

Efecto de dosis crecientes de compost sobre el contenido de clorofila y crecimiento de ramas en *Myrteola nummularia* (Poir.)

Effect of increasing doses of compost on chlorophyll content and branch growth in *Myrteola nummularia* (Poir.)

Andrés Pinto-Poblete^{1,2}, Gianfranco Schio¹, Matías Betancur^{1,3}, Sergio Moraga-Bustos^{1,4}, Fernando Pinto-Morales^{1,5}, Yessica Rivas^{1,6}, José Leyton^{1,7}

- 1 Universidad Adventista de Chile (UnACh), Chillán, Ñuble, Chile.
2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-9621>
3 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0762-7175>
4 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7491-6141>
5 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6999-2077>
6 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-9775>
7 ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8978-4706>



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Julio-Diciembre 2025
Año IX, Número 28
pp. 13-23

DOI: <https://doi.org/10.5377/agrociencia.v9i28.21788>

Correspondencia:
amatiasbentancur@unach.cl

Presentado:
23 de julio de 2025

Revisado:
5 de agosto de 2025

Aceptado:
7 de agosto de 2025

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

RESUMEN

Myrteola nummularia (Poir.), conocida tradicionalmente como Myrteola, es una especie nativa de Chile reconocida por sus bayas con un alto contenido de polifenoles y propiedades antioxidantes. La fertilización orgánica en especies nativas cultivadas promueve el crecimiento y desarrollo fisiológico de la planta. Sin embargo, hay escaso conocimiento sobre el efecto de la fertilización orgánica en el desarrollo fisiológico y crecimiento de *M. nummularia*. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro dosis de compost (0, 5, 10 y 15 t ha⁻¹) en parámetros fisiológicos, crecimiento y pigmentos de plantas jóvenes de Myrteola. Para ello, se estableció un huerto de Myrteola en 2022 en la Región de Ñuble, zona centro-sur de Chile. Se midieron parámetros fisiológicos, tales como: el máximo rendimiento cuántico del fotosistema II y conductancia estomática, parámetros de crecimiento como: la altura de la planta y de las ramas, e índices foliares como el contenido de clorofila, antocianinas y flavonoides. Los resultados indicaron que las plantas respondieron a la fertilización orgánica mejorando los parámetros fisiológicos, de crecimiento e índices foliares. La dosis más alta de compost (15 t ha⁻¹), mejoró significativamente el contenido de clorofila (66%) y el largo de las ramas (32%) en comparación con el control, probablemente debido a un aumento en la disponibilidad de N y a un pH más ácido. Por lo tanto, la fertilización orgánica con dosis altas de compost (15 t ha⁻¹) mejoró el crecimiento de Myrteola, favoreciendo un mayor verdor y largo de ramas. Esto podría potenciar la producción futura de frutos, convirtiéndose en una alternativa productiva viable.

ABSTRACT

Myrteola nummularia (Poir.), traditionally known as Myrteola, is a native Chilean species recognized for its berries with a high polyphenol content and antioxidant properties. Organic fertilization in cultivated native species promotes plant growth and physiological development. However, there is limited knowledge about the effect of organic fertilization on the physiological development and growth of *M. nummularia*. The objective of this study was to evaluate the effect of four compost doses (0, 5, 10, and 15 t ha⁻¹) on physiological parameters, growth, and pigments in young Myrteola plants. For this purpose, a Myrteola orchard was established in 2022 in the Ñuble Region, central-southern Chile. Physiological parameters such as the maximum quantum yield of photosystem II and stomatal conductance were measured, along with growth parameters such as plant and branch height, and leaf indices including chlorophyll, anthocyanin, and flavonoid content. The results indicated that plants responded to organic fertilization by improving physiological, growth, and leaf index parameters. The highest compost dose (15 t ha⁻¹) significantly increased chlorophyll content (66%) and branch length (32%) compared to the control, probably due to increased nitrogen availability and a more acidic pH. Therefore, organic fertilization with high compost doses (15 t ha⁻¹) enhanced Myrteola growth, promoting greater greenness and longer branches. This could improve future fruit production, making it a viable productive alternative.

Keywords: Native, organic, physiology, anthocyanin.

Palabras claves: Nativa, orgánico, fisiología, antocianina.



INTRODUCCIÓN

Chile presenta una alta diversidad de especies nativas y endémicas con aplicaciones en las industrias alimentaria y farmacéutica. Los usos más destacados de especies nativas chilenas incluyen, alimentación, ornamentación, producción de edulcorantes, propiedades medicinales, tintes, fuentes de fibra, así como en la fabricación de insecticidas y fungicidas, entre otros. Algunas especies nativas chilenas reconocidas por las características nutracéuticas de sus bayas son *Ugni molinae* (Turcz) (murtilla), *Fragaria chiloensis* (L.) (frutilla chilena), *Aristotelia chilensis* (Stuntz) (maqui), *Berberis microphylla* (Calafate) y *Myrtleola nummularia* (Poir.) (Schreckinger et al., 2010; Rodríguez et al., 2018). Esta última, comúnmente llamada Myrtleola es un arbusto perenne y rastreiro de 10–30 cm de altura, con hojas pequeñas y coriáceas, y flores hermafroditas (Landrum, 1988), se distribuye desde la Región del Biobío hasta las regiones de Los Ríos, Magallanes e incluso las islas de Juan Fernández (Domínguez, 2012; Cordero et al., 2017), y tiene bayas con interés alimenticio debido a su alto contenido de polifenoles con propiedades antioxidantes y capacidad terapéutica (Flis et al., 2012; López, 2003). Las bayas nativas han generado oportunidades de desarrollo económico en regiones como la zona centro-sur de Chile, como ha sido el caso de maqui y calafate (Vogel et al., 2016; Romero-Román et al., 2021). No obstante, en especies nativas como Myrtleola existe una brecha del conocimiento sobre las condiciones específicas de sitio, fertilidad de suelo y climas, que mejoren el desarrollo vegetativo de la planta. Entender las condiciones de crecimiento y pigmentación de plantas nativas en etapas tempranas del establecimiento es importante porque sustenta la futura producción de fruta (Shah et al., 2022).

La domesticación de especies nativas incluye someter plantas a manejos agronómicos convencionales de agricultura como, la fertilización, el riego, el control de malezas, entre otros. La fertilización, orgánica o inorgánica, es uno de los principales manejos agronómicos para la domesticación de especies nativas, ya que suplementa los requerimientos nutricionales necesarios para el desarrollo vegetativo y reproductivo en general. La fertilización orgánica es preferida sobre la inorgánica en términos de mejoras en las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo, y genera menos contaminación ambiental (Sahu et al., 2024; Kumar et al., 2023; Vargas-Pineda, 2019; Bolan, 2012). Una fertilización orgánica adecuada, debe ajustarse a cada cultivo, promoviendo el desarrollo fisiológico a través de parámetros como: la conductancia estomática y la máxima eficiencia del fotosistema II (Salisbury y Ross, 2000). Asimismo, la fertilización debe conducir a mejorar el desarrollo vegetativo y pigmentación de las plantas jóvenes para mantener una alta productividad de frutas en su etapa adulta (Tarantino et al., 2023). Se ha demostrado en huertos jóvenes de la especie nativa *Berberis microphylla*, que la fertilización orgánica con compost en dosis superior a 5 t ha⁻¹ aumentó el crecimiento y verdor de la planta (42% índice de área foliar y 68% clorofila, respectivamente) en comparación con plantas sin fertilización (Betancur et al., 2024; Pinto-Morales et al., 2022). Sin embargo, en Myrtleola los estudios se han enfocado en la caracterización de la planta, siendo escasamente evaluada su respuesta a la fertilización y siendo desconocida la implementación de huertos.

