



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Comparación de las propiedades fisicoquímicas de hojas
de moringa cultivadas con tres tipos de abonado

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

AUTOR/A: Trigo Guzmán, Carla

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M^a Dolores

Director/a Experimental: GARCIA MARES, FRANCISCO JOSE

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE HOJAS DE MORINGA CULTIVADAS CON TRES TIPOS DE ABONADO

Resumen

La *Moringa oleifera* es una planta originaria del norte de la India. Su modo de cultivo es muy versátil, se adapta muy bien a climas cálidos, con un alto rendimiento y con escasos requerimientos agronómicos (agua y nutrientes) por lo que podría constituir un cultivo alternativo frente al cambio climático en zonas con altas temperaturas como la Comunidad Valenciana. Entre las partes comestibles de esta planta, las hojas son las más valoradas nutricionalmente. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el efecto de la aplicación de diferentes abonados orgánicos (dos vermicompostajes: humato potásico y humus de lombriz y un compostaje: estiércol caprino) sobre el crecimiento, el color y la composición (contenido en agua y en proteínas, compuestos fenólicos totales y contenido en vitamina C) de las hojas frescas de moringa. Los ensayos de crecimiento en campo se realizaron sobre moringa plantada directamente en parcela y en maceta, mientras que los análisis físicoquímicos sólo en las hojas procedentes de maceta. En general, la aplicación de abonos orgánicos favoreció el crecimiento de las diferentes partes de la moringa plantada en parcela, mientras que en maceta no se pudo observar un efecto claro por el reducido tiempo de residencia del abono en la tierra y por la edad de la planta. En cuanto al resto de parámetros, no se observaron diferencias significativas por el efecto del abonado. Por tanto, no sería necesario realizar ninguno de estos aportes orgánicos al suelo para el cultivo de esta planta.

PALABRAS CLAVE:

Moringa, abonos orgánicos, crecimiento, color, proteína, vitamina C, compuestos fenólicos.

Alumna: Carla Trigo Guzmán

Tutora académica: María Luisa Castelló Gómez

Cotutora: María Dolores Ortolá Ortolá

Director experimental: Francisco José García Mares

Valencia, julio de 2022

COMPARACIÓ DE LES PROPIETATS FISICOQUÍMIQUES DE FULLES DE MORINGA CULTIVADES AMB TRES TIPUS D' ABONAT

Resum

La *Moringa oleifera* és una planta originària del nord de l'Índia. El seu mode de cultiu és molt versàtil, s'adapta molt bé a climes càlids, amb un alt rendiment i amb escassos requeriments agronòmics (aigua i nutrients) pel que podria constituir un cultiu alternatiu enfront del canvi climàtic en zones amb altes temperatures com la Comunitat Valenciana. Entre les parts comestibles d'aquesta planta, les fulles són les més valorades nutricionalment. L'objectiu d'este treball ha sigut avaluar l'efecte de l'aplicació de diferents abonats orgànics (dos vermicompostajes: humato potàssic i humus de cuc i un compostatge: fem caprí) sobre el creixement, el color i la composició (contingut en aigua i en proteïnes, compostos fenòlics totals i contingut en vitamina C) de les fulles fresques de moringa. Els assajos de creixement en camp es van realitzar sobre moringa plantada directament en parcel·la i en test, mentres que els anàlisis fisicoquímiques només de fulles procedents de test. En general, l'aplicació d'abonaments orgànics va afavorir el creixement de les diferents parts de la moringa plantada en parcel·la, mentres que en test no es va poder observar un efecte clar pel reduït temps de residència de l'abonament en la terra i per l'edat de la planta. Quant a la resta de paràmetres, no es van observar diferències significatives per l'efecte de l'abonat. Per tant, no seria necessari realitzar cap d'aquestes aportacions orgàniques al sòl per al cultiu d'aquesta planta.

PARAULES CLAU:

Moringa, abonaments orgànics, creixement, color, proteïna, vitamina C, compostos fenòlics.

Alumna: Carla Trigo Guzmán

Tutora acadèmica: María Luisa Castelló Gómez

Cotutora: María Dolores Ortolá Ortolá

Director experimental: Francisco José García Mares

Valencia, juliol de 2022

COMPARISON OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MORINGA LEAVES CULTIVATED WITH THREE TYPES OF FERTILIZER

Abstract

Moringa oleifera is a plant native to northern India. Its cultivation is very versatile, it adapts very well to warm climates, with a high yield and low agronomic requirements (water and nutrients), so it could be an alternative crop against climate change in areas with high temperatures such as the Valencian Community. Among the edible parts of this plant, the leaves are the most nutritionally valued. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of different organic fertilizers (two vermicompost: potassium humate and earthworm humus and one compost: goat manure) on the growth, color and composition (water and protein content, total phenolic compounds and vitamin C content) of fresh moringa leaves. Field growth assays were carried out on moringa planted directly in plots and in pots, while physicochemical analyses were carried out only on leaves from pots. In general, the application of organic fertilizers favored the growth of the different parts of the moringa planted in plots, while in pots no clear effect could be observed due to the reduced residence time of the fertilizer in the soil and the age of the plant. As for the rest of the parameters, no significant differences were observed due to the effect of the fertilizer. Therefore, it would not be necessary to make a cap of these organic contributions to the sun for the cultivation of this plant.

KEYWORDS:

Moringa, organic fertilizers, growth, color, protein, vitamin C, phenolic compounds.

