et al.* (2005), el contenido de C orgánico a través del método de pérdida por calcinación a 550°C; pH en suspensión en agua relación 1:5 p/v ; CE en extracto 1:5 (p/v); niveles de fósforo (P) y potasio (K) disponible; porcentaje de contenido de agua; N total (N_T), el que se utilizó junto al C para calcular la relación C/N.

3. Caracterización del suelo

En el ensayo se realizó un muestreo de suelos en superficie (0-20cm) para evaluar características químicas y físicas, donde inicialmente se realizó una caracterización de todas las UE con el fin de poder contrastar con mayor precisión cada tratamiento.

Respecto a la caracterización química del suelo, las propiedades se analizaron según los métodos propuestos por Sadzawka *et al.* (2006) para: niveles de MOS mediante pérdida por calcinación; pH en agua y CE en extracto de saturación; y la concentración disponible de N-P-K.

Los análisis de las propiedades físicas del suelo incluyeron densidad aparente por el método del cilindro y textura por el método del hidrómetro de Boyoucos, siguiendo la metodología propuesta por Sandoval *et al.* (2012).

4. Parámetros de crecimiento y rendimiento

Se cuantificó la longitud del eje principal de las plantas a las 2 semanas del trasplante, repitiéndose la medición en floración y a los 60 días. Para este parámetro fue contemplada la distancia desde la base de la planta (nivel del suelo) hasta el ápice del tallo.

La cosecha del cultivo fue realizada a los 120 días desde el trasplante, en donde se procedió al conteo de frutos por planta (frutos planta⁻¹), seleccionándose 5 frutos por unidad experimental para evaluar el diámetro polar y ecuatorial (cm) y su respectivo peso (g fruto⁻¹). Por medio de los parámetros peso y número de frutos, se extrapola el rendimiento de las plantas en kg planta⁻¹ y para obtener el valor de ton ha⁻¹, fueron consideradas 6 plantas por m².

Después de cosechados los racimos de tomates, se evaluó la materia seca de hojas y tallos. Cabe destacar que se colectaron las plantas de las dos hileras centrales de cada unidad experimental, descartándose las plantas de los extremos o bordes, teniendo un total de 10 plantas por unidad experimental en el análisis. Las muestras vegetales se analizaron en el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, siendo secadas en estufa a 70°C hasta alcanzar masa constante.

Análisis estadístico

Las variables medidas, fueron evaluadas con un análisis de la varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia del 5%. En los casos donde hubo diferencias entre tratamientos, los datos se sometieron a una prueba de comparaciones múltiples de Tukey (con 95% de confianza), para así identificar aquellos con diferencias estadísticamente significativas. Estas evaluaciones se realizaron con el programa estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de enmiendas

Según Román *et al.* (2013), un compost maduro presenta valores de MO >20% base seca; valores de pH en rangos ideales entre 6,5-8,5; un contenido de N total (N_T) ~1%; además de una relación C/N entre 10:1~15:1. Analizando los datos obtenidos en el análisis químico (Cuadro 3), todos los compost utilizados presentaron un contenido de materia orgánica (MO) sobre el 20%, pH dentro del rango óptimo y $N_T > 1\%$. Es importante destacar que la interpretación de los valores de la disponibilidad de nutrientes y la CE de las enmiendas, están relacionadas al material de origen utilizado en el compostaje, por lo que se debe analizar de forma independiente. Por ejemplo, los resultados del compost de origen animal (T2) corresponden a la mezcla de sus componentes tales como guano de gallina, bovino y aserrín.

Cuadro 3. Caracterización química de enmiendas orgánicas utilizadas en cada tratamiento

Parámetro	Tratamiento		
	T1	T2	T3
MO (%)	26,31	44,95	92,19
CO (%)	14,61	24,97	51,22
pH 1:5 p/v	7,4	6,8	7,1
CE (dS m ⁻¹)	4,95	3,18	0,91
N_T (%)	1,88	1,57	2,92
P (mg kg ⁻¹)	32,0	67,7	130,3
K (mg kg ⁻¹)	158,9	74,49	255,7
Contenido agua (%)	3,3	4,2	7,7
Relación C/N	8,0	16	18

El compost de residuos vegetales (T1) registró una CE alta en relación con lo reportado sobre compost de origen vegetal en la literatura (0,28-0,88 dS m⁻¹), mientras que el nivel de N_T se encontraba dentro de los rangos comunes en este tipo de material compostado (Campos y Salazar, 2016).

El compost de origen animal (T2) presentó una CE alta (>2,2 dS m⁻¹), un nivel de N_T alto (>0,3%) y una disponibilidad alta de P y K con relación a lo reportado en otros estudios de enmiendas orgánicas de origen animal (Carrasco *et al.*, 2012; Carmo *et al.*, 2016).