La fertilización orgánica con compost aporta materia orgánica estabilizada, generando acumulación de carbono en el suelo y una entrega de forma controlada de nutrientes como el nitrógeno (N) que cumplen funciones

vitales en la planta (Oviedo, 2017). No obstante, un incremento en el desarrollo fisiológico y crecimiento vegetativo de la planta también conduce a reducción de otros parámetros como los pigmentos foliares antioxidantes, entre ellos las antocianinas y flavonoides (Zhu et al., 2007). El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de diferentes dosis de compost (0, 5, 10 y 15 t ha⁻¹) en el desarrollo fisiológico, el crecimiento vegetativo y los pigmentos foliares en un huerto de Myrtleola de la zona centro-sur de Chile. Se plantea la siguiente hipótesis: las plantas de Myrtleola sometidas a dosis altas de compost (10 y 15 t ha⁻¹) tendrán mayores índices fisiológicos, de crecimiento y pigmentos fotosintéticos (clorofillas), pero menor índice de pigmentos antioxidantes antocianinas que plantas sin compost o que dosis más bajas (5 t ha⁻¹) (Betancur et al., 2024). Este estudio permitirá comprender las dosis correctas de compost para aumentar el desarrollo vegetativo y fisiológico de la planta joven de Myrtleola para mayores producciones futuras de frutos, generando una nueva alternativa frutícola en la zona centro-sur de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y condiciones ambientales

La investigación se llevó a cabo en la estación experimental de la Universidad Adventista de Chile, Chillán, región de Ñuble (Chile). El área de estudio está geográficamente posicionada a una latitud de 36°38' 6.42"S y una longitud 71°59' 59.39"O, a una altitud de 190 metros sobre el nivel del mar. El suelo del estudio se caracterizaba como *Typic melanoxerand* de origen volcánico (Stolpe, 2006). El clima exhibe características mediterráneas templadas identificado por la clasificación Csb2 en la escala climática (Rodríguez, 1972). En cuanto a la precipitación, el promedio acumulado anual en la zona durante los últimos 10 años fue de 840 mm (Agrometeorología, 2023).

Establecimiento del huerto experimental

El huerto experimental de *M. nummularia* se estableció en octubre de 2022 utilizando plantas de un año de edad provenientes del vivero "La Huella", ubicado en la ciudad de Valdivia, región de Los Ríos, Chile. Estas plantas se trasplantaron en camellones de 40 centímetros de altura, con una separación de 0.70 m sobre hilera y 1.0 m entre hileras. Previo al transplante, se llevó a cabo un análisis químico del suelo y del compost utilizado (Tabla 1), en el laboratorio de suelos de la Universidad de Concepción. Para determinar el contenido de materia orgánica, se empleó el método propuesto por Walkley y Black (1934) basado en la oxidación húmeda de muestras de suelo utilizando dicromato de potasio en un entorno ácido. Respecto a la disponibilidad de N, P y K, se utilizó el método descrito por Rathje (1959) y Watanabe y Olsen (1965). El pH del suelo se cuantificó en una relación de agua 1:5 (peso/volumen). Con base en este análisis, se llevó a cabo una fertilización inicial en el hoyo de plantación, consistente en 130 g de urea (45% de N), 180 g de superfosfato triple (46% de P2O5) y 150 g de sulfato de potasio (50% de K2O) (Hirzel, 2014). La cantidad real de riego diario se calculó mensualmente mediante el método de Penman-Monteith, siguiendo el enfoque propuesto por Betancur et al. (2022), con datos obtenidos de la estación agroclimática INIA Santa Rosa, ubicada a 28 km del sitio de estudio. El riego se aplicó utilizando una línea de riego con goteros de presión compensada (UniRam, Netafim, Hatzerim, Israel) separados a 30 cm y con un caudal de 4,0 L h⁻¹.

Tabla 1

Análisis químico del suelo del área de estudio (Media ± E.E) y del compost utilizado

Parámetro	Valor (Suelo)	Parámetro	Valor (Compost)
Nitrógeno disponible (mg/kg)	32,53 ± 1,87	Nitrógeno disponible (mg/kg)	948,7
Fósforo Olsen (mg/kg)	6,63 ± 0,40	Conductividad eléctrica (dS/m)	2,5
Potasio disponible (mg/kg)	156,07 ± 5,13	Carbono orgánico (%)	14,7
Materia orgánica (%)	11,38 ± 0,15	Materia orgánica (%)	26,4
pH	6,12 ± 0,03	pH	7,42

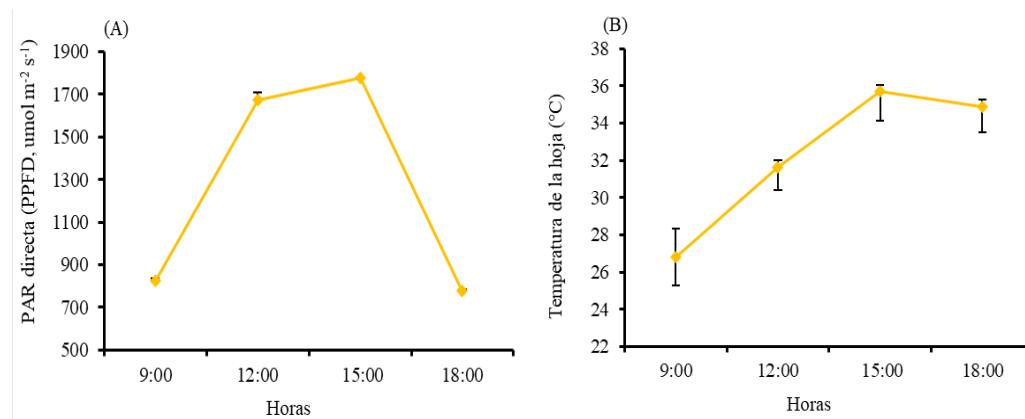
Nota. Las muestras se obtuvieron a una profundidad entre 0 y 30 cm al inicio del ensayo, en agosto 2022

Además, se llevó a cabo un control periódico de malezas de forma manual. Tras estas prácticas, se implementó un sistema de riego mediante mangueras de goteo, manteniendo un suministro constante en los distintos tratamientos, conforme a lo indicado por Romero et al. (2010), en relación con la evapotranspiración potencial diaria del cultivo (ET₀). Cada camellón se cubrió con geotextil a modo de *mulch*, lo que favoreció el control a mediano y largo plazo de las malezas, así como el mantenimiento de la temperatura y humedad en el suelo. En diciembre de 2022 se eliminaron estructuras reproductivas de la planta como brotes florales, así como flores en desarrollo, con el objetivo de priorizar el crecimiento vegetativo (Amuti, 1983).