Student: Carla Trigo Guzmán

Academic tutor: María Luisa Castelló Gómez

Cotutor: María Dolores Ortolá Ortolá

Experimental manager: Francisco José García Mares

Valencia, July de 2022

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Ubicación, tipo de plantación de la moringa y distribución de los abonos orgánicos.....	11
3.2. Medidas en campo de la evolución de la planta.....	12
3.3. Determinaciones analíticas de las plantas cultivadas en maceta.....	13
3.3.1 Dimensiones de la hoja.....	13
3.3.2 Contenido en humedad	13
3.3.3 Propiedades ópticas	13
3.3.4 Contenido en proteínas	14
3.3.5 Compuestos fenólicos totales	14
3.3.6 Contenido total de vitamina C	15
3.3.7 Análisis estadístico	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1 Evolución de la moringa en campo	17
4.1.1 Parcela	17
4.1.2 Maceta	18
4.2 Caracterización de las hojas en macetas	20
4.2.1 Tamaño	20
4.2.2 Humedad.....	21
4.2.3 Color	21
4.2.4 Contenido en proteína.....	22
4.2.5 Perfil fenólico	23
4.2.6 Contenido en vitamina C	24
5. CONCLUSIONES.....	26
6. REFERENCIAS	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre abonos orgánicos y sintéticos. Fuente: (Condeso, 2020; Italo, 2021; Soto, 2017; Yahuara, 2019).	7
Tabla 2. Parámetros de los distintos tipos de abonos orgánicos. Fuente: (Hwang et al., 2022; D. Kumar et al., 2013; Sinha et al., 2010; Tortosa et al., 2012).	8
Tabla 3. Resumen F-Ratio del ANOVA. (Los valores con * indican n.s. del 95% y los que tienen ** indican n.s. del 99%)	20
Tabla 4. Resumen de los F-ratio para cada parámetro de color. (El * indica que el P-value en el análisis estadístico es < 0.05).	22
Tabla 5. Resumen de los F-ratio para los fenoles analizado en hojas frescas de moringa.	24
Tabla 6. Resumen de los F-ratio para el ácido ascórbico (Asc), el dehidroascórbico (DhA) y la vitamina C total.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de plan de trabajo	10
Figura 2. Sectorización de la parcela (a) y maceteros (b) de moringa en las instalaciones de la UPV y su distribución en función del tipo de abonado aplicado	12
Figura 3. Evolución de los parámetros estudiados en campo en función de los abonos aplicados (■ control, ■ humato potásico y ■ humus de lombriz). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	18
Figura 4. Evolución de los parámetros estudiados en maceta en función de los abonos aplicados (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	19
Figura 5. Largo y ancho en (mm) de las hojas de moringa dependiendo del tipo de abonado (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	20
Figura 6. Luminosidad del haz y envés de las hojas frescas de moringa dependiendo del tipo de abonado (C: control, HP: humato potásico, HL: humus de lombriz y E: estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	21
Figura 7. Variación de las coordenadas a* y b* de las hojas de moringa en función del tipo de abonado. (C: control, HP: humato potásico, HL: humus de lombriz y E: estiércol caprino). La H y la E que acompaña hace referencia al haz o al envés.	22
Figura 8. Porcentaje de proteína en hoja fresca de moringa dependiendo del tipo de abonado (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	23
Figura 9. Contenido y comparación de los fenoles presentes (mg de fenoles / 100 g de hoja fresca de moringa) dependiendo del tipo de abonado (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	24
Figura 10. Contenido en vitamina C de las hojas frescas (mg / 100 g b.s.) dependiendo del tipo de abonado (C: control, HP: humato potásico, HL: humus de lombriz y E: estiércol caprino). (■ ácido ascórbico, ■ ácido dehidroascórbico y ■ vitamina C total). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).	25

1. INTRODUCCIÓN

Moringa oleifera es una planta caducifolia tropical de rápido crecimiento, perteneciente a la familia *Moringaceae*. Es un cultivo nativo del norte de la India, aunque se ha popularizado en otras regiones como en el suroeste de Asia, suroeste y noroeste de África y centro y sur de América (Milla et al., 2021). El modo de cultivo de este árbol es muy versátil (siembra directa, trasplantes o esquejes). Posee una elevada facilidad para propagarse por medios sexuales y asexuales, además de su baja demanda de nutrientes del suelo y de agua, siendo muy tolerante a la sequía, lo que hace que su producción y manejo sea muy fácil de implantar. Cabe destacar que, el cultivo posee un elevado rendimiento, tolera una amplia gama de condiciones ambientales y suelos poco fértiles (Trigo et al., 2021).

Actualmente, la temperatura del planeta va aumentando de forma progresiva debido al cambio climático. Estos cambios ambientales son muy perjudiciales y plantean diversas amenazas para las especies de cultivos autóctonos. Una de estas amenazas es el estrés abiótico (déficit de agua), por lo que resulta interesante recurrir a este cultivo tropical que se adapta cómodamente a estos nuevos cambios. En este sentido, se ha demostrado en un estudio japonés, que la tasa de absorción de dióxido de carbono (CO₂) del árbol de moringa es veinte veces mayor que la de la vegetación en general. Por tanto, este árbol tiene un gran potencial para almacenar carbono mitigando así los impactos del cambio climático (Trigo, 2020). Por otra parte, durante mucho tiempo esta planta ha formado parte de horticultura tradicional en países asiáticos, utilizada principalmente con fines ornamentales, pero desde hace unos años se ha incrementado el interés de la moringa por parte de las industrias alimentarias para la fortificación de productos. Esto se debe a que todas las partes de la planta son comestibles (semillas, vainas, raíces, corteza, tallos y brotes, flores y hojas) aunque las hojas son las más valoradas por su alto contenido en nutrientes y su elevado rendimiento, ya que se pueden realizar varios cortes a la planta en una misma campaña. Concretamente, las hojas se caracterizan por tener un alto aporte en proteínas, vitaminas, aminoácidos, grasas de alto valor nutricional como omega 3 y 6, minerales, fibra dietética, y antioxidantes (Abbas et al., 2018; Delgado et al., 2022). Por todas estas razones, hay un gran interés en implantar este cultivo en la región mediterránea, donde hasta ahora era desconocido y a su vez, mejorar su producción con la aplicación de abonos orgánicos para fomentar una agricultura más sostenible y ecológica.

