



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

FoodUPV
INSTITUTO DE INGENIERIA DE ALIMENTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos
(FoodUPV)

EFECTO DE DISTINTOS TIPOS DE ABONOS
ORGÁNICOS O DE LA PODA SOBRE EL RENDIMIENTO
Y LA CALIDAD DE LAS HOJAS DE MORINGA

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad
Alimentaria

AUTOR/A: Martín Tejedo, Ana María

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M^a Dolores

Director/a Experimental: García Mares, Francisco José

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

EFFECTO DE DISTINTOS TIPOS DE ABONOS ORGÁNICOS O DE LA PODA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LAS HOJAS DE MORINGA

Ana María Martín¹; M^a Luisa Castelló¹; M^a Dolores Ortolá¹; Francisco José García-Mares²

RESUMEN

Moringa oleifera es una planta de origen asiático que destaca por su perfil nutricional y adaptabilidad climática. Su resistencia a la sequía y a las altas temperaturas la hacen idónea para las condiciones ambientales de la región mediterránea, afectada por el cambio climático. Además, las hojas de esta planta son muy ricas en proteína, vitamina C y antioxidantes, entre otros compuestos. Así, el objetivo de este trabajo ha sido evaluar el efecto de la aplicación de distintos abonos orgánicos (estiércol caprino, humato potásico y humus de lombriz) y de la poda sobre plantas de moringa cultivadas en maceta y en parcela, respectivamente. Para ello, se analizó la producción de hojas y el tamaño, color y composición nutricional de las mismas, además del crecimiento de la planta y las características del suelo en el caso del abonado. El aporte orgánico no influyó en la mayoría de los parámetros evaluados, aunque sí que aumentó el contenido en compuestos fenólicos y disminuyó la proteína de las hojas, al mismo tiempo que fomentó la respiración del suelo. La poda intensiva no mejoró la producción de hojas y redujo la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales en las mismas, influyendo también en sus propiedades ópticas, probablemente por la presencia de hojas más nuevas. Por tanto, aunque no se recomendaría utilizar estos abonos o la poda intensiva para mejorar la producción de la moringa, a nivel de calidad del suelo los aportes orgánicos podrían ser beneficiosos.

Palabras clave: Moringa, fertilizantes, poda, crecimiento, color, proteína, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, suelo, cambio climático.

RESUM

Moringa oleifera és una planta d'origen asiàtic que destaca pel seu perfil nutricional i adaptabilitat climàtica. La seua resistència a la sequera i a les altes temperatures la fan idònia per a les condicions ambientals de la regió mediterrània, afectada pel canvi climàtic. A més, les fulles d'esta planta són molt riques en proteïna, vitamina C i antioxidants, entre altres compostos. Així, l'objectiu d'este treball ha sigut avaluar l'efecte de l'aplicació de diferents abonaments orgànics (fem caprí, humato potàssic i humus de cuc) i de la poda sobre plantes de moringa cultivades en test i en parcel·la, respectivament. Per a

¹Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos-FoodUPV. ²Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022. Valencia.

això es va analitzar la producció de fulles i la grandària, color i composició nutricional d'estes, a més del creixement de la planta i les característiques del sòl en el cas de l'abonat. L'aportació orgànica no va influir en la majoria dels paràmetres avaluats, encara que sí que va augmentar el contingut en compostos fenòlics i va disminuir la proteïna de les fulles, al mateix temps que va fomentar la respiració del sòl. La poda intensiva no va millorar la producció de fulles i va reduir la capacitat antioxidant i el contingut de fenols totals en estes, influint també en les seues propietats òptiques, probablement per la presència de fulles més noves. Per tant, encara que no es recomanaria utilitzar estos abonaments o la poda intensiva per a millorar la producció de la moringa, a nivell de qualitat del sòl les aportacions orgàniques podrien ser beneficiosos.

Paraules clau: Moringa, fertilitzants, poda, creixement, color, proteïna, capacitat antioxidant, compostos fenòlics, sòl, canvi climàtic.

ABSTRACT

Moringa oleifera is a plant native to Asia that stands out for its nutritional profile and climate adaptability. Its resistance to drought and high temperatures makes it ideal for the environmental conditions of the Mediterranean region, which is affected by climate change. In addition, the leaves of this plant are very rich in protein, vitamin C and antioxidants, among other compounds. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of the application of different organic fertilizers (goat manure, potassium humate and earthworm humus) and pruning on moringa plants grown in pots and in plots, respectively. For this purpose, leaf production, as well as leaf size, colour, and nutritional composition were analysed, in addition to plant growth and soil characteristics in the case of fertilization. Organic input did not influence most of the parameters evaluated, although it did increase phenolic compound content and decrease leaf protein, while promoting soil respiration. Intensive pruning did not improve leaf production and reduced the antioxidant capacity and total phenol content of the leaves, also influencing their optical properties, probably due to the presence of newer leaves. Therefore, although it would not be recommended to use these fertilizers or intensive pruning to improve moringa production, organic inputs could be beneficial in terms of soil quality.

Keywords: Moringa, fertilizers, pruning, growth, colour, protein, antioxidant capacity, phenolic compounds, soil, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

Moringa oleifera es una especie tropical perteneciente a la familia *Moringaceae*. Es nativa del norte de la India, aunque su cultivo se ha extendido ampliamente por regiones de Asia, África, América, Europa y Oceanía (Haouvang et al., 2017; Montesano et al., 2019). Es una planta con múltiples aplicaciones en agricultura, ganadería, medicina y nutrición, debido a los beneficios nutricionales y de salud que se le atribuyen, así como a su adaptabilidad climática y resistencia a condiciones adversas (Yang et al., 2023).

La moringa es un arbusto o árbol de crecimiento rápido que suele crecer entre 3 y 5 metros en su primer año, alcanzando hasta 12 metros en su madurez (Horn et al., 2022). Tiene un ciclo de crecimiento largo y no requiere muchas condiciones específicas de suelo, riego o clima, lo que facilita su supervivencia y crecimiento (Yang et al., 2023). La temperatura es el factor ambiental más importante, controlando aspectos tales como su distribución geográfica, fisiología o rendimiento (Abdoun et al., 2023). Una temperatura media diaria de entre 25 y 35°C es la más favorable para el desarrollo de la planta, por lo que las condiciones ambientales tropicales y subtropicales, con veranos calurosos e inviernos suaves, son óptimas para su crecimiento (Trigo et al., 2021). Se adapta a una amplia variedad de suelos, pero los más adecuados son los suelos arenosos o arcillosos bien drenados, con un pH de neutro a ligeramente ácido, entre 6,5 y 8,0 (Abdoun et al., 2023; Horn et al., 2022; Montesano et al., 2019). También se ve favorecida por precipitaciones anuales entre 250 y 1500 mm y soporta bien periodos moderados de sequía, debido a sus raíces profundas y a su capacidad de almacenar agua en raíces y otros tejidos suculentos. Esta planta tiene además el potencial de actuar como un sumidero de carbono ya que su tasa de absorción de CO₂ es hasta 20 veces superior a la de otras plantas y aumenta durante el verano (Abdoun et al., 2023; Mashamaite et al., 2024).

Aunque la moringa ya es de por sí una planta de crecimiento rápido sin muchos requerimientos, la aplicación de fertilizantes puede aumentar su productividad (Sarwar et al., 2017). Para satisfacer la demanda de alimentos de la creciente población mundial, la agricultura sigue dependiendo del uso de fertilizantes químicos para lograr el máximo rendimiento de los cultivos (Asghar et al., 2022). La aplicación indiscriminada de estos fertilizantes lleva consigo problemas ambientales como la eutrofización, la emisión de gases de efecto invernadero o la degradación de suelos, y supone un aumento de los costes de producción (Asghar et al., 2022; Soto, 2017). Por el contrario, el uso de abonos orgánicos es una práctica económica y respetuosa con el medioambiente que permite aumentar el rendimiento de los cultivos mejorando a la vez la calidad del suelo. La transición progresiva hacia este tipo de fertilizantes es fundamental para lograr un modelo de agricultura más sostenible (Asghar et al., 2022; Haouvang et al., 2017).