Para caracterizar las condiciones ambientales en el huerto experimental de Myrtleola, en diciembre de 2022 se evaluó la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la temperatura de las hojas en distintos horarios del día (ver Figura 1). Las mediciones de PAR directa (PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) se llevaron a cabo utilizando un ceptómetro AccuPAR LP-80 (Meter Group, Estados Unidos) en un día completamente soleado, mostrando un aumento gradual desde las 09:00 h ($824 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) hasta alcanzar un máximo a las 12:00 y 15:00 h (1.671 y $1.777 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente), seguido de una disminución a $778 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a las 18:00 horas. La temperatura foliar, medida con un porómetro modelo SC-1 (Decagon Devices INC., Washington, USA), presentó un incremento desde 24°C a las 09:00 h hasta un máximo de 36°C a las 15:00 h, disminuyendo posteriormente a 32°C a las 18:00 h. Estas mediciones se realizaron en hojas sanas, verdes y completamente expuestas a la luz solar, seleccionadas de ramas nuevas.

Figura 1

Cuantificación PAR directa y temperatura de la hoja



Nota. A) Cuantificación PAR directa (PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), en huerto de *Myrtleola nummularia* (Poir.) en distintos horarios del día y en una fecha determinada. B) Temperatura ($^\circ\text{C}$) en hojas de *Myrtleola nummularia* (Poir.) en distintos horarios del día.

fotosistema II (Fv/Fm) utilizando la relación propuesta por Kooten y Jan (1990) y por Maxwell y Johnson (2000): $Fv/Fm = (Fm-F0)/Fm$. Se cuantificó el grado de fotoinhibición mediante la relación Fv/Fm en diferentes momentos del día. Además, se midió el rendimiento cuántico fotoquímico del fotosistema II (FII) y la velocidad de transporte de electrones (ETR) en hojas adaptadas a la luz, utilizando la misma frecuencia y dispositivo (Maxwell y Johnson, 2000).

Para evaluar la conductancia estomática (Gs , mmol m⁻²s⁻¹), se empleó un porómetro modelo SC-1 (Decagon Devices INC., Washington, USA). Se realizaron mediciones en hojas completamente expuestas a la luz solar, sanas, verdes y de ramas nuevas, en los mismos horarios utilizados para la cuantificación de Fv/Fm (Retamal-Salgado et al., 2017; Pinto-Poblete et al., 2022).

El contenido de clorofila en las hojas se determinó mediante unidades de SPAD, utilizando el equipo Minolta SPAD-502DL Plus (Konica minolta, INC, Osaka, Japón), el mismo día y en los mismos horarios que se llevaron a cabo las mediciones de fluorescencia y conductancia estomática. Este equipo mide cuantitativamente la intensidad del verde en la hoja (650 a 940 nm), evaluando ocho repeticiones por cada tratamiento establecido a las 9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas.

El contenido de flavonoides y antocianinas en las hojas del Myrteola se evaluó utilizando un equipo portátil de múltiples pigmentos, modelo MPM-100 (Opti-Sciences, Hudson, NH, USA), durante los mismos intervalos horarios establecidos para las mediciones anteriores. Se empleó una relación de fluorescencia en longitudes de onda específicas: F660 nm/F325 nm para los flavonoides y F660 nm/F525 nm para las antocianinas.

La temperatura de las hojas (°C) se midió simultáneamente con la conductancia estomática utilizando el porómetro modelo SC-1 (Decagon Devices INC., Washington, USA).

Para la medición de la altura de las plantas y la longitud de las ramas se utilizó una cinta métrica y un pie de rey (Pie de rey E5001002, Veto, Chile). La altura de la planta se midió desde la base de la planta, a ras del suelo, hasta la rama más larga, mientras que la longitud de las ramas se midió desde el tallo principal hacia el extremo más alejado de la rama.

Análisis estadístico

Los datos recopilados para cada variable se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Previo a este análisis, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas. La comparación de medias se llevó a cabo mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un nivel de significancia de 0.05. Estos análisis se realizaron utilizando el programa InfoStat 2015 (Infostat, Córdoba, Argentina, 2015). Además, se efectuó un análisis de componentes principales (PCA) empleando datos centralizados en la media, basados en los valores propios para evaluar la correlación y discriminación entre las variables del suelo y las variables de las plantas. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software R 4.2.2 (Kahle y Wickham, 2013) con los paquetes FactoMineR y ggplot2.

En las figuras y tablas, Diferentes letras indican diferencias significativas según la prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$). 0 = Tratamiento control (sin aplicación de compost); 5 = tratamiento de 5 t ha⁻¹; 10 = tratamiento de

10 t ha⁻¹; 15 = Tratamiento 15 t ha⁻¹. Todas las muestras se obtuvieron al final del estudio en abril de 2023 a una profundidad de entre 0 y 30 cm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros químicos del suelo

La aplicación de diferentes dosis de compost influyó significativamente en algunos parámetros químicos del suelo (ver Tabla 2). El nitrógeno disponible (N) mostró un incremento significativo con la aplicación de 10 y 15 t ha⁻¹, en comparación con las dosis de 0 y 5 t ha⁻¹, que no difirieron entre sí. No se observaron diferencias significativas en el fósforo disponible (P), cuyos valores oscilaron entre 6,6 y 9,3 mg/kg entre tratamientos ($p = 0,5738$). En cuanto al potasio disponible (K), el tratamiento con 10 t ha⁻¹ presentó un valor significativamente superior al de 5 t ha⁻¹, con un incremento del 148,2 %, sin diferencias significativas respecto a los tratamientos con 0 y 15 t ha⁻¹. La materia orgánica (MO) no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,4306$), con valores que fluctuaron entre 11,3 % y 12,1 %. En relación con el pH, se observaron valores más ácidos a medida que aumentó la dosis de compost, destacándose una disminución significativa en el tratamiento con 15 t ha⁻¹ (5,6), lo que representa una reducción del 8,2 % respecto al control ($p = 0,0054$).

En el suelo, la incorporación de compost produjo aumentos significativos en la fertilidad de macronutrientes como el N (83%), y también produjo una disminución del pH del suelo (8,2%), especialmente con la dosis más alta (15 t ha⁻¹). Este comportamiento esperado es consistente con investigaciones previas que han demostrado que el uso de fertilizantes orgánicos en dosis elevadas puede acidificar el suelo por liberación de ácidos orgánicos y enriquecerlo con nutrientes esenciales debido a la mineralización de la MO proveniente de guano de aves y otros componentes orgánicos de alta calidad (Liu et al., 2024). Sin embargo, otros parámetros químicos del suelo, como el P y la MO, no mostraron cambios significativos en respuesta a las dosis de compost aplicadas. Esta falta de variación puede atribuirse a las características fisicoquímicas de los andisoles (como elde nuestro estudio), incluidos su alto contenido de MO, capacidad de fijación de P y capacidad tampón, que limitan las alteraciones químicas en períodos de tiempo relativamente cortos (4 meses en nuestro estudio) (İşik et al., 2023). En contraste, estudios realizados en períodos más prolongados de aplicaciones de compost (≥ 24 meses) han demostrado que la descomposición de la MO mediada por la actividad microbiana, pueden liberar cantidades significativas de P disponible, mejorando gradualmente los niveles de fertilidad del suelo (Velásquez et al., 2016, Mehdaoui et al., 2024).