El orujo (T3) mostró un contenido de MO alto; baja presencia de sales, pero mayor en comparación a lo reportado para orujo compostado o vermicompostado (Paradelo *et al.*, 2009); y niveles de las formas disponibles de P, K y N_T altos sobre los niveles de los compost utilizados en T1 y T2. Carmona *et al.* (2012a) mencionan que, si bien el orujo presenta altos niveles de MO, esta puede ser disminuida con mayor velocidad debido a la degradación de restos de pulpa y piel, los cuales son ricos en azúcares. Cabe destacar que esta enmienda fue evaluada y aplicada en estado original, sin haber ejercido algún tipo de compostaje para su

estabilización. No obstante, el material presenta características adecuadas para ser incorporado al suelo, teniendo además altos niveles de nutrientes esenciales que servirán para un correcto desarrollo del cultivo, características similares fueron obtenidas por Carmona *et al.* (2012b).

Estudios demuestran que hay una correlación directamente proporcional entre la relación C/N de la enmienda orgánica y la mineralización neta de N, aludiendo una relación 15:1 como valor crítico, por lo que sobre ese valor ocurre una inmovilización por parte de los microorganismos del suelo y por bajo el valor ocurre mineralización del N contenido en dichas enmiendas (Monsalve *et al.* 2017). Por tanto, la incorporación al suelo del compost de origen animal (T2) y orujo de uva (T3) pudieron favorecer inicialmente una inmovilización del N en el suelo dada su mayor relación C/N (>15), con respecto al compost de origen vegetal (T1) pudo generar una mineralización neta de N desde su aplicación, contribuyendo con aporte de N desde el inicio del cultivo de tomate.

Caracterización del suelo

El cultivo de tomate se desarrolla sin limitaciones en suelos de clase texturales francas con niveles de MOS alta (>5%), siendo medianamente limitante suelos de clase textural arcillosa (Monardes, 2009). Aunque la profundidad óptima de suelos se encuentra en 1 m, en suelos con valores de al menos 70 cm de profundidad y con buen drenaje puede tener un buen desarrollo de raíces, dado que cerca de un 80% de sus raíces se encuentran dentro de los primeros 40 cm de profundidad (Escaff *et al.* 2005). Según Monardes (2009) el cultivo no presenta limitaciones con un drenaje moderadamente bueno con ausencia de nivel freático, siendo limitante un drenaje imperfecto con presencia de nivel freático a 110 cm.

Para el caso del pH del suelo, el cultivo de tomate se adapta a rangos desde ligeramente ácido hasta neutro (5,5-6,8), siendo un valor óptimo para el desarrollo un pH 6,0 con un máximo tolerado de pH 8,0. Además, el cultivo es moderadamente sensible a la salinidad, tolerando valores máximos de CE = 2,0 dS m⁻¹ sin afectar su rendimiento. Se ha evidenciado que CE = 4 dS m⁻¹ provoca una disminución de un 10% de la productividad normal de la especie (Sierra, 2013).

Por otra parte, en el Cuadro 4 se presentan los resultados de las propiedades físicas del suelo de estudio, previo a la aplicación de enmiendas orgánicas.

Cuadro 4. Propiedades físicas del suelo de estudio antes de la aplicación de las enmiendas orgánicas.

Bloque	Propiedades ¹	
	Clase textural	Da
		Mg m ⁻³
1	F	1,26 ± 0,05
2	F	1,21 ± 0,06
3	F	1,11 ± 0,17

¹Da: densidad aparente; F: franca; valores corresponden al promedio ± desviación estándar (n=4)

El suelo del estudio presentó una clase textural franca, la que es óptima para el cultivo de tomate. La medición de la densidad aparente (Da) del suelo superficial se encontró en un rango de 1,1 a 1,3 Mg m⁻³, lo que indicaría que este suelo no presentaría problemas de compactación (Casanova *et al.*, 2008; Sandoval *et al.* 2011). Aunque el bloque 1 y 2 presentan valores de Da dentro de los valores esperables para suelos de clase textural franca medida por el método del cilindro (Sandoval *et al.* 2011), el bloque 3 presentó una Da más baja de lo esperado, siendo el bloque que además presenta mayor desviación entre sus datos.

En el Cuadro 5 se presenta la caracterización inicial del suelo, el cual corresponde a un suelo no salino con un pH que varía entre valores neutros a ligeramente alcalinos (Ditzler *et al.*, 2017). La MOS es muy baja, como es considerada en la mayoría de la zona central sin manejo orgánico. En cuanto a los nutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo, se observaron niveles bajos a medios de N y K disponibles y muy altos de P. Evaluando los requerimientos de tomate presentaría desarrollo sin limitaciones por pH y CE, aunque limitado por baja MOS (Allende, 2017).