En muchos países del mundo predomina el uso de fertilizantes de origen sintético que cuentan con características orientadas a satisfacer las altas expectativas y necesidades de la agricultura intensiva. En contraposición, existe poco conocimiento sobre los beneficios que pueden producir los fertilizantes de origen orgánico. Como se ha demostrado en estudios realizados y se refleja en la información recogida en la Tabla 1, el uso de abonos orgánicos presenta unas ventajas superiores frente al uso de abonos químicos que han causado muchos problemas a la agricultura, entre ellos, la contaminación del medio ambiente, la degradación de suelos, la dependencia de los agricultores por estos fertilizantes y un aumento de los costes de producción (Italo, 2021; Soto, 2017). De todos los abonos orgánicos que existen, este estudio se va a realizar haciendo uso del humato potásico, humus de lombriz y del estiércol de caprino. Cada uno tiene unos parámetros distintos tal y como se muestra en la Tabla 2, y se pretenden comparar los tres abonos orgánicos para observar cuál de ellos es el que mejores propiedades fisicoquímicas y alto rendimiento ofrecerá al cultivo de moringa.

Tabla 1. Comparación entre abonos orgánicos y sintéticos. Fuente: (Condeso, 2020; Italo, 2021; Soto, 2017; Yahua, 2019).

Abonos orgánicos	Abonos sintéticos
Absorben más radiación solar aumentando la temperatura del suelo y facilitando la absorción de nutrientes	Un uso inadecuado afecta a la capacidad de absorción de nutrientes
Mejora la estructura, textura y disminuye la erosión del suelo	Degrada los suelos
Mejora la permeabilidad del suelo (drenaje y aireación)	Permanece la sustancia química en el suelo durante largos periodos de tiempo sin degradarse
Mejora la calidad de los alimentos y contribuye a mejorar el medio ambiente	Disminuye la calidad de los alimentos y altera el medio ambiente
Aumenta el poder tampón reduciendo las oscilaciones del pH	Aumenta la salinidad del suelo
Aumenta la capacidad de intercambio catiónico	Un uso excesivo incrementa la acidez y saturación de macronutrientes
Aumenta la fertilidad natural del suelo	Un uso excesivo puede llegar a la infertilidad de los suelos en el largo plazo
Son fuente de energía para los microorganismos (aumenta la multiplicación)	No favorecen la multiplicación de microorganismos incluso puede llegar a matarlos
Alternativa para sanear los efectos negativos de los abonos sintéticos	Peligro químico tóxico
Menor producción por hectárea debido a que el aporte de nutrientes depende de las temperaturas y la presencia de microorganismos	Mayor producción por hectárea debido al gran aporte de macronutrientes
Útiles para cultivos ecológicos	Útiles para solucionar situaciones críticas donde los cultivos no se desarrollan idóneamente
No son tan específicos y/o precisos en cuanto a necesidades agronómicas se refiere	Se adecuan a los requerimientos específicos de dosis que requiere el cultivo y son más concentrados
No necesitan la complementación de otros abonos y permite el aprovechamiento de residuos orgánicos	Salvo en cultivo hidropónico, es necesario añadir abonos orgánicos para reponer la materia orgánica del suelo
Si la materia orgánica no está bien tratada puede ser fuente de patógenos y contaminación de aguas	Un uso intensivo contamina aguas subterráneas por acumulación de químicos en el subsuelo
Aumenta la retención de agua	En exceso puede provocar quemaduras de sal (los de alto índice salino como nitratos) que provocan deshidratación de tejidos
No provoca tamaños de plantas exacerbados	Una aplicación excesiva provoca tamaños de plantas que sobrepasan los índices normales presentando presión excesiva en hojas y raíces
Puede provocar eutrofización (acumulación de residuos)	Puede provocar eutrofización de acuíferos (aumento de biomasa de las algas)
Para su fabricación y transporte no requiere tanta energía	Requiere más energía para su fabricación y transporte
Su uso no genera dependencia	Gran dependencia del agricultor hacia el suministrador de fertilizantes
Mano de obra intensiva para realizar abonos orgánicos	No requiere tanta mano de obra su elaboración
Más caros	Más baratos
Mejora la actividad radicular	

Tabla 2. Parámetros de los distintos tipos de abonos orgánicos. Fuente: (Hwang et al., 2022; D. Kumar et al., 2013; Sinha et al., 2010; Tortosa et al., 2012).

Parámetros	Humato potásico	Humus de lombriz	Estiércol caprino
pH	8.0	7.0	8.51
CE (dSm ⁻¹)	0.04	2.20	11.33
Materia orgánica (%)	21.50	39	45.60
Nitrógeno total (g/kg)	37.10	7.90	17.70
Fósforo (g/kg)	-	4.70	2.20
Potasio (g/kg)	62.50	11.70	16.50
Carbono orgánico total (%)	37.40	22.53	25.20
Relación C/N	10.08	28.48	14.23
Calcio (g/kg)	8.0	50.20	100.90
Hierro (mg/g)	2406	7462	4139

Dentro de los abonos orgánicos, los estiércoles de diferentes animales se someten un proceso de compostaje dónde la materia orgánica es descompuesta por los microorganismos naturalmente presentes gracias un proceso de fermentación. Por otra parte, otra forma de producir abonos orgánicos a partir de estiércol es mediante el vermicompostaje, en este proceso tiene lugar la adición de lombrices las cuales se alimentarán de esta materia orgánica, la digerirán en los intestinos mediante las enzimas y microorganismos y finalmente la descompondrán (Grasserová et al., 2020). A continuación, se describen las características de los abonos utilizados en este trabajo.

El **humus de lombriz** es un vermicompostaje que destaca por su riqueza en flora microbiana (aprox. $2 \cdot 10^{12}$ de microorganismos vivos/ g) que al ponerse en contacto con el suelo, aumentan la capacidad biológica de éste y como consecuencia, su capacidad de producción vegetal (R. Kumar et al., 2020). El humus posee gran bioestabilidad evitando la fermentación o putrefacción. Además, al contener alta carga enzimática aumenta la solubilización de nutrientes que se asimilan de manera inmediata por las raíces con acción prolongada a lo largo de todo el proceso vegetativo e impide que sean lavados por el agua de riego. Aumenta notablemente el porte de las plantas y posee una relación Carbono/Nitrógeno tan equilibrada que permite aplicarlo en contacto directo con la raíz o las semillas, de forma que evita el shock del trasplante por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad (Hwang et al., 2022). Se puede usar sin inconvenientes en estado puro, se encuentra libre de nemátodos y favorece la formación de micorrizas. Contiene sustancias fitorreguladoras que aumentan la capacidad inmunológica de las plantas, por lo que ayuda a controlar la aparición de plagas. Su pH neutro hace que sea adecuado para ser usado con plantas delicadas (Sinha et al., 2010). Reestablece el equilibrio biológico del suelo, roto generalmente por contaminantes químicos, incrementando los microorganismos nitrificadores del suelo. Tiene en su composición todos los nutrientes necesarios en cantidad suficiente para garantizar el perfecto desarrollo de las plantas, además de un alto contenido en materia orgánica. Destaca por favorecer la circulación del agua, del aire (8-30% su volumen) y como consecuencia, el crecimiento de las raíces. En definitiva, los suelos se vuelven más esponjosos, aireados y menos sensibles a la sequía (Thomas et al., 2020).