Parámetros fisiológicos y pigmentos foliares

El rendimiento cuántico máximo del FII (ver Figura 2A) no mostró diferencias estadísticas significativas entre las distintas dosis de compost evaluadas. Los mayores valores se encontraron a las 09:00 h con un promedio de 0,76 Fv/Fm y disminuyó a través del día hasta un promedio de 0,55 Fv/Fm en la última hora de medición (18:00 h). En cuanto a la conductancia estomática (ver Figura 2B), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los horarios medidos. La tendencia fue a disminuir la conductancia estomática hacia la mitad del día hasta 57,8 mmol⁻² s⁻¹ a las 12:00 h y posteriormente aumentó hacia el final del día a 76,5 mmol⁻² s⁻¹ a las 18:00 h.

Tabla 2

Análisis químico del suelo al finalizar el estudio.

Variable	0	5 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	15 t ha ⁻¹	Valor p Anova
Nitrógeno disponible (mg/kg)	32,5 ± 1,9 a	32,3 ± 2,0 a	177,0 ± 37,2 b	189,6 ± 74,4 b	0,0396
Fósforo Olsen (mg/kg)	6,6 ± 0,4 a	9,3 ± 0,7 a	7,6 ± 1,0 a	8,8 ± 1,2 a	0,5738
Potasio disponible (mg/kg)	156,0 ± 5,1 a	141,1 ± 8,8 a	350,1 ± 68,5 b	190,3 ± 34,7 ab	0,0153
Materia orgánica (%)	11,3 ± 0,2 a	11,6 ± 0,1 a	12,1 ± 0,3 a	12,03 ± 0,2 a	0,4306
pH	6,1 ± 0,03 bc	6,1 ± 0,05 c	5,8 ± 0,06 ab	5,6 ± 0,05 a	0,0054

Nota. Los resultados indican que las dosis más altas influyen positivamente en la disponibilidad de nitrógeno y potasio, aunque tienden a acidificar el suelo

En general, los parámetros fisiológicos como la conductancia estomática, el rendimiento cuántico del FII no mostraron diferencias significativas frente a las distintas dosis de compost. Esto sugiere que, aunque la fertilización orgánica incrementa la disponibilidad de nutrientes, la falta de variaciones significativas en estos parámetros indica que la asimilación nutricional está regulada por otros factores, como la estabilidad edafoclimática, la genética de la especie y su interacción con la microfauna del suelo (Farzadfar et al., 2021).

Myrtleola nummularia es una especie silvestre del sur de Chile adaptada a condiciones de menor radiación y evapotranspiración asociadas a un clima más frío y húmedo (Landrum, 1988). Al trasladarla a Ñuble, y dado que aún no es un cultivo domesticado, su capacidad para asimilar nutrientes probablemente se ve limitada por las diferencias ambientales y su respuesta adaptativa a otras prácticas agrícolas, independientemente de la dosis de fertilización orgánica empleada (Yue et al., 2023).

Lo anterior se respalda con observaciones en tomate (*Solanum lycopersicum*), donde la aplicación de fertilizantes orgánicos no mostró diferencias significativas en atributos morfológicos y calidad del fruto frente a fertilizantes inorgánicos. Esto destaca que la respuesta de los cultivos involucra múltiples factores más allá de la fuente de nutrientes utilizada (Rathod y Adhvaryu, 2023). De manera similar, en frutilla (*Fragaria × ananassa*), la fertilización orgánica mostró resultados comparables a la

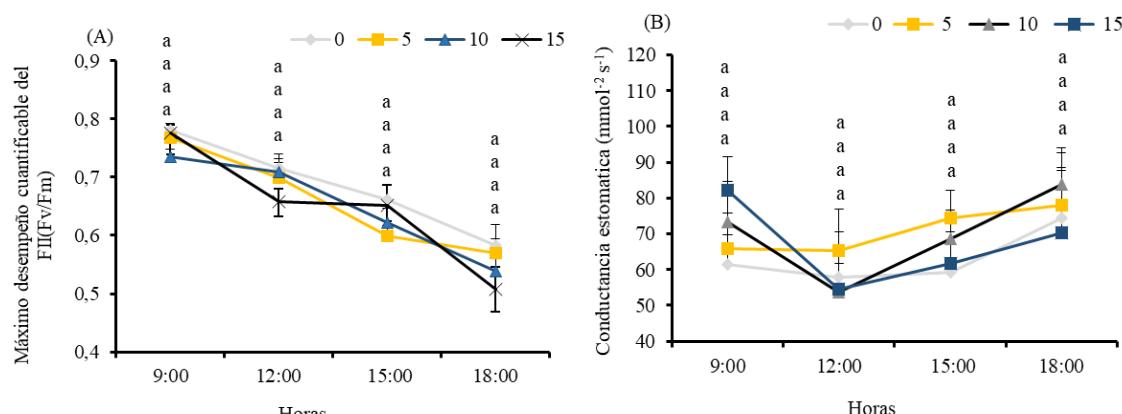
química en cuanto al contenido de clorofila, transpiración y conductancia estomática, lo que evidencia la influencia de factores genéticos y ambientales en la asimilación nutricional y la respuesta fisiológica (Hernández Valencia, 2022).

El contenido de clorofila (ver Figura 3A) fue significativamente mayor en el tratamiento de 15 t ha⁻¹ en un 66,2% respecto al tratamiento sin compost. Los tratamientos de 5 y 10 t ha⁻¹ no mostraron diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos. En relación con el contenido de antocianinas en las hojas (ver Figura 3B), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, con valores promedios de 0.47; 0.40; 0.49 y 0.49 para los tratamientos 0, 5, 10 y 15 t ha⁻¹, respectivamente. El contenido de flavonoides (Fig. 3C) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, encontrando valores de índice de flavonoídes entre 1.17 y 1.45.