Además del uso de fertilizantes, se ha visto que la poda también puede tener un efecto estimulante sobre el crecimiento de las plantas de *Moringa* (Abdoun et al., 2023; du Toit et al., 2020). Esta práctica se utiliza en agricultura para regular la estructura, crecimiento y producción de los cultivos. Como respuesta a la poda, los árboles desarrollan respuestas fisiológicas compensatorias que pueden tener como resultado un aumento en la producción de follaje, si bien estas respuestas varían en función de la especie, la temporada o la intensidad de la poda (Maurin & DesRochers, 2013; Ortega-Vargas et al., 2019).

La adaptabilidad climática y el perfil nutricional de *Moringa oleifera* la convierten en un cultivo prometedor frente a los problemas ambientales, socioeconómicos y de salud asociados al cambio climático. Según el informe OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2023-2032, el aumento poblacional ocasionará un incremento medio anual de 1,1% de la demanda mundial de alimentos, convirtiendo la producción agrícola sostenible en uno de los mayores retos del S.XXI (Horn et al., 2022). Todas las partes de *Moringa oleifera* son comestibles (hoja, raíz, corteza, semilla, flor y vaina) y ricas en proteínas y aminoácidos esenciales, lo que ha llevado al uso de esta planta para prevenir la desnutrición y mejorar la seguridad alimentaria en algunos países en desarrollo (Falowo et al., 2018). Además, las hojas pueden ser empleadas en alimentación animal y los deshechos para producir bioetanol o biodiesel, constituyendo un ejemplo de economía circular (Montesano et al., 2019).

Por otra parte, se prevé que para el año 2100 alrededor de un 40% de la superficie terrestre tendrá que adaptarse a climas nuevos o parcialmente alterados, siendo las zonas con un clima árido o semiárido las más afectadas (Horn et al., 2022). La plantación de árboles puede contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático en el clima local, por su impacto sobre la temperatura, la humedad, o el secuestro de carbono (Noulèkoun et al., 2018). En este contexto, el cultivo de moringa en la región Mediterránea, donde las condiciones templadas han pasado a ser áridas, puede ser una estrategia interesante frente al riesgo de desertificación y constituir una alternativa a los cultivos tradicionales (Montesano et al., 2019; Trigo et al., 2021).

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de distintos abonados orgánicos (en plantas cultivadas en maceta) y la poda (en plantas cultivadas en parcela) sobre el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas de *Moringa oleifera*. Este objetivo está alineado en un grado alto con el ODS 2 (Hambre cero) y con el ODS 13 (Acción por el Clima) dado que esta planta puede contribuir a mejorar el nivel nutricional de la población por el alto aporte proteico y de vitaminas de sus hojas, así como por su adaptación a regiones con elevadas temperaturas y escasos recursos hídricos a causa del cambio climático (Anexo).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Plantación en maceta y distribución de los abonos orgánicos

Las macetas del experimento se ubican junto a los invernaderos, dentro del terreno de la UPV destinado a la experimentación agraria. Se trata de 48 plantas de *Moringa oleifera* cultivadas en maceta que fueron plantadas en abril de 2022.

Del conjunto de plantas, 12 no se abonaron para considerarlas como control y las 36 restantes fueron abonadas con 3 abonos orgánicos diferentes, siendo distribuidas de forma aleatoria para evitar posibles diferencias en la incidencia solar u otros factores climáticos:

- Estiércol caprino maduro: procedente de la granja de la universidad (UPV). Se aplicaron 0,5 kg/maceta una sola vez a principios de mayo.
- Humus de lombriz: obtenido a partir de residuos sólidos de café una vez extraída la fase líquida y sometidos a un vermicompostaje con lombrices. El abono se formuló con 25 kg de humus de lombriz y 25 L de agua. Se aplicó a razón de 0,5 L/maceta con una frecuencia de 15 días durante los meses de mayo, junio y julio.
- Humato potásico: obtenido a partir de 25 kg de estiércol caprino y sometido a un vermicompostaje con lombrices junto con 1 kg de hidróxido de potasa y diluido en 50 L de agua. Se aplicó a razón de 0,5 L/maceta con una frecuencia de 15 días durante los meses de mayo, junio y julio.

Plantación en parcela y poda

Dentro del mismo terreno de experimentación agraria de la universidad, se encuentra también una parcela destinada al cultivo de *Moringa oleifera* con un total de 710 plantas, sembradas en julio de 2021. Esta parcela está dividida en sectores de la A a la J y estos a su vez se dividen en subsectores, de forma que cada subsector consta de 10 árboles, tal como se muestra en la Figura 1. Para evaluar la influencia de la poda en la producción de hoja de moringa, se podaron de forma intensiva a 0,5 m de altura los árboles de los subsectores que se indican en la Figura 1, mientras que los otros se dejaron crecer. También hubo algunos subsectores que tuvieron que ser excluidos del estudio, ya que había demasiadas plantas pequeñas o muertas (marcados en color naranja en la Figura 1). La poda se realizó en 3 momentos de la campaña 2023: 13/6/23, 17/7/23 y 5/9/23.



FIGURA 1. Distribución de los diferentes sectores y subsectores en la parcela de experimentación en función de si fueron podados o no o si fueron excluidos del estudio.

Evaluación del crecimiento

Se tomaron medidas de altura de brote (con una cinta métrica), grosor de brote y grosor de la base (con un pie de rey) de las 48 plantas cultivadas en maceta. En cada planta se seleccionó el brote más alto, identificado con una brida de color negro, para medir la altura y el grosor de este. Estas mediciones se realizaron 2 veces por semana entre el 31 de mayo y el 11 de septiembre, correspondiendo con la etapa de crecimiento de *Moringa oleifera* en la región mediterránea (du Toit et al., 2020; Godino, 2016). Durante estos meses se produjo una granizada el día 5 de julio, que obligó a podar las plantas y volver a comenzar de cero la medición. Por este motivo el estudio se divide en 2 etapas: una etapa previa a la granizada, del 31 de mayo al 3 de julio, y una etapa posterior del 24 de julio al 29 de septiembre.

Evaluación del rendimiento

En el caso del cultivo en maceta, para evaluar la cantidad de hoja producida según los diferentes abonados, se cosechó la hoja de las 48 plantas al final de este estudio. Se pesó la producción de cada maceta individualmente para después sumar la cantidad obtenida para cada abonado. En la parcela, la cosecha de hoja se realizó aproximadamente cada mes. Del mismo modo, como al principio del experimento se contó el número de brotes por planta, también se obtuvo la cantidad de hoja producida por brote para ambos casos.

Tamaño de la hoja

Para las plantas en maceta, las dimensiones longitudinales y transversales de la hoja se midieron en dos ocasiones: el 6 de julio y el 8 de septiembre de 2023. La medición se realizó utilizando un pie de rey y se tomaron como muestra representativa 12 hojas escogidas al azar de cada uno de los abonados aplicados y

del control, sumando en total 48 medidas en cada fecha. En el caso de la parcela estas mediciones se realizaron de la misma manera y también en dos ocasiones: en septiembre, después de la segunda poda, y en octubre después de la tercera poda. En este caso se tomaron como muestra representativa 30 hojas de las plantas con poda y 30 hojas de las plantas sin poda.

Humedad

Se evaluó la humedad de las hojas de *Moringa oleifera* tanto de maceta como de parcela, con un método gravimétrico (García & Fernández, 2012) en una estufa (J.P Selecta, modelo Conterm type Poupinel 2000201) a 60°C hasta alcanzar un peso constante.

Propiedades ópticas

Para el análisis del color de las hojas frescas de moringa se utilizó un colorímetro portátil (X-Rite, modelo RM 200). Se determinaron las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b* con un sistema de referencia de iluminante D65 y un observador 10°. En el caso de las plantas en maceta se cogieron como muestra 12 hojas de cada abonado y 12 del control en dos fechas diferentes: el 06/07/23 y el 08/09/23. Para el estudio en parcela se cogieron 30 hojas de las plantas de “poda” y otras 30 de las de “no poda” en tres momentos clave: antes de la poda, en septiembre después de la segunda poda y en octubre después de la tercera poda.

Actividad del agua

La actividad del agua (a_w) se midió tanto para maceta como para parcela utilizando un higrómetro de rocío (METER Aqualab 4 TE, Benchtop Water Activity Meter) siguiendo el método 978.18 (AOAC, 2000).

Contenido en proteína

Se analizó la proteína de las hojas de moringa tanto en maceta como en parcela con el método Kjeldahl, usado habitualmente para estimar el contenido en proteína en alimentos a partir de la cantidad de nitrógeno orgánico de la muestra (García et al., 2013). Se consideró el valor de 6,25 como factor de conversión a proteína, que es el recomendado para vegetales.