El **humato potásico** es otro vermicompostaje que aporta materia orgánica y potasio, por lo que no sólo mejora los suelos a nivel físico, químico y biológico, sino que también proporciona uno de los tres elementos primarios (NPK) necesarios para las plantas. Incrementa la capacidad de retención de agua y la aireación de los suelos mejorando así las labores y resistiendo a la sequía (Franch, 2015). Mejora la germinación de semillas y su viabilidad y reduce la erosión del suelo. Tiene propiedades quelantes de nutrientes que mejoran la absorción por parte de las plantas, además de tener una capacidad de intercambio catiónico elevada. Incrementa el porcentaje de nitrógeno total en los suelos y la fertilidad de los mismos.

Acelera la división celular de la planta y promueve el crecimiento, aumenta la síntesis de clorofila y estimula el crecimiento y la proliferación de los microorganismos del suelo. Estimula las enzimas de las plantas, la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo a largo plazo (Italo, 2021).

El **estiércol caprino** es un compostaje de los más ricos en nutrientes dentro de los estiércoles de origen animal. Además, suele llevar también pelos del animal, lo que le aporta más contenido en nitrógeno. Por tanto, las cabras no solamente producen el estiércol más fino, sino que su estiércol generalmente no atrae insectos ni quema plantas como ocurre con el estiércol bovino o equino. El estiércol fresco aplicado a los cultivos puede ser inapropiado porque causa alteraciones al ambiente, como el aporte excesivo de metales (hierro, zinc, aluminio), sales inorgánicas, patógenos, pérdida y lavado de nutrientes del suelo por erosión y emisión de sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases tóxicos (Colín-Navarro et al., 2019). Por ello, se somete a un compostaje biológico antes de su aplicación al suelo. Este proceso de estabilización supone la descomposición de los desechos orgánicos y evita que representen un riesgo, por su menor actividad microbiana y reducida concentración de compuestos lábiles (Benito et al., 2003; Zambrano et al., 2013).

Tanto los fertilizantes orgánicos como los inorgánicos aportan nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero cada uno contiene diferentes ingredientes en su composición y las plantas utilizan estos nutrientes de maneras diferentes. En un estudio realizado por (Sarwar et al., 2017), el crecimiento vegetativo de la moringa fue mejor gracias a la aplicación de un fertilizante sintético compuesto por NPK en una proporción (21:17:17) y aplicado en maceta con una concentración de 2 g en 6 kg de suelo, mostrando mayor altura, perímetro del tallo y número máximo de hojas y ramas, así como mayor proteína. La incorporación del combinado NPK demostró atributos superiores a los alcanzados con el estiércol de vaca. Probablemente el fertilizante NPK proporcionó el suministro rápido de macronutrientes (N, P, K) a las plantas en comparación con compost a partir del cual se produjo la liberación lenta de nutrientes. El NPK se suele usar solo y no en combinación con compost ya que se termina perdiendo por lixiviaciones. Por otra parte, el compost como fertilizante orgánico puede ser una buena fuente de microorganismos, de expresión de metabolitos primarios y secundarios, de aumento del contenido fenólico, actividad antioxidante y del contenido en carbohidratos mientras que los sintéticos sirven como fuente de alimento para el microorganismo.

La aplicación de cobalto (Co) junto con un abono orgánico aplicado al suelo, aumenta el rendimiento, crecimiento y la calidad de las plantas de moringa. Así, el estudio realizado por (Gad et al., 2019) concluyó que la aplicación en suelo de gallinaza junto con Co dio lugar a mayores parámetros de crecimiento de las plantas (altura, nº hojas, área foliar, peso seco, proteínas, fenoles totales entre otros) frente a los cultivos no tratados con Co. Esto se debe a que aumentó el crecimiento microbiano y la biodisponibilidad. Este comportamiento también se ha comprobado en otros cultivos como el olivo, cereales de invierno como el trigo y en tomate (Gad & Hassan, 2014), poniendo de manifiesto el papel esencial del Co en la nutrición de las plantas. La combinación de fertilizante orgánico junto con Co representa un método eficaz de gestión sostenible de los agroecosistemas y al mismo tiempo seguro para la cadena alimentaria.

2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

El **objetivo general** de este trabajo es la evaluación del desarrollo en campo de la moringa, así como de las características fisicoquímicas de sus hojas frescas según el tipo de abonado (control, humato potásico, humus de lombriz y estiércol caprino). Estos tratamientos se realizaron sobre en dos tipos de plantaciones: directamente en campo y en macetas.

Para alcanzar el objetivo general, se han planteado los siguientes **objetivos específicos**:

- *En campo:*
 - Efecto de los diferentes tratamientos sobre la altura de la planta, diámetro de la base y número total de brotes, longitud y diámetro del brote seleccionado y número de ramificaciones/brote.
- *En laboratorio:*
 - Efecto de los diferentes tratamientos en las dimensiones, humedad, color, contenido en proteínas, compuestos fenólicos totales y contenido en vitamina C de las hojas frescas.