En la planta, el contenido de clorofila, evaluado mediante el índice SPAD, evidenció un aumento significativo en respuesta a la dosis más alta de compost (15 t ha⁻¹), según lo mostrado en la Figura 3(A). Este incremento refleja una mayor capacidad fotosintética en las hojas de *Myrtleola nummularia* bajo este tratamiento, posicionándose como una estrategia eficiente para potenciar el desarrollo vegetativo de la planta (Aydi et al., 2023). En comparación con el tratamiento control (0 t ha⁻¹), el aumento en el índice de clorofila con 15 t ha⁻¹ destaca la importancia

Figura 2

Efecto de diferentes dosis de compost



Nota. Sobre (A) el rendimiento cuántico máximo del FII (Fv/Fm) y (B) la conductancia estomática (mmol m⁻²s⁻¹) para la hoja de *Myrtleola nummularia* (Poir.) de la temporada 2022-2023.

de una nutrición adecuada en las primeras etapas de establecimiento para esta especie, particularmente en suelos con características fértiles como los andisoles, donde la disponibilidad de nutrientes puede ser afectada significativamente por la adición de compost (Pinto-Morales et al., 2022). Respecto a lo anterior, la adición de compost en dosis de 15 t ha⁻¹ mejoró la disponibilidad de nitrógeno, un elemento clave para el desarrollo vegetativo y la clorofila de la planta (Youssef et al., 2023; Purnawanto y Ahadiyat, 2022). En términos químicos, el compost actúa como una fuente de materia orgánica que, al descomponerse, libera gradualmente nutrientes esenciales al suelo (Bolan et al., 2012). Por último, la comparación con investigaciones previas en cultivos similares, como *Berberis microphylla* y *Vaccinium corymbosum*, refuerza la hipótesis de que niveles óptimos de compost pueden ser específicos para cada especie y entorno (Pinto-Morales et al., 2022; Vail et al., 2020). En estas especies, se ha demostrado que las dosis más altas de compost favorecen la formación de estructuras fotosintéticamente activas, siempre que no se comprometan otros parámetros, como la salinidad del suelo o el pH (Matiz-Villamil et al., 2023).

La longitud de las ramas fue estadísticamente mayor en el tratamiento de 15 t ha⁻¹ con un valor promedio de 16,97 cm, respecto al control (0 t ha⁻¹) de 11,5 cm. Los demás tratamientos (5 y 10 t ha⁻¹) no presentaron diferencias significativas con los demás tratamientos.

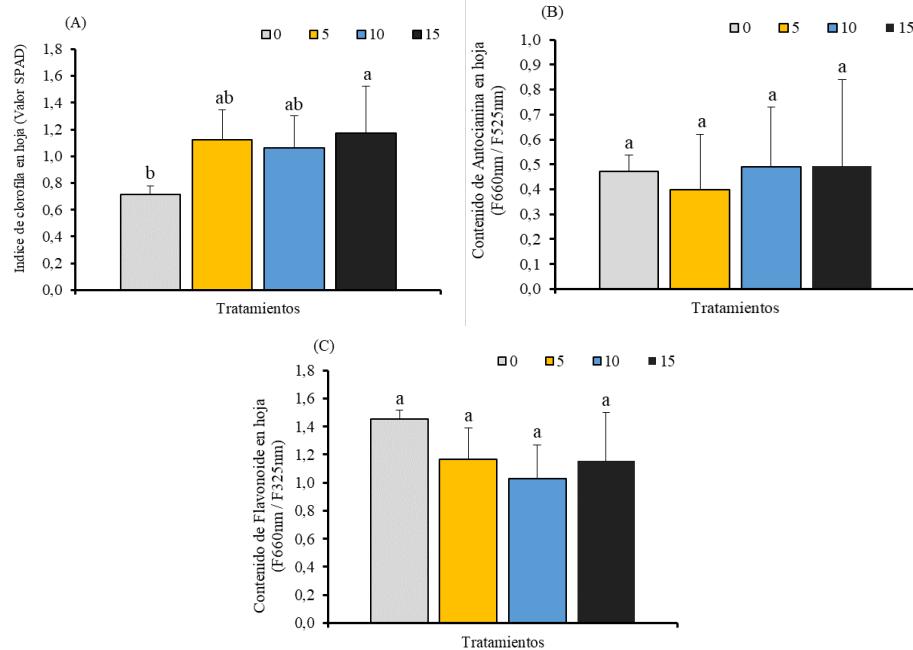
En términos de parámetros de crecimiento vegetativo, la altura de la planta no se vio favorecida por la dosis de compost en un periodo de cuatro meses de aplicación (ver Figura 4), contrario a lo encontrado en otros estudios donde se aplicó compost en períodos cortos (< 4 meses) sobre plantas de tomate y guisantes obteniendo mayor crecimiento al aplicar altas dosis compost (Raksun et al., 2021; Chaudhary et al., 2022). Esto sugiere que otros factores bióticos o abióticos podrían ser determinantes

para aumentar el crecimiento en altura de la planta, independiente de la fertilidad del suelo. Por ejemplo, se menciona que los factores genéticos son más determinantes en la altura de la planta que prácticas agronómicas como la fertilización, especialmente en etapas tempranas de desarrollo (Miao et al., 2024). No obstante, en nuestro estudio la mayor dosis de compost (15 ton ha⁻¹) favoreció significativamente el crecimiento de ramas laterales de *M. nummularia* respecto al control, consistente con los hallazgos anteriores en plantas de *Mentha piperita L.* (Abdou et al. 2014). En términos de calidad del suelo, en nuestro estudio, el compost en dosis de 15 ton ha⁻¹ mejoró el contenido de N disponible, nutriente móvil en la planta y determinante en el crecimiento vegetativo en ramas (Kovalchuk et al., 2018; Aly et al., 2015; Pande y Dimri, 2020). La mineralización de compuestos orgánicos en formas inorgánicas disponibles para las plantas, como el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) puede verse afectada por la presencia de complejos alofánicos y óxidos amorfos de hierro y aluminio de los suelos Andisol, estabilizando los nutrientes y reduciendo su lixiviación (Stolpe, 2006; Hirzel, 2014; Youssef et al., 2023). Además, es destacable que los fertilizantes orgánicos en altas cantidades pueden aumentar otras propiedades físico-químicas del suelo no evaluadas en nuestro estudio como, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la estructura del suelo, la densidad aparente y la estabilidad de agregados, promoviendo mayor absorción de nutrientes y agua por parte de las plantas para distribuir dichos nutrientes a las ramas (Silva et al. 2024), por lo que estos parámetros deberían ser evaluados en futuros estudios.

La matriz de correlación entre los parámetros químicos del suelo y los fisiológicas y morfológicas de la planta (ver Figura 5), mostraron interacciones negativas y positivas débiles. Por ejemplo, hubo una interacción negativa entre el P del suelo y fluorescencia de la clorofila (-0,64); K y altura de planta (-0,47); MO y antocianinas (-0,44); MO y flavonoides (-0,45), entre otras correlaciones menos significativas. Por

Figura 3

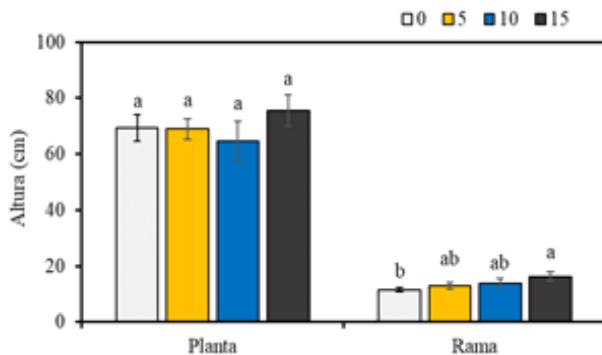
Efecto de diferentes dosis de compost



Nota. sobre (A) índice de clorofila, (B) contenido de antocianinas (F660 nm / F525 nm), (C) contenido de flavonoides (F660 nm / F325 nm) para la temporada 2022-2023

Figura 4

Efecto de diferentes dosis de compost durante el crecimiento de las plantas para altura de la planta y ramas en *Myrtleola nummularia* (Poir.) para la temporada 2022-2023.