Cuadro 5. Resultados del análisis de las propiedades químicas del suelo al inicio del estudio

Tratamiento	Propiedades					
	MOS	pH	CE	N	P	K
	%	1:5 (p/v)	dS m ⁻¹	---	disponibles mg kg ⁻¹ ---	
T0	2,57 ± 0,44	6,90 ± 0,84	2,79 ± 0,43	13,88 ± 7,68	28,40 ± 11,24	83,50 ± 29,81
T1	2,71 ± 0,06	7,24 ± 0,64	3,04 ± 1,09	13,65 ± 8,33	41,33 ± 21,58	70,20 ± 14,63
T2	2,56 ± 0,10	7,60 ± 0,45	2,77 ± 0,75	22,52 ± 21,18	25,23 ± 6,7	80,41 ± 40,38
T3	2,31 ± 0,52	7,47 ± 0,58	4,40 ± 2,43	23,22 ± 14,97	26,37 ± 6,64	105,3 ± 50,6

Crecimiento vegetativo y rendimiento

El cultivo de tomate Cherry finalizó su temporada en marzo del 2020, donde se cosechó la totalidad de sus racimos y plantas completas desde la base del tallo, dejando solo las raíces para ser incorporadas para la temporada siguiente. El efecto del tratamiento con compost vegetal (T1) en el cultivo evidenció una tendencia de crecimiento vegetativo mayor durante todo el periodo. Sin embargo, a los 18 días desde trasplante no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

Como se muestra en la Figura 1, a los 34 días desde trasplante se observó un efecto del tratamiento T1, el cual sostuvo un mayor crecimiento del eje central alcanzando una altura promedio de 49 cm. Además, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) respecto a los tratamientos T2 y T3, e incluso con aquellas plantas que recibieron fertilización mineral aplicado en los estadios que lo requerían (T0).

Es importante destacar que, pese a que el tratamiento T1 continuó con la tendencia de mayor altura de eje principal durante los 60 días en el campo, este no obtuvo diferencias estadísticamente significativas con las otras enmiendas ni con el T0 al momento de la cosecha.

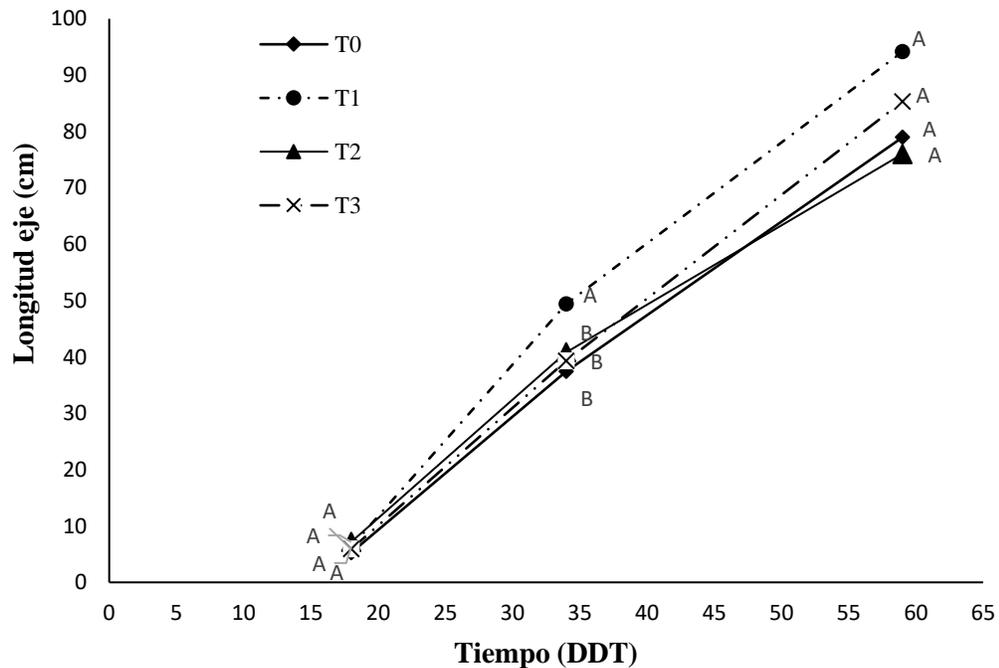


Figura 1. Longitud del eje central en función de los días desde el trasplante (DDT) en los tratamientos. Letras distintas en una fecha indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

En un estudio realizado por Renuka *et al.* (2014), se encontró que las líneas de híbrido de tomate tipo Cherry manejado bajo condiciones controladas, pueden obtener una altura promedio de 130,4 cm, siendo un valor máximo de 185 cm y una planta baja de 94 cm de altura. Al evaluar dichos valores y compararlos con las plantas del estudio, se evidencia un menor crecimiento del eje en todos los tratamientos, no obstante, al no ser manejadas en eje ni bajo condiciones controladas, los valores de este parámetro no fueron los potenciales esperados para el cultivo.

El rendimiento de los tratamientos para diferentes parámetros de crecimiento y productividad se muestran en el Cuadro 6, dichos valores representan el promedio de los datos.

Cuadro 6. Parámetros de desarrollo en el cultivo de tomate en los tratamientos

Tratamiento	Frutos				Planta
	Número	Masa	Diámetro ¹		
			Polar	Ecuatorial	
frutos planta ⁻¹	g fruto ⁻¹	mm fruto ⁻¹		g planta ⁻¹	
T0	128 a	4,1 ± 0,33 a	20,2 ± 0,33	21,2 ± 0,43	221,5 a
T1	122 a	5,2 ± 0,17 c	20,3 ± 0,22	21,3 ± 0,31	171,0 a
T2	109 a	5,1 ± 0,23 bc	20,2 ± 0,25	21,3 ± 0,36	145,3 a
T3	117 a	4,7 ± 0,24 ab	19,3 ± 0,34	20,3 ± 0,46	186,8 a

¹Valores corresponden al promedio de cada variable ± error estándar (n=15).