Para ello, se ha realizado en el siguiente **plan de trabajo** (Figura 1):

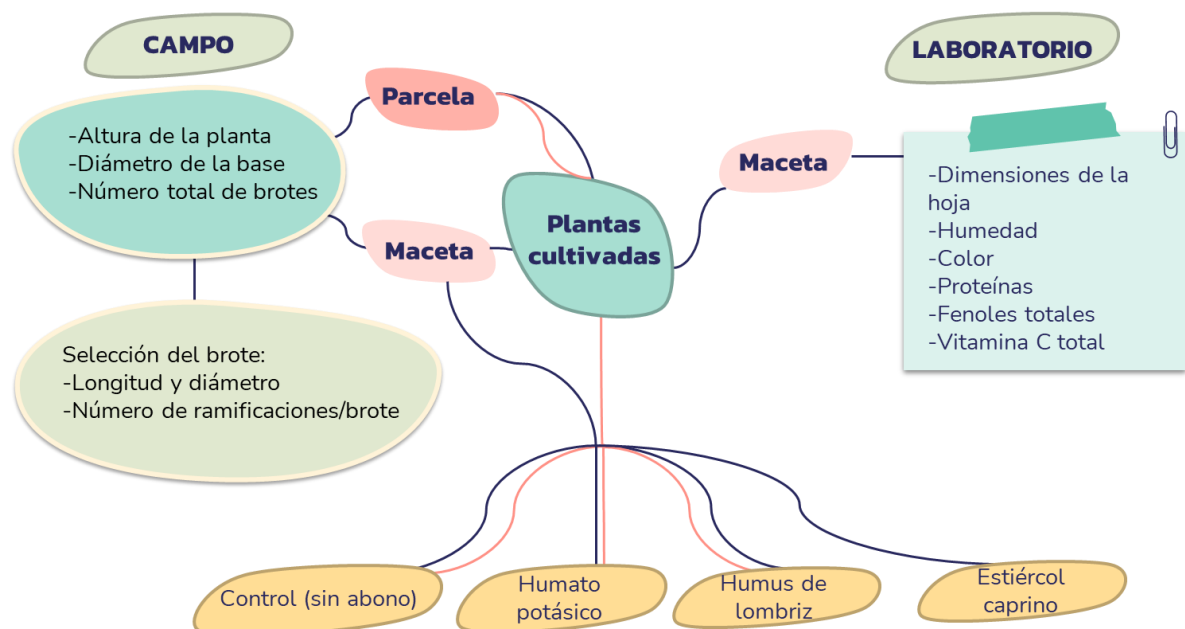


Figura 1. Esquema de plan de trabajo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación, tipo de plantación de la moringa y distribución de los abonos orgánicos

El trabajo de campo se ha llevado a cabo en un terreno de la UPV destinado a la experimentación agraria. En él, hay una parcela dedicada al cultivo de la moringa con un total de 678 plantas sembradas en julio de 2021 procedentes de semillero. Por otra parte, en esa misma localización, pero en una zona cercana a los invernaderos, hay 48 maceteros en los que se trasplantaron planteles procedentes de la empresa Semilleros Plantcanal en abril 2022.

En este estudio se han considerado 3 abonos orgánicos, todos con base de estiércol caprino procedente de la granja de la misma universidad (UPV):

- **Estiércol caprino maduro:** este abono solo se utilizó en macetas y en dosis de 1.7 L/maceta.
- **Humus de lombriz (líquido):** obtenido a partir del estiércol caprino y sometido a un vermicompostaje con lombrices. Formulado con 25 kg de humus de lombriz y 25 L de agua, aplicado a suelo en parcela en dosis de 10000 L/ha y a razón de 0.5 L/maceta.
- **Humato potásico (líquido):** obtenido a partir de 50 kg de estiércol caprino y sometido a un vermicompostaje con lombrices junto con 2 kg de hidróxido de potasa y diluido en 100 L de agua. Se aplicó a suelo en parcela en dosis de 5000 L/ha y a razón de 0.5L/maceta.

La parcela de cultivo se dividió en sectores en los que se aplicó a cada uno un abonado distinto y estos estaban repartidos a lo largo del terreno de siembra para que la toma de muestras fuera representativa del conjunto. Cabe destacar que en parcela (*a*) cada sector mide 10 m² (distribuidos en 2 m de ancho y 5 m de largo). Además cada uno contiene una única fila de 10 plantas separadas entre ellas 0.5 m. Respecto al cultivo en macetas (*b*), la capacidad de las mismas es de unos 30 L, y entre dos macetas de cultivo de moringa se han intercalado macetas de otro cultivo, como citronela, cebolla o tomate cherry, cuya función simplemente es la de aprovechar el espacio de cultivo. La separación entre macetas es de 0.5 m. Los abonos orgánicos se aplicaron tanto en parcela (7/02/2022) como en maceta (10/04/2022), tal y como se indica en la Figura 2.