Nota. El tratamiento no influyó en la altura total de las plantas, pero favoreció el crecimiento de las ramas en comparación con el control sin aplicación. Interacción suelo-planta

otro lado, hubo correlaciones positivas entre el N y el índice de clorofila SPAD (0,49); pH y el índice de clorofila SPAD, entre otras correlaciones menos significativas. En complemento a la matriz de correlación, la red de interacciones entre las variables del suelo y *Myrtleola nummularia* (ver Figura 6) resalta que la materia orgánica (MO) se posiciona como un nodo central con múltiples correlaciones fuertes, tanto positivas como negativas. Se destaca la interacción positiva entre el nitrógeno (N) y pH con el índice de clorofila (SPAD). Las líneas que conectan las variables indican el tipo y la magnitud de la correlación: una línea gruesa y opaca en verde representa una correlación positiva fuerte, mientras que una línea gruesa y opaca en rojo indica una correlación negativa fuerte. Las líneas más delgadas y transparentes corresponden a correlaciones débiles, tanto positivas como negativas. Los “**” señalan interacciones de interconexión significativas. Las abreviaturas son: Fluorescencia de la clorofila (FL), Antocianinas (ANTHM), altura de la planta (AP), longitud de ramas (LR), Materia orgánica (MO), pH del suelo (pH), índice de clorofila (SPAD), fósforo del suelo (P), flavonoides (FLVM), potasio del suelo (K) y nitrógeno del suelo (N), temperatura de hoja (TH).

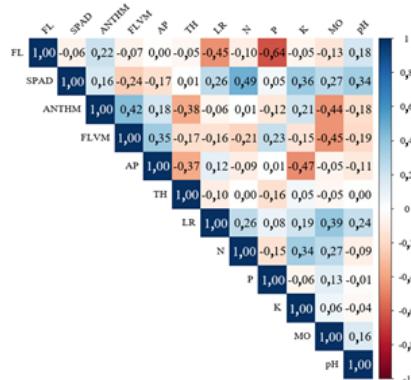
Los resultados evidencian interacciones clave entre las propiedades químicas del suelo y las variables fisiológicas de *Myrtleola nummularia*, sugiriendo relaciones complejas que pueden estar influenciadas por

diversos factores ecológicos y bioquímicos (Chapin et al., 1987). La correlación positiva entre el N y el SPAD, está respaldada por el papel clave del nitrógeno en la síntesis de clorofila y la mejora de la eficiencia fotosintética en hojas en crecimiento (Hassan et al., 2022). Los resultados resaltan la importancia de optimizar la fertilización orgánica con compost, ajustando las dosis según las necesidades específicas de *Myrtleola nummularia*, para evitar reducir la eficiencia fotosintética.

La posición central de la MO en la red de interacciones resalta su papel como modulador clave de la disponibilidad de nutrientes, influyendo tanto las propiedades químicas del suelo como las respuestas fisiológicas de la planta. Esto se debe a que la MO mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo, facilitando la retención y liberación gradual de nutrientes esenciales como el N, P y K (Bashir et al., 2021). Además, regula el pH del suelo y mejora la estructura del mismo, permitiendo una mayor infiltración y retención de agua, lo que beneficia la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Six et al., 2000). Estas propiedades también influyen en procesos fisiológicos, como la fotosíntesis y el metabolismo secundario, al proporcionar un ambiente más favorable para la absorción de nutrientes y el desarrollo de raíces (Valentine et al., 2017; Schmidt, 2014; Albaladejo-Marico et al., 2024).

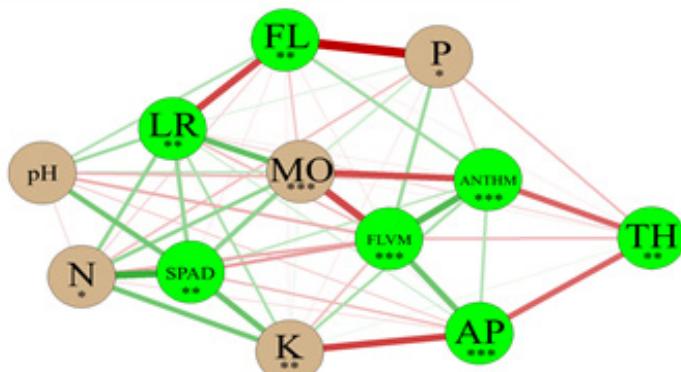
Figura 5

Efecto de diferentes dosis de compost durante el crecimiento de las plantas para altura de la planta y ramas en *Myrtleola nummularia* (Poir.) para la temporada 2022-2023.



Nota. La figura evidencia que el nitrógeno tiene relaciones positivas con parámetros fisiológicos como floración y SPAD, mientras que el fósforo se asocia negativamente con la floración

Figura 6

Red de interacciones de variables del suelo (café) y *Myrteola nummularia* (Poir.) (verde)

Nota. La red indica que las variables fisiológicas del crecimiento (TH, AP, LR, FLVM) se asocian positivamente entre sí, mientras que el fósforo (P) mantiene una relación negativa con la floración (FL), evidenciando distintos efectos nutricionales en el desarrollo de las plantas

CONCLUSIÓN

El presente estudio evaluó el efecto de dosis crecientes de compost durante un periodo corto de establecimiento (octubre a diciembre de 2022). Los resultados indican que la aplicación de 15 t ha⁻¹ de compost incrementó significativamente el índice de clorofila y la longitud de ramas, sin afectar la altura de la planta, la conductancia estomática ni los pigmentos antioxidantes. Además, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (Fv/Fm). La mejora en el desarrollo vegetativo estuvo asociada a una mayor disponibilidad de nitrógeno y una disminución del pH, condiciones que podrían favorecer el crecimiento en etapas posteriores. Según estos resultados, se comprueba parcialmente la hipótesis planteada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Adventista de Chile por el apoyo y financiamiento de esta investigación.