Contenido en antioxidantes

Se analizó mediante el método del DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) que consiste en la reacción de este radical con los antioxidantes presentes en la muestra analizando los cambios de absorbancia en un espectrofotómetro (modelo Thermo Scientific Helios Zeta UV-Vis) a 515 nm (Brand-Williams et al., 1995). La extracción de los antioxidantes se realizó tomando 1 g de moringa que se trituró junto con 10 mL de una disolución de metanol al 80%. La mezcla se centrifugó durante 7 minutos a 4400 rpm. El sobrenadante se pasó a un matraz

aforado al que se añadieron otros 10 mL de disolución de metanol al 80% y se volvió a centrifugar. A continuación, se preparó una disolución de DPPH con una concentración de 0,025 g/L. Después, se colocaron 3,9 mL de disolución de DPPH y se procedió a la lectura de su absorbancia a tiempo 0 (A_{t0}). Luego se incorporaron 0,1 mL de la muestra y transcurridos 30 minutos se procedió a la lectura de la absorbancia (A_{t30}) para poder obtener el porcentaje de inhibición del DPPH con la siguiente ecuación:

$$\text{Inhibición DPPH} = 100 \frac{(A_{t0} - A_{t30})}{A_{t0}}$$

Los resultados se expresaron en miligramos de Trolox equivalente (TE) por 100 g de moringa en base seca.

Determinación de los polifenoles totales

Los polifenoles totales se determinaron con el método Folin-Ciocalteu. Este método se basa en la reacción de los compuestos fenólicos presentes en la muestra con el reactivo Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul que puede determinarse con un espectrofotómetro a 765 nm (García et al., 2015). La extracción de los polifenoles se llevó a cabo con el mismo procedimiento que para obtener los antioxidantes totales. A continuación, se preparó una disolución de ácido gálico de 1000 mg/L, a partir de la cual se prepararon una serie de disoluciones de ácido gálico entre 100 y 1000 ppm para obtener la curva patrón. Después, se tomaron 250 μ L de cada disolución patrón de ácido gálico o de la muestra y se colocaron en matraces aforados de 25 mL. Se añadieron al matraz 15 mL de agua destilada y 1,25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Se homogeneizó el contenido de los matraces y se dejaron reposar 8 minutos en oscuridad. Transcurrido este tiempo, se adicionaron a cada matraz 3,75 mL de la disolución de carbonato sódico al 7,5% y se llevó a un volumen de 25 mL con agua destilada. Se homogeneizó de nuevo el contenido y se llevaron a oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas, para finalmente medir la absorbancia a 765 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalente (GAE) por 100 g de moringa en base seca.

Análisis del suelo

El pH del suelo se determinó mediante un pH-metro (Consort, modelo C1010) y la conductividad del suelo con un conductímetro (Consort, modelo C830).

La materia orgánica se midió por el método de Walkley Black (Walkley & Black, 1934), que consiste en la oxidación con dicromato potásico utilizando la reacción de calor del sulfúrico, realizando después una valoración con sulfato de

hierro. Para ello, se pesó 1 g de tierra secada al aire y se llevó a un Erlenmeyer de 250 mL, al cual se añadieron 10 mL de dicromato potásico 1 N. La mezcla se agitó y se añadieron 20 mL de ácido sulfúrico. Se agitó de nuevo y se dejó reposar durante 30 minutos. Pasado este tiempo se añadieron 200 mL de agua destilada, homogeneizando todo, y una vez frío se añadieron 10 mL de H₂PO₄. Para la valoración se agregaron 5 gotas del indicador (ferroína) y se realizó la valoración añadiendo sulfato ferroso amónico hasta que el color cambió de verde oscuro a un rojo vino. Como el factor de recuperación del C orgánico es 1,30, se calculó el % de C orgánico con la siguiente ecuación:

$$\% C \text{ orgánico} = \frac{[(V \cdot N \cdot f) - (V' \cdot K' \cdot f')] \cdot 1,30 \cdot 0,003}{g \text{ de suelo seco}} \times 100$$

Donde: V = mL de K₂Cr₂O₇; N = normalidad del K₂Cr₂O₇; f = factor de corrección de la normalidad de K₂Cr₂O₇ y V' = mL de FeSO₄; N' = normalidad del FeSO₄ y f' = factor de corrección de la normalidad de FeSO₄.

Finalmente, este dato se multiplicó por 1,724, que es el factor convencional para pasar del carbono orgánico a materia orgánica, basándose en que la materia orgánica del suelo tiene un 58% de C, obteniendo así el % de materia orgánica.

La respiración se midió con el medidor de CO₂ portátil (PP Systems, modelo EGM-5 CO₂ Gas Analyzer).

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto significativo de los factores considerados se realizaron ANOVAs multifactoriales de las variables analizadas utilizando el programa Statgraphics Centurion XIX.64.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Seguimiento de las características de las plantas de moringa en macetas

En la Figura 2 se muestran los resultados de la evolución del crecimiento de las plantas de moringa cultivadas con distintos aportes orgánicos en términos de altura de la planta, grosor de la base y grosor del brote. Como puede observarse, en ninguna de las variables evaluadas hubo diferencias significativas por efecto de los diferentes abonados. Todas las plantas aumentaron en altura y grosor del brote con el tiempo, mientras que el grosor de la base se mantuvo estable. La granizada que ocurrió el 5 de julio de 2023, coincidiendo con aproximadamente el primer mes de recogida de datos, deterioró la mayoría de los brotes por lo que

se decidió podar todas las plantas a una altura de unos 20 cm. Tras esta incidencia, las plantas retomaron su crecimiento, sin influencia de los aportes orgánicos, llegando a alcanzar una altura de brote de casi 1,5 m, lo que pone de manifiesto el rápido crecimiento de esta especie (Haouvang et al., 2017; Montesano et al., 2019; Yang et al., 2023). En un estudio previo realizado en la campaña anterior durante solo 14 días sobre estas mismas plantas, tampoco hubo diferencias significativas en el crecimiento por efecto de estos abonados (Trigo et al., 2022), incluso habiendo aumentado la frecuencia de la dosis en este estudio.