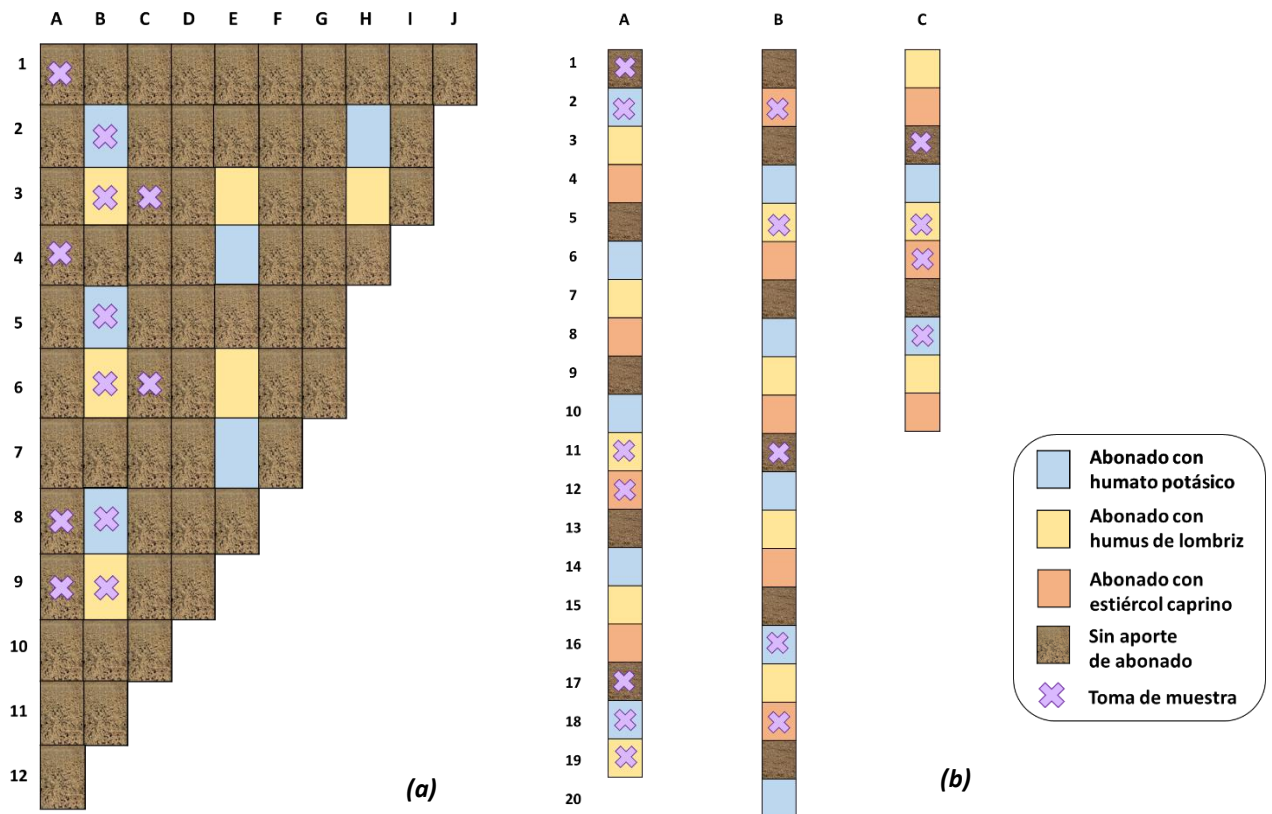


Figura 2. Sectorización de la parcela (a) y maceteros (b) de moringa en las instalaciones de la UPV y su distribución en función del tipo de abonado aplicado.

Por motivos de homogeneidad comparable referente a la poda y a la invasión de malas hierbas identificadas como *Bromus catharticus* Vahl, *Helminthotheca echioides* (L.) Holub, *Sonchus asper* (L.) Hill, *Reseda luteola* L. y *Artemisia annua* L., y de plagas de *Cornu aspersum* y de pulgón negro (solo en parcela) se escogieron únicamente para la toma de muestras las celdas B2, B3, B5, B6, B8 y B9. Asimismo, debido a las circunstancias ambientales (inundaciones fluviales y ventiscas) acontecidas, en la parcela no se pudo realizar un tercer abonado que correspondía a un abonado con estiércol caprino.

3.2. Medidas en campo de la evolución de la planta

Plantas cultivadas en parcela:

De cada sector se eligieron al azar 2 plantas de las que se tomaron medidas de la altura del tronco, diámetro del tronco y número total de brotes. De cada planta elegida se seleccionaron 2 brotes al azar (nombrados como a y b) y se señalaron con uno (a) y dos lazos (b) del mismo color. Posteriormente, de esos brotes se realizaron mediciones de la longitud y diámetro del brote y del número de ramificaciones/brote. Estas mediciones se realizaron durante 14 días, empezando el 20 de mayo de 2022, dejando un espacio de 2-3 días entre medición y medición, y terminando el 3 de junio de 2022.

En lo referente a las plantas cultivadas en maceta:

Para la toma de muestras se escogieron 4 macetas al azar de las 12 existentes para cada tipo de abonado, tal y como se ha indicado en la Figura 2b.

Las mediciones tomadas para los tres tipos de abonado y el control se realizó de forma equivalente a las de parcela, midiendo también la altura total de la planta, el diámetro de la base y el número de brotes totales. En cada maceta se identificó en este caso solo un brote que se señaló con un lazo de color y se procedió a la medición de la longitud y el diámetro del brote en cuestión, además de la obtención del número de ramificaciones/brote. Estas mediciones se realizaron durante 14 días, empezando el 31 de mayo de 2022, y dejando un espacio de 2-3 días entre medición y medición, terminando el 14 de junio de 2022.

3.3. Determinaciones analíticas de las plantas cultivadas en maceta

3.3.1 Dimensiones de la hoja

Para la obtención de las dimensiones longitudinales y transversales de la hoja se hizo uso de un pie de rey. La medición se realizó sobre diez hojas representativas del conjunto, escogidas al azar de cada uno de los abonos aplicados (humato potásico, humus de lombriz y estiércol caprino) y del control, obteniendo así ochenta medidas. Este análisis se llevó a cabo el día que se recogieron las hojas para posteriormente analizarlas en el laboratorio.

3.3.2 Contenido en humedad

Para determinar el contenido en agua de las hojas frescas de moringa se utilizó el método gravimétrico (García-Martínez & Fernández-Segovia, 2012). Se procedió al pesaje de las cápsulas o pesasustancias perfectamente limpias que se secaron en estufa a 103 °C con unos 10 - 30 g de arena de mar calcinada y una varilla de vidrio, durante dos horas. Después de este tiempo se enfriaron en desecador hasta temperatura ambiente y se pesaron (cápsula, arena y varilla) en balanza analítica. Posteriormente, se pesaron en la cápsula con la arena y varilla de vidrio aproximadamente 2 g de hoja fresca de moringa previamente triturada de forma que quedara bien disgregada y no se formara una costra superficial al calentarse. Se introdujo la cápsula en estufa (J.P SELECTA, modelo Conterm) a 103 ± 2 °C y se mantuvo 48 horas hasta alcanzar un peso constante. Transcurrido ese tiempo, se sacó la cápsula de la estufa y se dejó en un desecador, para proceder a pesar cuando se alcanzara la temperatura ambiente. Se realizó este proceso por triplicado para cada tipo de abono (humato potásico, humus de lombriz, estiércol caprino y el control).