²Letras distintas en una columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

El material cosechado del cultivo es el resultado final de la interacción entre las condiciones ambientales y el manejo cultural, tal como la adición de MO y/o fertilizantes inorgánicos en los distintos tratamientos. Aunque los tratamientos en los que se incorporó compost (T1 y T2) poseen resultados similares en cuanto a peso de frutos, el tratamiento T1 registró un valor mayor estadísticamente significativo, alcanzando una masa promedio de 5,2 g fruto⁻¹. Sin embargo, dicho valor se encuentra bajo lo reportado por Moccia *et al.* (1999), estudio en el cual mencionan que la masa promedio de frutos de variedades indeterminadas fluctúa entre 8,54 y 9,27g fruto⁻¹. Esta baja en la masa se debe a que la cosecha se realizó una única vez, siendo que ésta debe ser escalonada para promover una disminución en la competitividad por foto-asimilados entre frutos, permitiendo que estos aumenten potencial y progresivamente en su diámetro y masa.

Aunque el tratamiento T0 fue el que obtuvo la menor masa promedio de sus frutos, al analizar su crecimiento vegetativo se encontró que las plantas con fertilización mineral mostraron una mayor producción de tallos y hojas, lo cual pudo influir en el reparto de asimilados hacia los frutos. En cuanto al número de frutos por planta, no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

En tomate tipo “Cherry”, es común que la variable diámetro fluctúe entre 15 y 35 mm (Brandán *et al.* 1998), dividiéndose en categoría I aquellos frutos que presenten un diámetro entre 2 y 3 cm y categoría II con una medida mayor a 3 cm. En el estudio se observó que todos los tratamientos presentan una tendencia similar entre sus diámetros, pudiendo ser categorizados como tipo I, lo que es común en plantas de tomate Cherry indeterminadas dado su alta producción de frutos.

Al evaluar la materia seca total se evidenció un mayor crecimiento vegetativo en las plantas tratadas con fertilización mineral (T0), favoreciendo un desarrollo mayor de hojas y tallos llegando a un peso promedio de 221,5 g planta⁻¹. Esto se atribuye a que la planta tenía disponibilidad inmediata de los nutrientes, donde el N juega un papel fundamental para un óptimo crecimiento. El tratamiento T2 con 145,3 g planta⁻¹ fue el que obtuvo menor MS pese a que el compost contenía valores altos de MO y N_T (Cuadro 3). Sin embargo, el tratamiento T2 presentaba también la relación C/N más alta entre las enmiendas aplicadas, lo que pudo generar una inmovilización del N, no dejando N disponible para las plantas de tomates en las etapas iniciales del desarrollo del cultivo. Lo anterior, podría ser revertido mediante la adición suplementaria de N para estabilizar el compost y favorecer la mineralización en el suelo (Julca *et al.*, 2006).

En la Figura 2 se representa el rendimiento de todos los tratamientos expresado en ton de tomate Cherry ha⁻¹, considerando el tamaño de las unidades experimentales para la conversión de unidades. Así, las plantas que recibieron aplicación de compost vegetal (T1) registraron los rendimientos más altos (38 ton ha⁻¹) en el ensayo. Además, el rendimiento de T2 mostró un rendimiento ligeramente más alto que el promedio de los híbridos de tomate Cherry informados por Renuka *et al.* (2014), quienes reportaron un rendimiento de 37 ton ha⁻¹. En términos de rendimiento, los resultados de tratamientos en orden decreciente fueron compost de origen animal (T2) y orujo (T3) con 33 ton ha⁻¹ cada uno, mientras que la fertilización mineral (T0) alcanzó un rendimiento de 31 ton ha⁻¹, no obstante, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