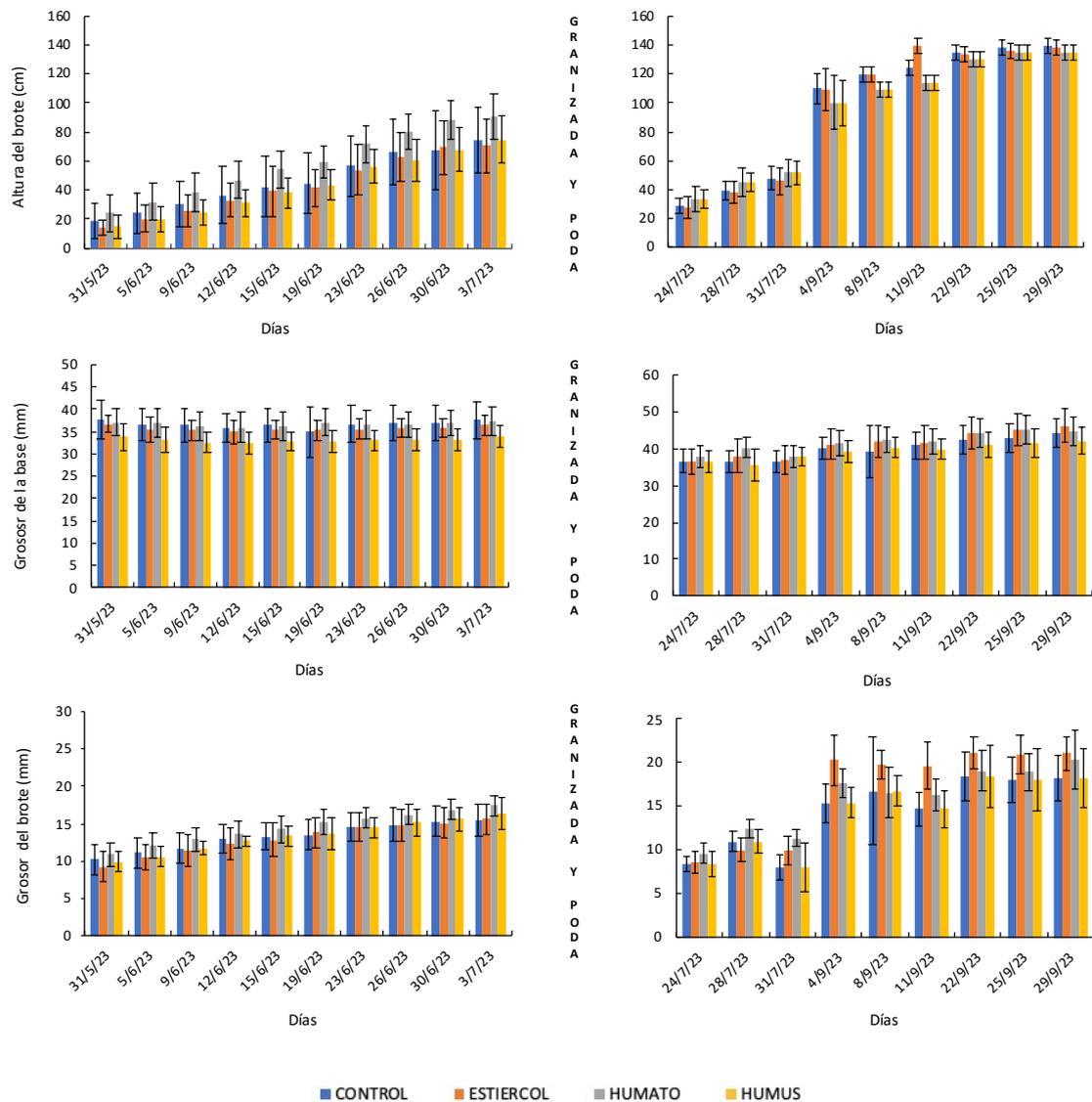


FIGURA 2. Evolución de la altura, grosor de la base y grosor del brote de las plantas de moringa cultivadas con diferentes aportes orgánicos desde el 31 de mayo de 2023 hasta el 29 de septiembre de 2023.

Por otra parte, a los dos meses de la granizada se recogió el peso de hoja por planta (283 ± 45 g), repartidos en 5 ± 1 brotes, obteniéndose un peso por brote de 59 ± 12 g, sin observarse diferencias significativas por el abonado aplicado. Otros estudios sobre el efecto del abonado orgánico en el crecimiento y la producción de hoja presentan resultados dispares. Según Soto (2017), la aplicación de abonado orgánico, concretamente gallinaza, no implicó un mayor rendimiento de la planta. Yalta et al., (2024) no encontraron tampoco un efecto significativo de la aplicación de compost, vermicompost y bocashi de estiércol sobre la cantidad de hojas ni sobre la altura de tallo. Sarwar et al., (2017) no observaron un aumento en la cantidad de hoja, pero sí en la altura de la planta, que fue superior al control con la aplicación de compost. Finalmente, Haouvang et al., (2017) reportaron diferencias significativas tanto en el crecimiento como en la cantidad de hoja producida con la aplicación de compost de estiércol animal.

En la Figura 3 se muestran las dimensiones longitudinales y transversales de las hojas de moringa en función de los diferentes abonados. Como puede observarse, el uso de estos fertilizantes no implicó diferencias significativas ni para el largo ni para el ancho de las hojas. En el caso del tiempo sí que se observaron diferencias significativas en el largo de las hojas (salvo para el control), siendo menor en la medida de septiembre que en la de julio. El tamaño de las hojas se ve afectado por factores climáticos como la temperatura y la precipitación (Ren et al., 2021), lo que podría explicar la diferencia de tamaño entre las medidas. Las hojas más pequeñas también pueden ser el resultado de la adaptación de la planta a condiciones de sequía, para aumentar su eficiencia en el uso del agua o en la disipación del calor (Conesa et al., 2019).

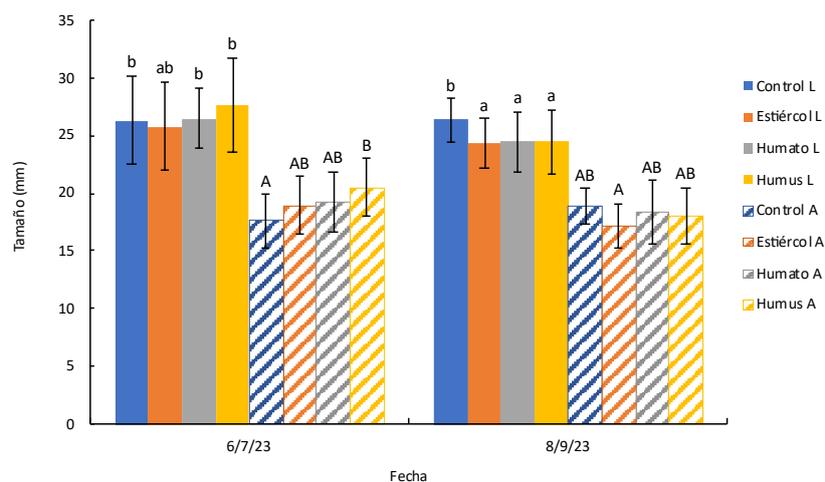


FIGURA 3. Medida del largo (L) y ancho (A) de las hojas de moringa cultivadas con los diferentes abonados. Letras iguales indican grupos homogéneos según el ANOVA realizado considerando el factor tipo de abonado y fecha sobre el largo (letras minúsculas) y el ancho (letras mayúsculas).

En la Figura 4 se presentan los resultados de luminosidad (L^*) de las hojas de moringa y de su ubicación en el plano cromático b^*a^* en función del tipo de abonado aplicado en suelo y del tiempo de crecimiento de la planta. Como puede observarse, entre la medida de julio y la de septiembre hubo un ligero aumento de la luminosidad de las hojas analizadas, especialmente cuando se utilizaron estiércol y humato como abonados. Por otra parte, el color de todas las hojas de moringa se ubica en el segundo cuadrante del diagrama cromático en coherencia con el color verde de las mismas, debido a su riqueza en pigmentos naturales como los carotenoides y la clorofila (Vendrell, 2021), sin observarse diferencias significativas con el tratamiento de abonado aplicado.

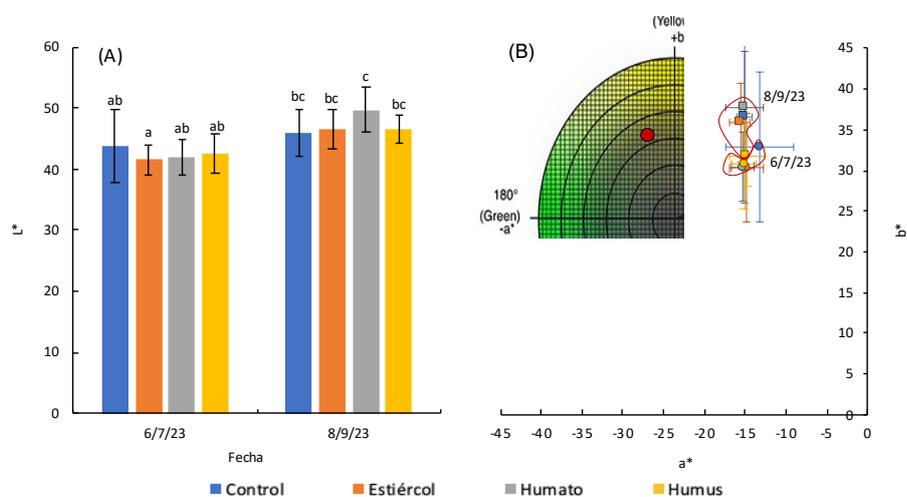


FIGURA 4. (A) Evolución de la luminosidad de las hojas con el tiempo y el tipo de abonado. (B) Situación en el plano cromático en función del tiempo (siendo \bullet : 6/7/23 y \blacksquare : 8/9/23) y el tipo de abonado. Letras iguales indican grupos homogéneos según el ANOVA realizado considerando el factor tipo de abonado y el tiempo de crecimiento.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de humedad, actividad de agua (a_w), capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales y cantidad de proteína de hojas frescas de moringa cultivadas con diferentes aportes orgánicos. Las hojas presentaron diferencias significativas en cuanto al contenido en agua según el tipo de abonado utilizado. Así las plantas con estiércol dan lugar a hojas con el menor contenido en agua, mientras que entre el humato y el humus no hubo diferencias significativas. El control produjo las hojas con el mayor contenido en agua. El contenido en agua fue en general superior al reportado en otros estudios (Chacon et al., 2019; Etchevers et al., 2021; Trigo et al., 2022). Por otra parte, la actividad de agua en todos los casos fue similar y acorde a otros estudios (Chacon et al., 2019). En cuanto a la capacidad antioxidante, tampoco se observaron diferencias significativas por efecto del abonado. Los valores fueron similares a los reportados por Vázquez-León et al., (2017) (entre 2,51 y 7,63 g