3.3.3 Propiedades ópticas

Para la realización del análisis de color de las muestras de hoja de moringa, se ha utilizado un espectrocolorímetro ("Konica Minolta" Inc. Modelo CM – 3600d, Tokio, Japón) calibrado previamente, obteniendo así el espectro de reflexión de las muestras. Se determinaron las coordenadas de color CIE L*a*b utilizando como referencia el observador 10° y como iluminante el D65. Se ha utilizado un área de medida pequeña, el componente especular (SCI), la energía UV incluida y un destello por medición.

La coordenada L^* indica el primer atributo de color que corresponde a la luminosidad, medida en una escala de 0 a 100, siendo el 0 la ausencia de luminosidad, es decir, el negro absoluto y siendo el 100 el máximo parámetro luminoso, es decir, el color blanco. Los parámetros a^* y b^* indican las coordenadas en la esfera de color, donde la a^* varía entre los valores positivos del rojo en y los valores negativos del verde, así como la b^* varía entre los valores positivos del amarillo en y los negativos del azul.

Para llevar a cabo este análisis se cogieron de las macetas de campo para cada tipo de abonado (humato potásico, humus de lombriz, estiércol caprino y el control) 10 hojas con el fin de conocer la variación de color en función del tipo de abonado. Se tomaron mediciones tanto del haz de la hoja como del envés, obteniendo por tanto 80 medidas.

3.3.4 Contenido en proteínas

El contenido en proteínas de las hojas se analizó con el método Kjeldahl. Este método es el análisis químico más utilizado en la determinación de nitrógeno orgánico de una muestra, estimando así el contenido de proteínas de los alimentos. Consta de tres etapas: digestión, destilación y valoración.

En la primera etapa el objetivo es romper los enlaces de nitrógeno de la muestra y convertir ese nitrógeno unido orgánicamente en iones amonio (NH_4^+). Consta de la digestión de la materia orgánica la cual es oxidada por el ácido sulfúrico concentrado en caliente en presencia de catalizadores (como el cobre, aumentando la eficiencia y velocidad del proceso) para formar sulfato amónico. En la segunda etapa se procede a la destilación de los iones amonio (NH_4^+) que se convierten en amoniaco (NH_3) mediante la adición de un álcali (NaOH). El gas amoniaco generado se recoge en una disolución de ácido bórico (disolución absorbente más común). Finalmente, la tercera etapa es la valoración ácido-base del ácido bórico consumido se puede realizar mediante valoración directa o indirecta. En la valoración indirecta se calcula la cantidad de amoniaco por diferencia valorando el ácido sulfúrico residual con una solución estandarizada de hidróxido sódico (Gavidia-Valencia et al., 2020; PanReac, 2021).

En primer lugar, se pesaron 2g de hoja fresca de moringa y se colocaron en tubos de ensayo Kjeldahl los cuales tenían 3 g del catalizador ($\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 + \text{Se}$ en proporciones 10:1:0.1). A estos tubos se les añadió por orden 5 mL de H_2O_4 al 35% y 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Posteriormente, el conjunto se digirió a 420°C durante 20 min y luego las muestras se dejaron enfriar. Una vez estaban frías se les añadió 50 mL de agua destilada y se puso cada muestra en el destilador automático (UDK, 129. VELP, SCIENTIFICA), programándose a un tiempo de destilación de 4 minutos. El destilador tenía la función de aportar un exceso de hidróxido de sódico 10 N lo cual alcalinizó el medio y condensó el amoniaco derivado en los Erlenmeyer con el exceso de ácido bórico al 4% p/v. Finalmente, se realizó una valoración sobre los Erlenmeyer con ácido sulfúrico 0.1 N utilizando el indicador mixto Rojo de Metilo-Verde de Bromocresol. Los resultados obtenidos (% nitrógeno) se transformaron a porcentaje proteico utilizando el factor de conversión 6.25.

Se analizaron por triplicado las muestras de hoja fresca para los tres tipos de abonado (humato potásico, humus de lombriz y estiércol caprino) y el control.

3.3.5 Compuestos fenólicos totales

Para la determinación de compuestos fenólicos se hizo una extracción de los mismos que se llevó a cabo en una disolución de metanol en agua (80:20 p/p).

Para ello, se mezcló 1 g de hoja fresca de moringa con 10 mL de la disolución de metanol, el conjunto se pasó por un Ultraturax T 25 digital-IKA y se llevó posteriormente pipeteando a unos Eppendorf. A continuación, se llevó a un baño de ultrasonidos durante 10 minutos y más tarde se centrifugó la mezcla durante 5 minutos a 1400 rpm. El sobrenadante se filtró con una de jeringuilla PTFE con un tamaño de malla de 0,45 μm . Los fenoles presentes en la muestra se analizaron mediante un cromatógrafo HPLC (Alliance 2695) con detector de fotodiodo 2996 array detector (Waters, USA), separando los componentes mediante una Columna C18 (150 x 4.6 mm) de un tamaño de partícula 5 μm de y se procesaron mediante el programa Agilent MassHunter. La fase móvil binaria estaba compuesta por una fase A (agua y ácido fórmico 95:5) y la fase B (acetonitrilo) (Ruiz, 2021).

La cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla. Consiste en una fase estacionaria no polar (columna) y una fase móvil. La fase estacionaria es sílica que se ha tratado con RMe₂SiCl y la fase móvil actúa de portador de la muestra. La muestra, en disolución, es inyectada en la fase móvil, donde los componentes de la disolución emigran de acuerdo con las interacciones no-covalentes de los compuestos con la columna. Estas interacciones químicas, determinan la separación de los contenidos en la muestra. La utilización de los diferentes detectores dependerá de la naturaleza de los compuestos a determinar.

Para este análisis se tomó como referencia un patrón que contenía los siguientes fenoles: ácido gálico, ácido 4-O-cafeoilquínico, ácido cafeico, rutina, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, quercitrina, apigenina 7-glucósido, quercetina, ácido transcinámico, ácido naringénico, vainillina, ácido 4-hidroxibenzoico, epicatequina, quercitina 3-glucósido, ácido sinápico y kamferol. El contenido de fenoles se realizó por triplicado tanto en las hojas cultivadas con tres tipos de abono como en el control, obteniendo un total de doce muestras.