REFERENCIAS

- Agrometeorología. (2023). Red agrometeorológica INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de <https://agrometeorologia.cl>
- Abdou, M., Mohamed, M.A.H. (2014). Effect of plant compost, salicylic and ascorbic acids on *Mentha piperita* L. plants. *Biological Agriculture & Horticulture*, 30(2):131-143. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.882796>.
- Albaladejo-Marico, L., Yepes-Molina, L., Carvajal, M. (2024). Alteration of nutrient uptake and secondary metabolism connection by foliar application of citrus flavonoids to broccoli plants. *Plant Growth Regulation*, 104:855-867. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01204-3>.
- Aly, M.A., Harhash, M.M., Awad, R.M., El-Kelawy, H.R. (2015). Effect of foliar application with calcium, potassium and zinc treatments on yield and fruit quality of Washington navel orange trees. *Middle East Journal of Agricultural Research*, 4(3):564-568.
- Amuti, K. (1983). Effect of removal of flower buds, open flowers, young pods and shoot apex on growth and pod set in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 34(6):719-725. <https://doi.org/10.1093/jxb/34.6.719>.
- Aydi, S., Sassi Aydi, S., Marsit, A., El Abed, N., Rahmani, R., Bouajila, J., Merah, O., Abdelly, C. (2023). Optimizing alternative substrate for tomato production in arid zone: lesson from growth, water relations, chlorophyll fluorescence, and photosynthesis. *Plants*, 12(7):1457. <https://doi.org/10.3390/plants12071457>.
- Bashir, O., Ali, T., Baba, Z.A., Rather, G.H., Bangroo, S.A., Mukhtar, S.D., Naik, N., Mohiuddin, R., Bharati, V., Bhat, R.A. (2021). Soil organic matter and its impact on soil properties and nutrient status. En Microbiota and biofertilizers (p.129-159). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_7.
- Betancur, M., Retamal-Salgado, J., López, M.D., Vergara-Retamales, R., Schoebitz, M. (2022). Plant performance and soil microbial responses to irrigation management: a novel study in a calafate orchard. *Horticulturae*, 8(12):1138. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121138>.
- Betancur, M., Retamal-Salgado, J., López, M.D., Vergara-Retamales, R., Schoebitz, M. (2023). Novel approach to organic mulching from natural-based solutions to enhance soil health and functional value of calafate fruit. *Horticulturae*, 9(11):1202. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111202>.
- Betancur, M., Retamal-Salgado, J., López, M.D., Vergara-Retamales, R., Schoebitz, M. (2024). Enhancing soil health and fruit quality in calafate orchards through sustainable amendments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1):1235-1249. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01625-z>.
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Choppala, G.K., Thangarajan, R., Chung, J.W. (2012). Stabilization of carbon in composts and biochars in relation to carbon sequestration and soil fertility. *Science of the Total Environment*, 424:264-270. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.061>.

- Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B., Waring, R.H. (1987). Plant responses to multiple environmental factors: physiological ecology provides tools for studying how interacting environmental resources control plant growth. *BioScience*, 37(1):49-57. <https://doi.org/10.2307/1310177>.
- Chaudhary, N., Singh, C., Pathak, P., Vyas, D. (2022). Effects of different compost on vegetative and yield performance of pea. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(17):2308-2321. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2071440>.
- Cordero, S., Abello, L., Gálvez, F. (2017). Plantas silvestres comestibles y medicinales de Chile y otras partes del mundo. Corma. Recuperado de https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-89567_recurso_pdf.pdf
- Cordon, G., Lagorio, M.G., Paruelo, J.M. (2016). Chlorophyll fluorescence, photochemical reflective index and normalized difference vegetative index during plant senescence. *Journal of Plant Physiology*, 199:100-110. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.05.010>.
- Domínguez, D. (2012). Flora nativa Torres del Paine [en línea]. Ocho Libros. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/40618>
- Farzadfar, S., Knight, J.D., Congreves, K.A. (2021). Soil organic nitrogen: an overlooked but potentially significant contribution to crop nutrition. *Plant and Soil*, 462:7-23. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04860-w>.
- Flis, S., Jastrzebski, Z., Namiesnik, J., Arancibia-Avila, P., Toledo, F., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Suhaj, M., Trakhtenberg, S., Gorinstein, S. (2012). Evaluation of inhibition of cancer cell proliferation in vitro with different berries and correlation with their antioxidant levels by advanced analytical methods. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 62:68-78. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.01.005>.
- Hassan, A., Gulzar, S., Nawchoo, I.A. (2022). Role of nitrogen in photosynthesis. En Yousuf, PY; Shabir, PA; Hakeem, KR (eds.). Advances in plant nitrogen metabolism. 1a ed. p.86-95. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003248361-7>.
- Hernández Valencia, R.D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C.J., Zermeño González, A., González Fuentes, J.A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova scientia*, 14(28). <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032>.
- Hirzel, J. (2014). Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. 2a ed. aum. y corr. INIA. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/357>
- İşik, M., Aldoğan, S., Sönmez, M., İlhan, S., Ortaş, I. (2023). Effect of increasing phosphorus doses application on some physical, chemical and biological properties of soil, under long-term experiment conditions. *International Journal of Agricultural and Applied Sciences*, 4(1):143-149. <https://doi.org/10.52804/ijaas2023.4124>.
- Kahle, D.; Wickham, H. (2013). Ggmap: spatial visualization with ggplot2. *The R Journal*, 5(1):144-161. Recuperado de <https://journal.r-project.org/archive/2013-1/kahle-wickham.pdf>
- Kovalchuk, I.Y., Mukhiddinova, Z., Turdiyev, T., Madiyeva, G., Akin, M., Eydurhan, E., Reed, B.M. (2018). Nitrogen ions and nitrogen ion proportions impact the growth of apricot (*Prunus armeniaca*) shoot cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 133:263-273. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1375-3>
- Kooten, O., Jan, S. (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, 25(3):147-150. <https://doi.org/10.1007/BF00033156>.
- Kumar, K.V., Raj, B.A., Sriraghul, A., Sadanish, K., Raj, N.R., Prajith, K.S., Tamilselvan, M. (2023). Comparing the effect of organic and inorganic amendments on soil health. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 38(1):80-83. <https://doi.org/10.18805/BKAP599>.
- Landrum, L.R. (1988). Systematics of *Myrtleola* (Myrtaceae). *Systematic Botany*, 13(1):120-132. <https://doi.org/10.2307/2419248>.
- Liu, Y., Lan, X., Hou, H., Ji, J., Liu, X., Lv, Z. (2024). Multifaceted ability of organic fertilizers to improve crop productivity and abiotic stress tolerance: review and perspectives. *Agronomy*, 14(6):1141. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061141>.
- Lopez, A. (2003). Phytochemistry and biological activities of selected Colombian medicinal plants. Tesis de doctorado, University of British Columbia. University of British Columbia Library. <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0091221>
- Matiz-Villamil, A., Méndez-Carranza, K.J., Pascagaza-Pulido, A.F., Rendón-Rendón, T., Noriega-Noriega, J., Pulido-Villamarín, A. (2023). Trends in the management of organic swine farm waste by composting: a systematic review. *Helijon*, 9(8): e18208. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2023.e18208>.
- Maxwell, K., Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51:659- 668. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.345.659>.
- Mehdaoui, I., Mahmoud, R., Majbar, Z., Berrada, S., Abbou, M.B., Elshikh, M.S., Rais, Z. (2024). Comparing how compost and manure affect soil organic matter using a complete factorial design. *Journal of King Saud University—Science*, 36(10):103471. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103471>.
- Miao, L., Wang, X., Yu, C., Ye, C., Yan, Y., Wang, H. (2024). What factors control plant height?. *Journal of Integrative Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.03.058>.
- Oviedo, E. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 18(1):31-42. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v18n1/1405-7743-iit-18-01-00031.pdf>
- Pande, K.K., Dimri, D.C. (2020). Response of nitrogen application in fruit trees: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5):545-559.