TE/100 g bs) y por Ben Mahmoud et al., (2022) ($\approx 5,8$ g TE/100 g b.s.) cuando se empleó el método ORAC, aunque menores a los obtenidos en este mismo estudio por el método CUPRAC (≈ 18 g TE/100 g b.s.). El aporte orgánico aumentó significativamente el contenido en compuestos fenólicos de las hojas, sin diferencias entre los tipos de abonado, siendo acordes de nuevo a los obtenidos por Vázquez-León et al., (2017) (entre 2,01 y 4,18 g GAE/100 g b.s.) y algo superiores a los reportados por Sarwar et al., (2017) ($\approx 1,5$ g GAE/100g b.s.) y por Ben Mahmoud et al., (2022) ($\approx 1,9$ g GAE/100g b.s.). El estudio de Sarwar et al., (2017) registra también mayor contenido en compuestos fenólicos al aplicar compost como abonado, con diferencias significativas frente al control. En cuanto al contenido en proteína, cabe destacar que es significativamente mayor para las hojas control frente a las hojas donde se ha aplicado un abonado, como sucedía en el experimento de Trigo et al., (2022), aunque sin diferencias significativas en su caso. Los valores de proteína obtenidos son superiores a los reportados en algunos artículos de revisión, que indican valores alrededor de 29,4 g proteína/100 g moringa b.s. (Kashyap et al., 2022; Saucedo-Pompa et al., 2018), así como a los reportados en otros estudios, aproximadamente 30 g proteína/100 g moringa b.s. (Brilhante et al., 2017; Fernandes et al., 2021; Moyo et al., 2011). Sarwar et al., (2017) mostraron que los abonos orgánicos no tenían efecto en el aumento del contenido proteico, a diferencia de los abonos sintéticos (NPK).

TABLA 1. Contenido en agua, actividad de agua (a_w), capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y contenido en proteína de hojas de moringa fresca cultivadas con diferentes abonados.

Abonado	% agua	a_w	Capacidad antioxidante (g TE/100 g b.s.)	Compuestos fenólicos (g GAE/100 g b.s.)	Proteína (g proteína/100 g hoja b.s.)
Control	85,7 \pm 0,7 ^c	0,985 \pm 0,002 ^a	5,62 \pm 0,01 ^a	3,0 \pm 0,4 ^a	44 \pm 2 ^b
Estiércol	81,1 \pm 1,3 ^a	0,987 \pm 0,002 ^a	4,2 \pm 0,1 ^a	3,7 \pm 0,4 ^b	37 \pm 2 ^a
Humato	83,7 \pm 0,4 ^{bc}	0,986 \pm 0,002 ^a	4,90 \pm 0,01 ^a	3,9 \pm 0,3 ^b	36,5 \pm 1,2 ^a
Humus	83,4 \pm 1,8 ^b	0,9864 \pm 0,0001 ^a	4,9 \pm 0,1 ^a	4,02 \pm 0,01 ^b	35 \pm 3 ^a

Letras iguales en la misma columna indican grupos homogéneos con un nivel de significación $\geq 95\%$.

Las características del suelo en el que se cultivó la moringa en maceta fueron también analizadas y se presentan en la Tabla 2. El pH fue significativamente inferior en el suelo control y en el tratado con estiércol respecto a los vermicompostajes, aunque todos los valores se encuentran dentro o muy próximos al rango de pH óptimo para la planta (entre 6,5 y 8) (Godino, 2016; Horn et al., 2022; Montesano et al., 2019). Para la conductividad se observaron diferencias significativas, pero sin que puedan atribuirse al uso de un determinado abonado. Además, todos los valores de conductividad fueron bajos, indicando suelos poco salinos, e inferiores a los reportados por Kume et al.,

(2023) como limitantes para el crecimiento de la moringa (de 8 dS/m en adelante). La respiración mostró valores significativamente más bajos en el suelo control que en el resto, manteniéndose esta tendencia en las diferentes fechas. La respiración depende de factores climáticos, como la temperatura y el agua, además de estar estrechamente relacionada con el contenido en materia orgánica del suelo, que actúa como fuente de carbono para los microorganismos (Vallotton et al., 2023). En este caso no se observa dicha relación, ya que la respiración se mantiene estable entre las distintas fechas, a pesar de los cambios en el contenido de materia orgánica en los suelos abonados y el control. Para la materia orgánica se registraron diferencias significativas entre abonados, pero estas variaron en función de la fecha de análisis. En el mes de junio, el suelo control presentó el menor contenido de materia orgánica y, el suelo abonado con estiércol el mayor. Parece que en la medida de julio se fueron equiparando y finalmente en el resultado de septiembre se puede observar que el suelo control, junto al humus, presentaron valores significativamente superiores a los del estiércol y el humato. Estos resultados contrastan con otros estudios (Benchekrone, 2009; Yalta et al., 2024), en los que la materia orgánica sí que se correlacionó positivamente con la aplicación de abonados y podrían deberse a los distintos mecanismos de estabilización de la materia orgánica, que son los que permiten que se integre de manera estable en el suelo (Benchekrone, 2009).

TABLA 2. Datos de pH, conductividad, materia orgánica y respiración de muestras de suelo con diferentes aportes orgánicos obtenidos en diferentes momentos.

Fecha	Abonado	pH	Conductividad (dS/m)	Materia orgánica (% COOX)	Respiración (g CO ₂ /m ² h)
2/6/23	Control	7,7 ± 0,1 ^{ab}	1,9 ± 0,2 ^{ab}	0,58 ± 0,04 ^a	0,57 ± 0,14 ^{bc}
	Estiércol	7,56 ± 0,02 ^a	3,5 ± 0,4 ^c	3,51 ± 0,47 ^d	0,73 ± 0,15 ^c
	Humato	8,05 ± 0,07 ^b	2,2 ± 0,4 ^b	1,74 ± 0,22 ^b	0,63 ± 0,13 ^c
	Humus	8,02 ± 0,09 ^b	1,6 ± 0,4 ^{ab}	2,03 ± 0,19 ^{bc}	0,71 ± 0,16 ^c
28/7/23	Control	7,78 ± 0,03 ^{ab}	1,8 ± 0,1 ^{ab}	1,3 ± 0,2 ^{ab}	0,3 ± 0,1 ^a
	Estiércol	7,56 ± 0,02 ^a	2,5 ± 0,1 ^{bc}	2,2 ± 0,2 ^{bc}	0,8 ± 0,2 ^c
	Humato	8,04 ± 0,03 ^b	1,2 ± 0,1 ^{ab}	1,2 ± 0,3 ^{ab}	0,7 ± 0,1 ^c
	Humus	7,99 ± 0,07 ^b	0,9 ± 0,1 ^a	2,3 ± 0,4 ^{bc}	0,7 ± 0,1 ^c
28/9/23	Control	7,6 ± 0,2 ^{ab}	2,40 ± 1,05 ^b	3,2 ± 0,4 ^d	0,3 ± 0,1 ^a
	Estiércol	7,5 ± 0,3 ^a	2,52 ± 0,57 ^b	2,21 ± 0,2 ^{bc}	0,68 ± 0,2 ^c
	Humato	7,8 ± 0,2 ^b	2,05 ± 0,65 ^b	2,55 ± 0,4 ^{bc}	0,59 ± 0,2 ^c
	Humus	7,7 ± 0,2 ^b	2,56 ± 0,69 ^b	3,52 ± 0,9 ^d	0,62 ± 0,2 ^c

Letras iguales en la misma columna indican grupos homogéneos con un nivel de significación $\geq 95\%$.