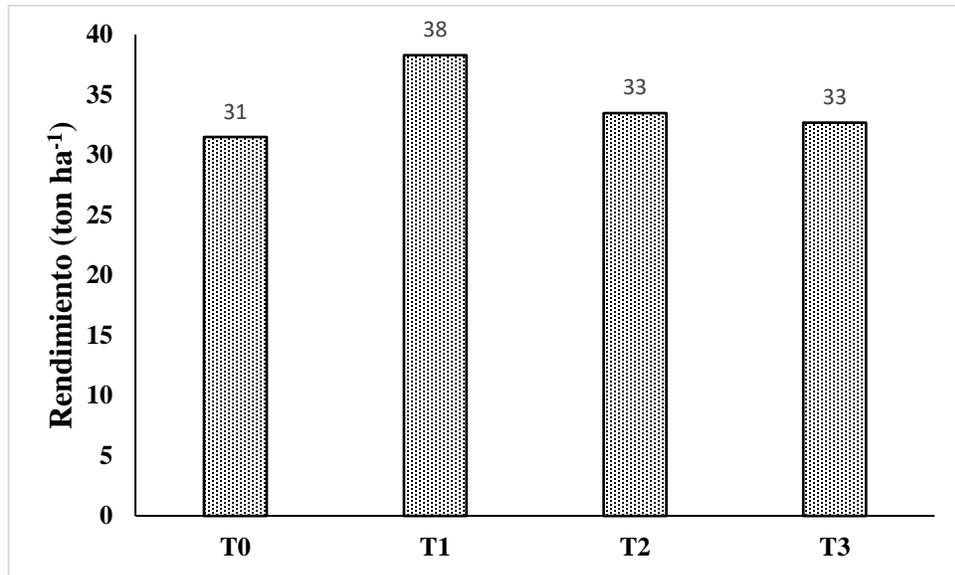


Figura 2. Rendimiento total de frutos de tomate Cherry en los diferentes tratamientos después de 80 días.

Es importante señalar que si bien a corto plazo no existieron diferencias significativas, se ha demostrado que el compost proveniente de restos vegetales puede mejorar parámetros relacionados con el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate, por lo que ese tipo de enmiendas resultan útiles y prácticas para lograr un aumento en la productividad del cultivo a largo plazo (Aylaj *et al.*, 2018). Según Ozores *et al.* (2005) las enmiendas orgánicas como compost de desechos biológicos en el suelo representan una estrategia ecológica rentable y segura a largo plazo, causando un efecto positivo en los rendimientos de los cultivos.

Julca *et al.* (2006) postulan que existe un efecto positivo al adicionar MO o productos derivados de ésta ante el crecimiento de la planta y la producción de cultivos, otorgando una mayor acumulación de materia seca y rendimiento como consecuencia a este aporte. Mayores rendimientos en aquellos tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas se puede deber a que la incorporación de estas influye en las propiedades químicas del suelo en el corto plazo, aportando nutrientes esenciales en conjunto con MO.

Efecto de las enmiendas orgánicas

La aplicación de enmiendas orgánicas ha resultado ser una solución efectiva para restaurar terrenos degradados y mejorar propiedades físicas y químicas que promueven una pérdida de capacidad productiva en los suelos (Celestina *et al.*, 2019). En general, estas aplicaciones se efectúan antes del establecimiento del cultivo con el fin de que puedan estabilizarse en el suelo y otorgar un medio óptimo para las plantas, intentando sincronizar la mineralización de nutrientes con la demanda del cultivo. Se presenta en el Cuadro 7 un resumen de diversos estudios recientes que informan el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en el cultivo de tomate.

Cuadro 7. Resumen de diversos estudios de aplicaciones de enmiendas en cultivo de tomate.

Variedad de Tomate ¹	Tratamiento orgánico	Composición	Dosis total	Rend.	Referencia
			--- ton ha ⁻¹ ---		
Miahong	Fertilizante bio-orgánico	Residuos de plantas, heces de animales y agentes microbianos funcionales	4,65	116,1	Feng <i>et al.</i> (2020)
N/I	Compost y Vermicompost	Residuos de industria azucarera y estiércol de granjas	10	0,98	Shah <i>et al.</i> (2020)
Haray (Cherry)	Estiércol animal	Ave y ovejas de 3 años de maduración	3,0	8,8	Usanmaz y Atti (2020)
Yeniçeri İnci y Pekbal (Cherry)	Compost y estiércol	Vegetales y hojas, estiércol de vaca	4,0	1,8	Irfanulden <i>et al.</i> (2020)
N/I	Compost y estiércol	Estiércol de bovinos, ovinos y avícola. Compost de residuos domésticos	20	16	Ghorbani <i>et al.</i> (2008)
Cerasiforme (Cherry)	Compost y orujo	Estiércol animal, residuos vegetales y orujo de uva	---	38	Este estudio

¹ N/I: No informado

Se han observado diversos efectos de las enmiendas orgánicas en el suelo, los cuales están ligados al origen de la materia prima, métodos de producción, nivel de maduración y/o estabilización, tipo de enmienda, entre otros (Steward, 2020). No obstante, la mayoría de los estudios demuestran una mejora paulatina en la fertilidad y propiedades físicas del suelo posterior a la adición de enmiendas.

Al evaluar las propiedades físicas se evidencia la formación de espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico adicionado, lo que provoca una mayor

macroporosidad conllevando a una disminución de la Da y en consecuencia una reducción en la resistencia mecánica al crecimiento de las raíces en el suelo. Además, en general se observa una mayor formación y estabilidad de los agregados, lo cual favorece el movimiento de agua y aire, mejorando el intercambio gaseoso (Muñoz, 2013), que en consecuencia, aumenta la capacidad de retención de agua y porosidad del suelo (Ovalle, 2020).