- Pinto-Morales, F., Retamal-Salgado, J., López, J., Zapata, M.D., Vergara-Retamales, R., Pinto-Poblete, A. (2022). The use of compost increases bioactive compounds and fruit yield in calafate grown in the central south of Chile. *Agriculture*, 12(1):98. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010098>.
- Pinto-Poblete, A., Retamal-Salgado, J., López, M., Zapata, D., Sierra-Almeida, N., Schoebitz, M. (2022). Combined effect of microplastics and Cd alters the enzymatic activity of soil and the productivity of strawberry plants. *Plants*, 11(4):536. <https://doi.org/10.3390/plants11040536>.
- Poblete-Grant, P., Reyes-Díaz, M. (2011). Efecto de diferentes dosis de sulfato de calcio sobre la eficiencia fotoquímica y sistema antioxidante de tres cultivares de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) sometidos a estrés por toxicidad de aluminio en un andisol. Tesis de grado, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ufro.cl/?a=view&item=1102>
- Purnawanto, A.M., Ahadiyat, Y.R. (2022). Maize growth and yield characteristics with application of mushroom waste substrate vermicompost in Ultisol. *Agronomy Research*, 20(S1):1090-1103. <https://doi.org/10.15159/AR.22.071>.
- Raksun, A., Merta, I.W., Mertha, I.G. (2021). Vegetative growth response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) due to different doses of horse manure bokashi. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(2):434-440.
- Rathje, H. (1959). Soil chemical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Rathod, A.A., Adhvaryu, M.R. (2023). Evaluation of growth and reproductive parameters of tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.) for application of organic and inorganic fertilizers. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 2023:227-232. <https://doi.org/10.32628/IJSRST52310316>.
- Retamal-Salgado, J., Vásquez, R., Fischer, S., Hirzel, J., Zapata, N. (2017). Decrease in artificial radiation with netting reduces stress and improves rabbit-eye blueberry (*Vaccinium virgatum* Aiton) 'Ochlockonee' productivity. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77(3):226-233. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392017000300226>.
- Rodríguez, TE. (1972). Clasificación climática de Wilhelm Köppen (introducción). 3a ed. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía.
- Rodríguez, R., Marticorena, C., Alarcón, D., Baeza, C., Cavieres, L., Finot, V.L., Fuentes, N., Kiesling, A., Mihoc, M., Pauchard, A., Ruiz, E., Sánchez, P., Marticorena, A. (2018). Catálogo de las plantas vasculares de Chile. Gayana. *Botánica*, 75(1):1-430.
- Romero-Román, M.E., Schoebitz, M., Bastías, R.M., Fernández, P.S., García-Viguera, C., López-Belchi, M.D. (2021). Native species facing climate changes: response of calafate berries to low temperature and UV radiation. *Foods*, 10(1):196. <https://doi.org/10.3390/foods10010196>.
- Romero, P., Fernández-Fernández, J.I., Martínez-Cutillas, A. (2010). Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 13:300-312.
- Sahu, H., Kumar, U., Mariappan, S., Mishra, A.P., Kumar, S. (2024). Impact of organic and inorganic farming on soil quality and crop productivity for agricultural fields: a comparative assessment. *Environmental Challenges*, 15:100903. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100903>.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. (2000). Fisiología de las plantas. Paraninfo Thomson Learning.
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., Sánchez, A. (2020). Recycling of organic wastes through composting: process performance and compost application in agriculture. *Agronomy*, 10(11):1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>.
- Schmidt, W. (2014). Root systems biology. *Frontiers in Plant Science*, 5:215. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00215>.
- Schreckinger, M.E., Lotton, J., Lila, M.A., Mejia, E.G.D. (2010). Berries from South America: a comprehensive review on chemistry, health potential, and commercialization. *Journal of Medicinal Food*, 13(2):233-246.
- Shah, Z.A., Dar, M.A., Dar, E.A., Obianefo, C.A., Bhat, A.H., Ali, M.T., El-Sharnoubi, M., Shukry, M., Kesba, H., Sayed, S. (2022). Sustainable fruit growing: an analysis of differences in apple productivity in the Indian state of Jammu and Kashmir. *Sustainability*, 14(21):14544. <https://doi.org/10.3390/su142114544>.
- Silva, E., Tavares, M.H.F., Secco, D., Barbosa, G.M., Costa, M.S.S., Basegio, D. (2024). Impacts on soil quality with the use of organic fertilizers. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 22(11):e7983. <https://doi.org/10.55905/oelv22n11-240>.
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T., Combrink, C. (2000). Soil structure and soil organic matter: I. distribution of aggregate size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2):681-689. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x>.
- Stolpe, N.B. (2006). Descripción de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía.
- Tarantino, A., Disciglio, G., Frabboni, L., Lopriore, G. (2023). Organo mineral fertilizers increase vegetative growth and yield and quality parameters of pomegranate cv. *Wonderful fruits*. *Horticulturae*, 9(2):164. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020164>.
- Vail, D.C., Hernández, D.L., Velis, E., Wills, A. (2020). Compost tea production methods affect soil nitrogen and microbial activity in a northern highbush blueberry system. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(10):1370-1383. <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1724583>.
- Valentine, A.J., Kleinert, A., Thuynsma, R., Chimphango, S., Dames, J., Benedito, V.A. (2017). Physiology and spatio-temporal relations of nutrient acquisition by roots and root symbionts. *En Progress in Botany*. v.78, p.167-233. Springer. https://doi.org/10.1007/124_2016_11.

Vargas-Pineda, O.I., Trujillo-González, J.M., Torres-Mora, M.A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2). <https://doi.org/10.22579/20112629.575>.

Velásquez, G., Calabi-Floody, M., Poblete-Grant, P., Rumpel, C., Demanet, R., Condron, L., Mora, M. (2016). Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2):294-309. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000024>.

Vogel, H., González, B., Catenacci, G., Doll, U. (2016). Domestication and sustainable production of wild crafted plants with special reference to the Chilean maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *Julius-Kühn-Archiv*, (453):50. <https://doi.org/10.5073/jka.2016.453.016>.

Walkley, A.J., Black, I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.

Watanabe, F.S., Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Journal*, 29:677-678.

Youssef, S.M., Shaaban, A., Abdelkhalik, A., Abd El Tawwab, A.R., Abd Al Halim, L.R., Rabee, L.A., Alwutayd, K.M., Ahmed, R.M.M., Alwutayd, R., Hemida, K.A. (2023). Compost and phosphorus/potassium-solubilizing fungus effectively boosted quinoa's physio-biochemical traits, nutrient acquisition, soil microbial community, and yield and quality in normal and calcareous soils. *Plants*, 12(17):3071. <https://doi.org/10.3390/plants12173071>.

Yue, H., Yue, W., Jiao, S., Kim, H., Lee, Y., Wei, G., Song, W., Shu, D. (2023). Plant domestication shapes rhizosphere microbiome assembly and metabolic functions. *Microbiome*, 11(1):70. <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01513-1>.

Zhu, Y., Wang, Y., Zhang, Y. (2007). Effects of potassium nutrition on stomatal conductance and photosynthesis in rice. *Plant and Soil*, 294(1):27-36.