3.2. Seguimiento de las características de las plantas de moringa en parcela

En la Figura 5 se muestra el rendimiento de las plantas de moringa cultivadas en parcela en función de si habían recibido o no tratamiento de poda. Como puede observarse, en las tres fechas evaluadas las plantas que no recibieron tratamiento de poda tuvieron un rendimiento significativamente mayor que aquellas que sí lo habían recibido. La poda es una práctica agrícola habitual, si bien las técnicas óptimas difieren para cada cultivo. En el caso de *Moringa oleifera*, se ha visto que la poda produce un crecimiento denso de hojas adicionales y yemas laterales (Abdoun et al., 2023). Du Toit et al., (2020) quienes estudiaron el efecto de la poda a tres intensidades distintas, determinaron que un tratamiento de poda moderada (2 m) era el que daba mejores resultados. Del mismo modo, Yalta et al., (2024) concluyeron que la poda a mayor altura (1,2 m) destacó frente a la poda severa (0,4 m) en número de ramas y cantidad de hoja. A pesar de que nuestros resultados no reportaron beneficios en la producción de hoja atribuidos a la poda, cabe recordar que se aplicó únicamente un tratamiento de poda severa, a una altura de aproximadamente 0,5 m del suelo. Además, se realizaron tres podas en un periodo de cuatro meses, y se cosechó la hoja aproximadamente un mes después de cada poda. Este planteamiento puede haber contribuido a que el resultado difiera al de otros estudios, en los cuales la poda se realizó una única vez en la temporada y se dejaron transcurrir tiempos mayores hasta la cosecha (du Toit et al., 2020; Yalta et al., 2024). Finalmente, para ambos casos se obtuvo el mayor rendimiento en septiembre y el menor en octubre, debido a que los meses de verano presentaron las condiciones más adecuadas para el desarrollo de la planta. Se calculó también el peso por brote, 568 ± 69 g para los árboles sin poda y 401 ± 51 para los podados, siendo superior en los árboles sin poda en coherencia con lo anterior.

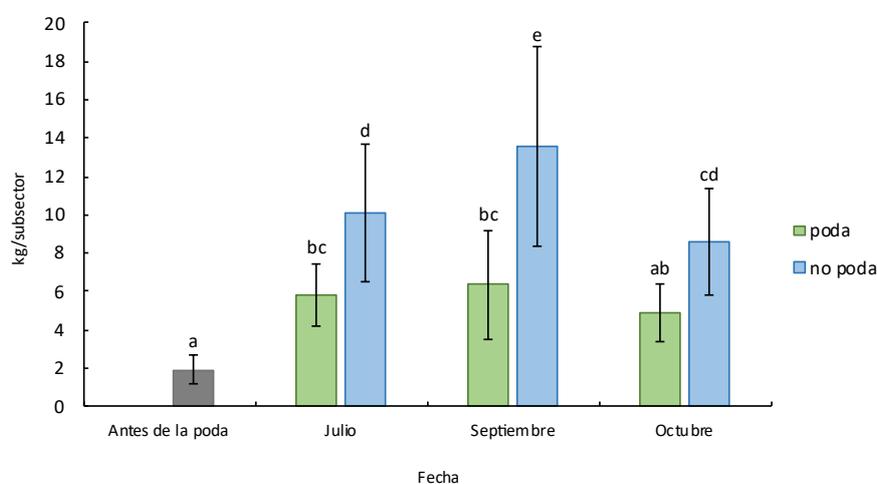


FIGURA 5. Rendimiento de las plantas de moringa cultivadas en parcela en función de si fueron podadas o no. Letras iguales indican grupos homogéneos en función del factor “poda” y “fecha”.

En la Figura 6 se presentan los resultados de luminosidad (L^*) de las hojas de moringa y su ubicación en el plano cromático b^*a^* en función de si las plantas habían sido podadas o no. Como puede observarse, hubo diferencias significativas en la luminosidad de las hojas analizadas entre los tratamientos de poda, aunque sin una tendencia clara con el tiempo, ya que fue mayor en el mes de septiembre para las hojas “sin poda” y en el mes de octubre para las plantas “con poda”. De esta forma, para las plantas “con poda” la luminosidad aumentó de manera significativa con el tiempo mientras que para las plantas “sin poda” disminuyó de manera también significativa. Por otro lado, el color de todas las hojas de moringa se ubicó en el segundo cuadrante del diagrama cromático, en concordancia con el color verde de las mismas, existiendo diferencias significativas con el tratamiento de poda aplicado, tanto para la coordenada a^* como para la coordenada b^* . Estos valores mayores de b^* y más negativos de a^* en las plantas podadas reflejan un color verde más amarillento de las hojas, que se relacionaría con una mayor pureza de color, pudiendo indicar diferencias en el contenido de pigmentos como la clorofila o los carotenoides (du Toit et al., 2020; Kashyap et al., 2022). Por otra parte, tuvieron un color ligeramente más oscuro en comparación con las hojas de las plantas en maceta, ya que presentaron valores menores para la L^* . Esto podría explicarse por la diferencia de edad entre ellas, ya que las hojas de plantas más maduras pueden presentar mayor relación clorofila a/b , que les otorga una coloración más oscura (Juvany et al., 2013).

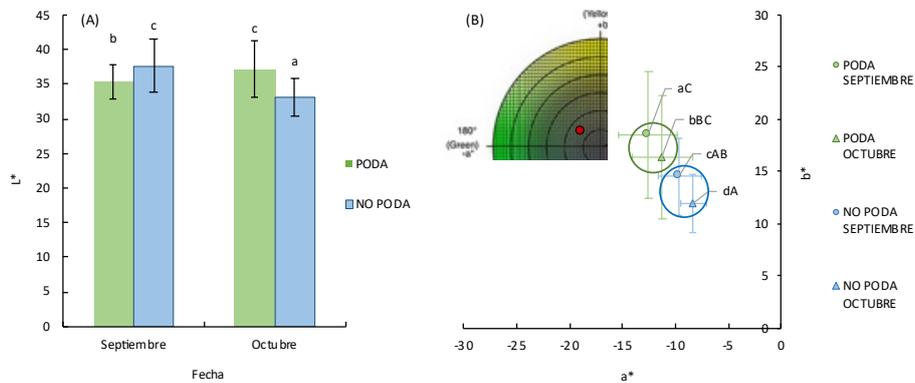


FIGURA 6. (A) Evolución de la luminosidad de las hojas con el tiempo y el tratamiento de poda. Letras iguales indican grupos homogéneos. (B) Situación en el plano cromático en función del tiempo (siendo \bullet : septiembre y \blacktriangle : octubre) y el tratamiento de poda. Letras mayúsculas indican grupos homogéneos de la coordenada a^* y letras minúsculas de la coordenada b^* .

En la Figura 7 se muestran las dimensiones longitudinales y transversales de las hojas de moringa en función de si han recibido tratamiento de poda o no. Como puede observarse, el tratamiento de poda no supuso diferencias

significativas en el largo de las hojas. En el caso del ancho, en octubre las hojas de las plantas no podadas presentaron un tamaño significativamente mayor que las que habían sido podadas. El tiempo no implicó tampoco diferencias significativas en el largo de las hojas, pero sí en el ancho para las plantas sin poda, que fue mayor en octubre. El tamaño de las hojas en maceta (26 ± 1 mm de largo y 19 ± 1 mm de ancho), tal y como se ha visto anteriormente, fue ligeramente mayor al tamaño de las hojas de las plantas cultivadas en parcela (21 ± 4 mm de largo y 14 ± 3 mm de ancho). Estas diferencias pueden estar influenciadas por diferentes condiciones climáticas como la exposición solar o el viento y por la calidad del suelo, ya que una menor disponibilidad de nutrientes da lugar a hojas más pequeñas (Ren et al., 2021). Por otra parte, las plantas en maceta al tener menos hojas, estas podrían ser de mayor tamaño por la distribución de recursos.