Investigaciones recientes en experimentos de al menos 20 años de duración, dan cuenta que el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) puede aumentar con aplicaciones de enmiendas orgánicas estabilizadas, mejorando el secuestro de C en suelos (Wang *et al.*, 2019). En cuanto a los parámetros de fertilidad del suelo, Feng *et al.* (2020) observaron en un periodo de 2 años, un aumento ligeramente significativo del N_{total} , niveles de K, P y el contenido de MOS con aplicación de un fertilizante bio-orgánico (Cuadro 7). Además, mencionan que los organismos presentes en la enmienda pudieron aumentar la solubilidad de los nutrientes del suelo. Otros estudios sostienen que la adición de compost evita la lixiviación de nutrientes debido a dos factores principales, uno de ellos es que los nutrientes presentes se adhieren a la MO inmersa en la enmienda, liberándose lentamente por la descomposición de esta, pudiendo ser captados de forma más eficiente por parte de las plantas. Otro factor estaría dado en el aumento de la retención de agua que permitiría que los nutrientes solubles no se pierdan por lixiviación (De Corato, 2020; Ovalle, 2020).

Dentro de las propiedades biológicas se muestra un incremento en la actividad microbiana y diversidad de microorganismos benéficos para las plantas. Steward *et al.* (2020) mencionan que las enmiendas de compost, pese a no evidenciar un aumento en el número de microorganismos en la rizosfera, existe una alteración en la composición de las especies presentes, aumentando la incidencia de bacterias promotoras de crecimiento de las plantas en conjunto con antagonistas de algunos patógenos, pudiendo suprimir posibles enfermedades y/o plagas en los cultivos; como también desarrollando de forma más eficientes los procesos de ciclaje de nutrientes, mineralización y estabilización de la MOS (Feng *et al.*, 2020).

Los factores físicos, químicos y biológicos anteriormente mencionados, ayudan a la restauración paulatina de la fertilidad del suelo. Al evaluar los parámetros de crecimiento y desarrollo de plantas de tomate, se ha obtenido mayor desarrollo de raíces en estudios basados con fertilizantes bio-orgánicos (Feng *et al.*, 2020). En un estudio realizado por Shah *et al.* (2020), incorporaron compost de origen animal, siendo uno de los parámetros medidos la altura de planta en tomate. Esta variable no tuvo un efecto significativo en el primer tercio de establecimiento del cultivo, sin embargo, posterior a los 30 días desde trasplante existió una diferencia en el aumento de la altura en comparación con el resto de los tratamientos, además de obtener mayor número y peso de frutos por planta, lo que conllevó a un mayor rendimiento en comparación con el control sin aplicación de enmiendas. Asimismo, Feng *et al.* (2020) obtuvieron resultados similares para todos los parámetros mencionados anteriormente en plantas tratadas con fertilizante bio-orgánico comparadas con plantas sin tratamiento. Por el contrario, en un estudio que incorporó estiércol fresco y compost de uva, no presentó efectos significativos en el rendimiento de tomate tipo Cherry, como tampoco en altura, peso de frutos y número de frutos por planta (Usanmaz y Atti, 2020).

Aunque en este estudio no fue posible medir las propiedades del suelo al final del ensayo, los resultados obtenidos en el rendimiento de tomate sugieren que, al igual que en los estudios mencionados en esta sección, las enmiendas orgánicas pudieron aumentar los niveles de MOS. Este aumento de MOS, como lo menciona la literatura mejora la fertilidad del suelo, aumenta la disponibilidad de agua y reduce la resistencia mecánica al desarrollo radical, lo que genera en consecuencia una mayor disponibilidad de agua y nutrientes. Lo anterior habría permitido en este estudio igualar los rendimientos de tomates obtenidos con la aplicación de fertilizantes químicos.

CONCLUSIONES

La caracterización química de las enmiendas orgánicas evidenció que en general presentaron un pH adecuado, niveles altos de MO y disponibilidad alta de P y K. Sin embargo, los compost de origen animal y vegetal presentaron niveles altos de sales. Respecto a la relación C/N solo el tratamiento de compost vegetal presentó un valor < 15 , que podría favorecer la mineralización de N en el suelo y una disponibilidad de N mayor para ser absorbido por el cultivo de tomate desde sus etapas iniciales.

Aunque no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de tomate Cherry, se demostró que la aplicación de enmiendas orgánicas pudo igualar el rendimiento generado con la aplicación de fertilizantes químicos.

La aplicación de compost de origen vegetal generó un efecto significativo en el crecimiento del eje central de las plantas evaluadas respecto al resto de los tratamientos. No obstante, a los 60 días desde el trasplante no se observaron diferencias significativas en la altura, lo que se asocia a un mayor gasto energético en la producción de frutos dado que fue el tratamiento con mayor producción. Sin embargo, respecto a la masa de los frutos se observó que el compost de origen vegetal podría haber promovido una mayor concentración de fotoasimilados en los frutos, alcanzando una mayor masa respecto a los demás tratamientos.

La literatura revisada en su mayoría reporta que hay un efecto positivo de la aplicación de enmiendas orgánicas al aumentar los niveles de MOS, lo que mejora la fertilidad del suelo, aumenta la disponibilidad de agua y reduce la resistencia mecánica al desarrollo radical, generando en consecuencia una mayor disponibilidad de agua y nutrientes que permiten incrementar el rendimiento de tomate.

BIBLIOGRAFÍA

Abril, A.; Noe, L. y Filippini, M. 2014. Manejo de enmiendas para restaurar la materia orgánica del suelo en oasis de regadío de Mendoza, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 40(1): 83-91.

Agegnehu, G.; Srivastava, A. and Bird, M. 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology* 119: 156-170.

Albuquerque, J.; De la Fuente, C.; Campoy, M.; Carrasco, L.; Nájera, I.; Baixauli, C.; Caravaca, F.; Roldán, A.; Cegarra, J. and Bernal, M. 2012. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European journal of agronomy* 43: 119-128

Allende, M. 2017. Importancia y consideraciones del cultivo del tomate (cap. 1, pp. 11-18). En: Torres, A. (Ed.). Manual de cultivo de tomate al aire libre. Santiago, Chile: INIA, 94p. (Boletín INIA N°11)

Aylaj, M.; Lhadi, E. and Adani, F. 2018. Municipal waste and poultry manure compost affect biomass production, nitrate reductase activity and heavy metals in tomato plants. *Compost Science & Utilization* 27 (1): 1-13.

Brandán, E.; Ploper, J. y Divizia de Ricci, M. 1998. Hacia el 2000. El cultivo de mini tomates tipo cereza (Cherry), perita y otros. Ediciones del Rectorado. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. 85 p

Campos, J. y Salazar, F. 2016. Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. Boletín INIA N°325. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile. 56 p

Carmo, D.; Lima, L. and Silva, C. 2016. Soil fertility and electrical conductivity affected by organic waste rates and nutrient inputs. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 40: 1-17.

Carmona, E.; Moreno, M.; Avilés, M. & Ordovás J. 2012a. Composting of wine industry wastes and their use as a substrate for growing soilless ornamental plants. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10 (2): 482-491.

Carmona, E.; Moreno, M.; Avilés, M. & Ordovás J. 2012b. Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Scientia Horticulturae* 137: 69-74.

Carrasco, J.; Squella, F.; Riquelme, J.; Hirzel, J. y Uribe, H. 2012. Técnicas de conservación de suelos, agua, y vegetación. Serie Actas N° 48. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo, Chile. 210 p.

- Carvajal, J. y Mera, A. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia* 5(2): 77-96.
- Casanova, M.; Seguel, O.; Haberland, J.; Kremer, C. 2008. Propiedades físicas: Indicadores de calidad y salud de suelos. *Antumapu* 6(1-2): 32-34.
- Celestina, C.; Hunt, J.; Sale, P. and Franks, A. 2019. Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil & Tillage Research* (186): 135-145.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1982. Manual Hortalizas y Flores. Requerimientos: Clima y Suelo, Especies y sus Variedades. Región Metropolitana. (Publicación N°32). 65 p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Estudio Agrológico. Descripción de suelos materiales y símbolos: Región Metropolitana. (Publicación N°115). 132 p.
- De Corato, U. 2020. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of The Total Environment* 730: 139840.
- Ditzler, C.; Scheffe, K. and Monger, H. (eds.). 2017. Soil survey manual. USDA Handbook N°18. Government Printing Office, Washington, D.C. 355-398 p
- Escaff, M.; Gil, P.; Ferreyra, R.; Estay, P.; Bruna, A.; Maldonado, P. y Barrera, C. 2005. Cultivo del tomate bajo invernadero. (Bol. INIA N°128), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Cruz, Chile: INIA, 79 p
- Feng, X.; Xu, Y.; Liu, D.; Peng, L.; Dong, J.; Yao, S.; Feng, Y.; Feng, Z.; Li, F. and Hu, B. 2020. Effects of organic cultivation pattern on tomato production: Plant growth characteristics, quality, disease resistance, and soil physical and chemical properties. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 19(1): 71-84.
- González, M. 2012. Nuevas fichas hortícolas. 3° edición actualizada. (Bol. INIA N°246), Centro Regional de Investigación Quilmapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chillán, Chile: 58 p.
- Ghorbani, R.; Koocheki, A.; Jahan, M. and Asadi, G. A. 2008. Impact of organic amendments and compost extracts on tomato production and storability in agroecological systems. *Agronomy for sustainable development* 28(2): 307-311.

Hewidy, M.; Traversa, A.; Khender, M.; Cegli, F. and Coccozza, C. 2015. Short-term effects of different organic amendements on soil properties and organic broccoli growth and yield. *Compost Science & Compost* (23): 207- 215.

Irfanulden, R.; Gülşen, O. and Güneş, A. 2020. Effects of different organic fertilizer on some bioactive compounds and yield of Cherry Tomato cultivars. *Gesunde Pflanze* 72(2)

Jindo, K.; Chocano, C.; Melgares de Aguilar, J.; González, D.; Hernández, T. y García, C. 2015. Efecto de la aplicación de compost en las fracciones de carbono y humificación del suelo en una finca ecológica frutícola. (1-6). En: V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA. La Plata, Argentina. 7 al 9 de octubre de 2015, La Plata, Argentina.

Julca, A.; Meneses, L.; Blas, R. & Bello, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia* 24(1): 49-61.