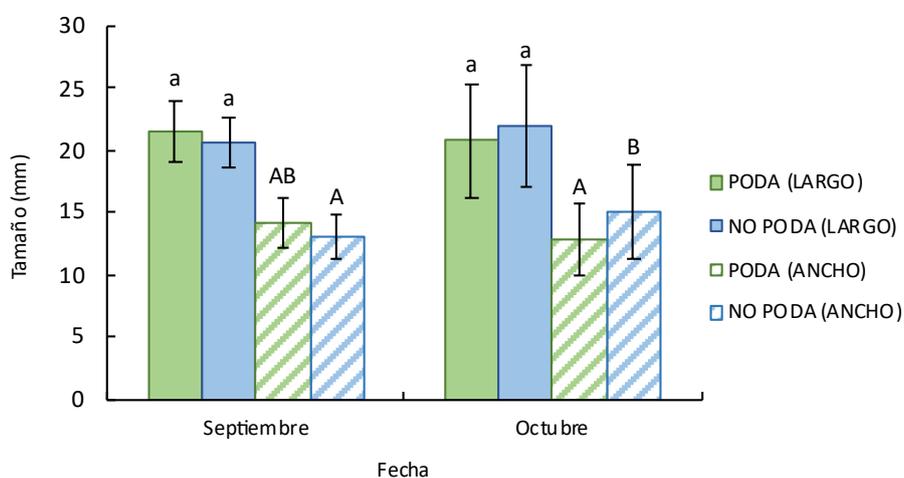


FIGURA 7. Medida del largo (L) y ancho (A) de las hojas de Moringa según si han recibido o no tratamiento de poda. Letras iguales indican grupos homogéneos según el ANOVA realizado considerando el factor “poda” y la “fecha” sobre el largo (letras minúsculas) y el ancho (letras mayúsculas) y el tiempo de crecimiento.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de humedad, actividad de agua (a_w), capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales y cantidad de proteína de hojas frescas de moringa de plantas con y sin tratamiento de poda. Las hojas no presentaron diferencias significativas ni en el contenido en agua ni en la a_w según si recibieron o no tratamiento de poda. El contenido en agua fue menor al de las plantas cultivadas en maceta mientras que la actividad de agua fue similar, en ambos casos acordes a otros estudios (Chacon et al., 2019; Trigo et al., 2022). En cuanto a la capacidad antioxidante y el contenido en compuestos fenólicos, sí que fueron significativamente mayores para las plantas sin poda frente a las plantas podadas. Esto podría atribuirse a que las plantas sin poda tienen hojas más maduras, y se ha visto que el contenido en antioxidantes y en compuestos

fenólicos es ligeramente superior en hojas maduras que en hojas tiernas (Nobossé et al., 2018; Sreelatha & Padma, 2009). Los valores fueron algo menores a los obtenidos en las hojas de las plantas cultivadas en maceta, pudiendo deberse de nuevo a la madurez de las hojas, ya que las hojas en maceta no se cosecharon hasta el final del estudio (dos meses tras la granizada) mientras que en la parcela las hojas se cosechaban mensualmente. En el caso de los compuestos fenólicos también podría deberse al efecto del abonado, ya que su aplicación sí que aumento el contenido en fenólicos frente al control en las macetas, aunque los resultados obtenidos sí que fueron similares a los obtenidos por Ben Mahmoud et al., (2022) y Sarwar et al., (2017) mencionados anteriormente. Finalmente, el contenido en proteína fue algo superior para las plantas con poda, aunque sin diferencias significativas, y bastante próximo al obtenido en el experimento en maceta. Se ha visto que la madurez de las hojas puede impactar negativamente en el contenido en proteína (Cao et al., 2023), aunque este efecto no se aprecia en nuestros resultados. Las diferencias observadas entre las hojas de plantas cultivadas en maceta y parcela pueden estar influenciadas por las diferencias en la exposición solar de las zonas de cultivo, por el diferente desarrollo radicular o por las características del suelo, sin que se disponga en este trabajo de datos sobre cómo estos factores afectaron diferencialmente a las plantas cultivadas en maceta y en parcela.

TABLA 3. Contenido en agua, actividad de agua (a_w), capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y contenido en proteína de hojas de moringa cultivadas en parcela.

	% agua	a_w	Capacidad antioxidante (g TE/100 g b.s.)	Compuestos fenólicos (g GAE/100 g b.s.)	Proteína (g proteína/100 g hoja b.s.)
Poda	74,1 ± 2,2 ^a	0,9887 ± 0,0008 ^a	2,2 ± 0,2 ^a	1,8 ± 0,1 ^a	38,9 ± 0,4 ^a
No Poda	75,3 ± 1,1 ^a	0,983 ± 0,004 ^a	2,9 ± 0,3 ^b	2,40 ± 0,04 ^b	33 ± 6 ^a

Letras iguales en la misma columna indican grupos homogéneos con un nivel de significación $\geq 95\%$.

4. CONCLUSIONES

Los tipos de abonos empleados en este trabajo (estiércol caprino, humato potásico y humus de lombriz) no afectaron al crecimiento de las plantas de moringa ni al tamaño de sus hojas. Esto podría deberse al tamaño muestral, la dosis de abonado aplicada o al tiempo que tardan los abonos orgánicos en mineralizarse para poder ser aprovechados por las plantas. Tampoco se observaron diferencias en las propiedades ópticas, la actividad de agua o la capacidad antioxidante de las hojas. Sin embargo, el aporte orgánico aumentó su contenido en compuestos fenólicos, mientras que disminuyó su contenido en proteína. La poda intensiva no mejoró el rendimiento en hojas de la moringa y

redujo su capacidad antioxidante y su contenido en fenoles totales posiblemente como consecuencia de la relación entre la acumulación de estos compuestos y la madurez de las hojas. Desde el punto de vista del color, este tipo de poda aumentó la pureza de color de las hojas.

5. REFERENCIAS

- Abdoun, K., Alsagan, A., Altahir, O., Suliman, G., Al-Haidary, A., & Alsaiady, M. (2023). Cultivation and Uses of Moringa oleifera as Non-Conventional Feed Stuff in Livestock Production: A Review. En *Life* (Vol. 13, Número 1). MDPI. <https://doi.org/10/m6zz>
- AOAC. (2000). *AOAC Official Method 978.18 Water Activity of Canned Vegetables*.
- Asghar, W., Akça, M. O., Akça, H., Tarf, O. J., Kataoka, R., & Turgay, O. C. (2022). Alternative strategies to synthetic chemical fertilizers: revitalization of soil quality for sustainable agriculture using organic-based approaches. En *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Sustainable Agriculture: Revisiting Green Chemicals* (pp. 1-30). Elsevier. <https://doi.org/10/m6zw>
- Ben Mahmoud, K., Wasli, H., Ben Mansour, R., Jemai, N., Selmi, S., Jemmali, A., & Ksouri, R. (2022). Antidiabetic, antioxidant and chemical functionalities of Ziziphus jujuba (Mill.) and Moringa oleifera (Lam.) plants using multivariate data treatment. *South African Journal of Botany*, 144, 219-228. <https://doi.org/10/m6z3>
- Bencheikroun, A. (2009). *Cultivo de hortalizas: ensayo de variedades Influencia del uso y manejo del suelo: Agregación, erosionabilidad y fracción orgánica*. Universitat Politècnica de València.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. <https://doi.org/10/fgbszk>
- Brilhante, R. S. N., Sales, J. A., Pereira, V. S., Castelo-Branco, D. de S. C. M., Cordeiro, R. de A., de Souza Sampaio, C. M., de Araújo Neto Paiva, M., Santos, J. B. F. dos, Sidrim, J. J. C., & Rocha, M. F. G. (2017). Research advances on the multiple uses of Moringa oleifera: A sustainable alternative for socially neglected population. En *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* (Vol. 10, Número 7, pp. 621-630). Elsevier (Singapore) Pte Ltd. <https://doi.org/10/m6zt>
- Cao, J., Shi, T., Wang, H., Zhu, F., Wang, J., Wang, Y., Cao, F., & Su, E. (2023). Moringa oleifera leaf protein: Extraction, characteristics and applications. En *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 119). Academic Press Inc. <https://doi.org/10/m6z4>
- Chacon, L., Castelló, M. L., & Rubio-Arreaez, S. (2019). *Caracterización y aptitud de las hojas de Moringa para su comercialización en fresco*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Conesa, M. À., Mus, M., & Galmés, J. (2019). Leaf size as a key determinant of contrasting growth patterns in closely related Limonium (Plumbaginaceae) species. *Journal of Plant Physiology*, 240. <https://doi.org/10/gr4mx6>
- du Toit, E. S., Sithole, J., & Vorster, J. (2020). Pruning intensity influences growth, flower and fruit development of Moringa oleifera Lam. under sub-optimal growing conditions in Gauteng, South Africa. *South African Journal of Botany*, 129, 448-456. <https://doi.org/10/m6z5>
- Etchevers, M. C., Castelló, M. L., & Ortolá, M. D. (2021). *Caracterización de parámetros fisicoquímicos de diferentes tipos de Moringa oleifera*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Falowo, A. B., Mukumbo, F. E., Idamokoro, E. M., Lorenzo, J. M., Afolayan, A. J., & Muchenje, V. (2018). Multi-functional application of Moringa oleifera Lam. in nutrition and animal food products: A review. En *Food Research International* (Vol. 106, pp. 317-334). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10/gdfkpk>

- Fernandes, Â., Liberal, Â., Pinela, J., Finimundy, T. C., Bancessi, A., Ćirić, A., Soković, M., Catarino, L., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Compositional features and biological activities of wild and commercial *Moringa oleifera* leaves from Guinea-Bissau. *Food Bioscience*, *43*, 101300. <https://doi.org/10/m6z6>
- García, E., & Fernández, I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/16339>
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2013). *Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte*.
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. <http://hdl.handle.net/10251/52056>
- Godino, M. (2016). *Moringa oleifera: árbol multiusos de interés forstal para el sur de la península ibérica*. 12.
- Haouvang, L. C., Albert, N., Martin, Y., & Mbaiguinam, M. (2017). Growth response of *Moringa oleifera* Lam. as affected by various amounts of compost under greenhouse conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, *62*(2), 221-226. <https://doi.org/10/m6z7>
- Horn, L., Shakela, N., Mutorwa, M. K., Naomab, E., & Kwaambwa, H. M. (2022). *Moringa oleifera* as a sustainable climate-smart solution to nutrition, disease prevention, and water treatment challenges: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *10*. <https://doi.org/10/m6zv>
- Juvany, M., Müller, M., & Munné-Bosch, S. (2013). Plant age-related changes in cytokinins, leaf growth and pigment accumulation in juvenile mastic trees. *Environmental and Experimental Botany*, *87*, 10-18. <https://doi.org/10/f4qr2f>
- Kashyap, P., Kumar, S., Riar, C. S., Jindal, N., Baniwal, P., Guiné, R. P. F., Correia, P. M. R., Mehra, R., & Kumar, H. (2022). Recent Advances in Drumstick (*Moringa oleifera*) Leaves Bioactive Compounds: Composition, Health Benefits, Bioaccessibility, and Dietary Applications. En *Antioxidants* (Vol. 11, Número 2). MDPI. <https://doi.org/10/gsmgt2>
- Kume, T., Boonthai, C., Shimamura, T., & Haruta, S. (2023). Growth and Mineral Uptake of *Moringa oleifera* Lam. in Low-Permeability Soils at Different Salinity Levels. *Environmental and Rural Development*, *35*, 14(2), 35-41.
- Mashamaite, C. V., Ramatsitsi, M. N., & Manyevere, A. (2024). *Moringa oleifera* Lam.: A versatile climate-smart plant for nutritional security and therapeutic usage in semi-arid regions. En *Journal of Agriculture and Food Research* (Vol. 16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10/m6z8>
- Maurin, V., & DesRochers, A. (2013). Physiological and growth responses to pruning season and intensity of hybrid poplar. *Forest Ecology and Management*, *304*, 399-406. <https://doi.org/10/m6z9>
- Montesano, D., Cossignani, L., & Blasi, F. (2019). Sustainable Crops for Food Security: *Moringa oleifera* Lam.). *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 409-415. <https://doi.org/10/f4gg>
- Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional characterization of *Moringa oleifera* Lam. leaves. *African Journal of Biotechnology*, *10*(60), 12925-12933. <https://doi.org/10/gk6p3x>
- Nobossé, P., Fombang, E. N., & Mbofung, C. M. F. (2018). Effects of age and extraction solvent on phytochemical content and antioxidant activity of fresh *Moringa oleifera* L. leaves. *Food Science and Nutrition*, *6*(8), 2188-2198. <https://doi.org/10/m62b>
- Noulèkoun, F., Khamzina, A., Naab, J. B., Khasanah, N., van Noordwijk, M., & Lamers, J. P. A. (2018). Climate change sensitivity of multi-species afforestation in semi-arid Benin. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(6). <https://doi.org/10.3390/su10061931>
- Ortega-Vargas, E., Burgueño-Ferreira, J. A., Ávila-Reséndiz, C., Campbell, W. B., Jarillo-Rodríguez, J., & López-Ortiz, S. (2019). Morphological and physiological responses of

- Guazuma ulmifolia Lam. to different pruning dates. *Agroforestry Systems*, 93(2), 461-470. <https://doi.org/10.1007/S10457-017-0136-Z>
- Ren, T., He, N., Liu, Z., Li, M., Zhang, J., Li, A., Wei, C., Lü, X., & Han, X. (2021). Environmental filtering rather than phylogeny determines plant leaf size in three floristically distinctive plateaus. *Ecological Indicators*, 130. <https://doi.org/10/grz596>
- Sarwar, M., Ali, A., Nouman, W., Arshad, M. I., & Patra, J. K. (2017). Compost and synthetic fertilizer affect vegetative growth and antioxidants activities of moringa oleifera. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(5), 1293-1300. <https://doi.org/10/m62c>
- Saucedo-Pompa, S., Torres-Castillo, J. A., Castro-López, C., Rojas, R., Sánchez-Alejo, E. J., Ngangyo-Heya, M., & Martínez-Ávila, G. C. G. (2018). Moringa plants: Bioactive compounds and promising applications in food products. En *Food Research International* (Vol. 111, pp. 438-450). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10/gd5d9k>
- Soto, S. A. (2017). *Evaluación del efecto de dos dosis de tres fuentes de abono orgánico sobre el rendimiento de follaje de Moringa*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2009). Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Moringa oleifera Leaves in Two Stages of Maturity. *Plant foods for human nutrition*, 64, 303-311. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0141-0>
- Trigo, C., Castelló, M. L., Ortolá, M. D., & García, F. J. (2022). *Comparación de las propiedades fisicoquímicas de hojas de moringa cultivadas con tres tipos de abonado*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Trigo, C., Castelló, M. L., Ortolá, M. D., García-Mares, F. J., & Soriano, M. D. (2021). Moringa oleifera: An Unknown Crop in Developed Countries with Great Potential for Industry and Adapted to Climate Change. *Foods*, 10(31). <https://doi.org/10.3390/foods>
- Vallotton, J. D., Blagodatsky, S., & Unc, A. (2023). Soil respiration. En *Encyclopedia of Soils in the Environment, Second Edition* (pp. V1-369-V1-378). Elsevier. <https://doi.org/10/m62f>
- Vázquez-León, L. A., Páramo-Calderón, D. E., Robles-Olvera, V. J., Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez-Vázquez, A., García-Alvarado, M. A., & Rodríguez-Jimenes, G. C. (2017). Variation in bioactive compounds and antiradical activity of Moringa oleifera leaves: influence of climatic factors, tree age, and soil parameters. *European Food Research and Technology*, 243(9), 1593-1608. <https://doi.org/10/gbtf4m>
- Vendrell, S. (2021). *Enriquecimiento proteico y antioxidante de galletas con polvo de hojas secas de moringa y aceptación sensorial*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Walkley, A. J., & Black, I. A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Yalta, J., Silva, G., Ampuero Trigoso, G., Quispe-Ccasa, H. A., & Saucedo-Uriarte, J. A. (2024). Effect of pruning height and organic fertilization on the morphological and productive characteristics of Moringa oleifera Lam. in the Peruvian dry tropics. *Open Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10/m62g>
- Yang, M., Tao, L., Kang, X.-R., Wang, Z.-L., Su, L.-Y., Li, L.-F., Gu, F., Zhao, C.-C., Sheng, J., & Tian, Y. (2023). Moringa oleifera Lam. leaves as new raw food material: A review of its nutritional composition, functional properties, and comprehensive application. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 399-416. <https://doi.org/10/m62h>

Anexo al Trabajo Fin de Máster
GRADO DE RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.		X		
ODS 2. Hambre cero.	X			
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.				X
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Este TFM está alineado en un grado alto con el ODS 2 (Hambre cero) dado que esta planta puede contribuir a mejorar el nivel nutricional de la población por el alto aporte proteico y de vitaminas de sus hojas, principalmente y, con el ODS 13 (Acción por el Clima), por su adaptación a regiones con elevadas temperaturas y escasos recursos hídricos por efecto del cambio climático.