Moccia, S.; Oberti, A. y Pujol, S. 1999. Tomate "Cherry" Análisis de parámetros fisiológicos y productivos. *Investigación agrícola (Chile)* 9 (1-2): 1-7.

Molina, J.; Bárcenas, M.; Castillo, X.; Escobar, J.; Naruo, K. y Tajiri, T. 2016. Manual de abonos. Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinaria, Universidad Autónoma de Nicaragua. León, Nicaragua.

Monardes, H. 2009. Características botánicas. Requerimientos de clima y suelo. En: Escalona, V.; Alvarado, P.; Monardes, H.; Urbina, C. y Martin, A. Manual del cultivo de tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill.) Nodo Hortícola VI Región. Innova Chile Corfo, Universidad de Chile

Monsalve, O.; Gutiérrez, J. y Cardona, W. 2017. Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo: Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11(1): 200-209.

Montaño, J. y Forero, F. 2013. Efecto de subproductos orgánicos del proceso panelero sobre propiedades físicas de un suelo sulfatado ácido. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 14(2): 207-214.

Moreno, J. y Moral, R. (Eds). 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

Muñoz, C. 2013. Evolución de las propiedades físicas de tres suelos contrastantes acondicionados con enmiendas orgánicas. 88 p. Tesis Ing. Agrónoma y Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Ovalle, C. (Ed.) 2020. Una Nama Agrícola para Chile mediante el secuestro de carbono orgánico en el suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Región de Valparaíso, Chile: Centro Regional de Investigación La Cruz. 94 p. (Serie Actas INIA N° 59).

- Ozores, M.; Stansly, P. and Obreza, T. 2005. Heavy metal accumulation in a sandy soil and in pepper fruit following long-term application of organic amendments. *Compost Science & Utilization* 13(1): 60-64.
- Paradelo, R.; Moldes, A.; González, D. y Barral, M. 2009. Evaluación de compost y vermicompost de orujo agotado de uva como componentes de sustratos. *Actas de Horticultura* N° 54: 675- 680.
- Renuka, D.; Sadashiva, A.; Kavita, B.; Vijendrakumar, R. and Hanumanthiah M. 2014. Evaluation of cherry tomato lines (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) for growth, yield and quality traits. *Plant archives* 14(1): 151-154.
- Román, P.; Martínez, M. y Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago, Chile. 108p.
- Rossi, M. 2017. Efecto de la rotación maíz-cultivos cubierta y de la fertilización nitrogenada, en la lixiviación de carbono orgánico y nitrógeno disueltos. 63 p. Tesis Ing. Agrónomo y Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora, M. 2005. Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N° 30, Santiago, Chile. 142 p.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R.; Mora, M.; Flores, H. y Neaman, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N°34, Santiago de Chile. 164p.
- Sandoval, M.; Dörner, J.; Seguel, O.; Cuevas, J. y Rivera, D. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Chillán. Chile. Número 5, 80p
- Santibañez, F.; Santibañez P.; Caroca C. y González P. 2017. Atlas Agroclimático de Chile: Estado actual y tendencias del clima. Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule. Universidad de Chile. Santiago, La Pintana, Chile.
- Sierra, C. 2013. Fertilización y Manejo del Suelo en Hortalizas: Alcachofa, Apio, Lechuga, Pepino Dulce, Pimiento, Zanahoria y Tomate. Boletín INIA N°271. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. 112 p.
- Shah, R.; Abid, M. and Qayyum, M. 2020. Effects of composted and vermicomposted sugarcane industry wastes and farm manure on tomato quality and yield. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology* 39(2): 380-389.

Steward, S. 2020. Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1-Compost Based amendments. *Scientia Horticulture* (266): 1-21.

Tjalling, H. 2006. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad: Tomate. Soquimich

Usanmaz, S. and Atti, M. 2020. Animal manures and some chemicals as soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato. *Pakistan journal of botany* 52(4): 1289-1298.

Wang, H.; Xu, J.; Liu, X.; Zhang, D.; Li, L.; Li, W. and Sheng, L. 2019. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from china. *Soil and tillage research* 195: 104382.

ANEXO

Anexo 1. Descripción morfológica del suelo del estudio

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A_p	0-37	Pardo oscuro (10 YR 3/3); franco arcillo limosa; muy plástico; muy adhesivo; bloques subangulares medios y gruesos moderados; poros finos y medios abundantes; raíces finas y medias comunes; gravas angulares y redondeadas escasas (<5%); fuerte reacción al HCl; límite lineal abrupto.
C	37-55	Variegado; arenosa; no plástico; no adhesivo; bloques subangulares medios y finos débiles; poros muy finos abundantes; raíces finas y medias escasas; reacción moderada al HCl; límite lineal abrupto.
2C	55-65+	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4); arcillo limosa; muy plástico; muy adhesivo; maciza; poros muy finos abundantes; raíces medias y finas comunes; fuerte reacción al HCl.

Fuente: Rossi, 2017.

APENDICE I

1) Disposición espacial de bloques



2) Unidades experimentales