3.3.6 Contenido total de vitamina C

La obtención de la vitamina C se llevó a cabo mediante la adaptación del protocolo descrito por (Gardner et al., 2000) por HPLC. Para ello se pesaron 0.5 g de hoja fresca de moringa troceada en un tubo Falcon de 15 mL y se añadieron 10 mL de metafosfórico al 2% triturando la mezcla en un Ultraturax T 25 digital-IKA durante 4 minutos. Seguidamente las muestras fueron ultrasonificadas a 20°C durante 5 minutos, con el objetivo de favorecer la extracción de la vitamina C. Los tubos se centrifugaron (5702R eppendorf EA-M-012 Hamburgo, Alemania) a una velocidad de 4400 rpm, 20°C y durante 7 minutos. El sobrenadante se recogió en un matraz aforado de 25 mL y al precipitado resultante se le volvieron añadir 10 mL de metafosfórico al 2% que se pasaron por un vórtex mixer (Thermolyne Maxi Mix II) para disolver el precipitado. Una vez disuelto, se volvió a pasar unos 5 minutos por ultrasonidos y se volvió a centrifugar a 4400 rpm durante 7 minutos. El sobrenadante resultante de esta segunda extracción se recogió nuevamente en el matraz de 25 mL, el cual se aforó con metafosfórico al 2% y se filtró con un filtro de nylon de 0.45 μm (Scharlab, Barcelona, España).

La vitamina C presente en la muestra se analizó en un cromatógrafo de líquidos (Hitachi LaChrom Elite, Hitachi Ltd., Tokio, Japón), dotado de una bomba cuaternaria modelo L-2130 y un detector UV-vis (modelo L-2420). Para la separación se utilizó una columna Kromaphase C18 5 μm (250 mm x 4.6 mm) (Scharlab, Barcelona, España). Para la fase móvil se utilizó una disolución de bifosfato de sodio:agua (m/v) ajustando el pH a 2.65 con ácido ortofosfórico (A) y otra de metanol (B). Para la elución se utilizó un gradiente: 0-6 min de 95% a 78% B, de 6-10 min a 78% de B, de 10-13 min de 78% a 95% B, y de 13-25 min 95% B. Las disoluciones de patrón estándar fueron preparadas con ácido ascórbico (AA) (0.5-300 ppm) disolviendo el patrón en ácido metafosfórico.

El contenido en AA se determinó directamente en el sobrenadante filtrado, mientras que para la determinación del contenido en dehidroascórbico (DHAA), del producto de la oxidación del AA (Davey et al., 2000), se mezclaron 0.5 mL de muestra y 0.5 mL del reductor TCEP (Tris(2-carboxietil)fosfina) 2.5 mM (Lykkesfeldt et al., 2000), que se preparó previamente realizando una disolución de este reductor en un buffer de Na_2HPO_4 . Los análisis se realizaron por duplicado para cada tipo de abono y control.

3.3.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo utilizando el programa Statgraphics Centurion XVIII.64. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA). Para determinar las diferencias significativas entre las muestras se utilizó el Test Tukey LSD (Least Significant Difference) con un nivel de significancia del 95% ($p\text{-value} \leq 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evolución de la moringa en campo

4.1.1 Parcela

Previamente a la selección de las plantas en la parcela que iban a ser evaluadas, y como consecuencia de las condiciones meteorológicas adversas a finales de abril y principios de mayo de 2022, se evaluó la tasa de mortalidad de plantas sobre el total de la parcela.

De las 558 plantas control a fecha del 17/05/22, habían muerto 89 plantas, por tanto, la tasa de mortalidad fue del 15.95%. Sin embargo, de las 60 plantas abonadas con humato potásico murieron 3 (tasa de mortalidad del 5%) y de las 60 plantas abonadas con humus de lombriz murieron 4 (tasa de mortalidad era del 6.66%). En este sentido, parece que el abonado podría estar protegiendo a la planta frente al exceso de lluvias.

En la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos de la evolución en el tiempo de las diferentes dimensiones de las plantas en la parcela. Durante los 14 días transcurridos en la toma de datos de las plantas cultivadas en campo, se observó, como era de esperar, un aumento progresivo de todos los parámetros analizados. En general, la aplicación de un abonado orgánico frente al control (sin abonado) favoreció significativamente el crecimiento de las diferentes partes de la planta. Concretamente, se observaron mayores diferencias significativas respecto al control atendiendo al valor del F-ratio (Tabla 3) y a los grupos homogéneos (Figura 3) en el diámetro del brote y en el número de ramificaciones/brote. Esto puede deberse a los efectos beneficiosos del abono orgánico sobre las condiciones de suelo y la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (Antomarchi et al., 2015). De esta forma, estudios realizados sobre el efecto del abonado orgánico en lechuga, habichuela, pimiento, calabacín, espinaca y remolacha, evidenciaron una influencia positiva sobre las variables productivas del cultivo y morfológicas como la altura, grosor de la planta, número de ramificaciones, entre otras, respecto a las plantas no abonadas (Antomarchi et al., 2015; Neri et al., 2017). Cabe destacar que no hubo diferencias significativas entre la aplicación de los dos tipos de abonos orgánicos (humato potásico y humus de lombriz).

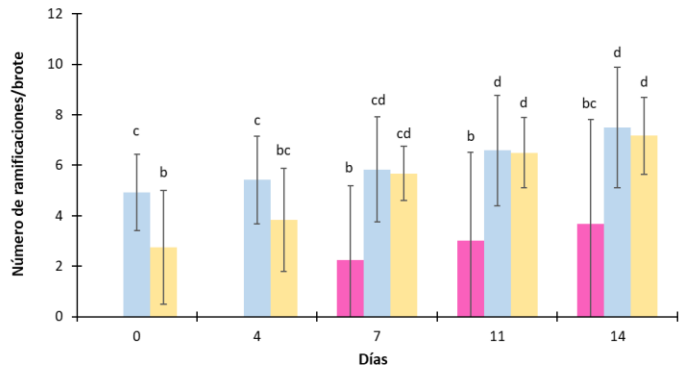
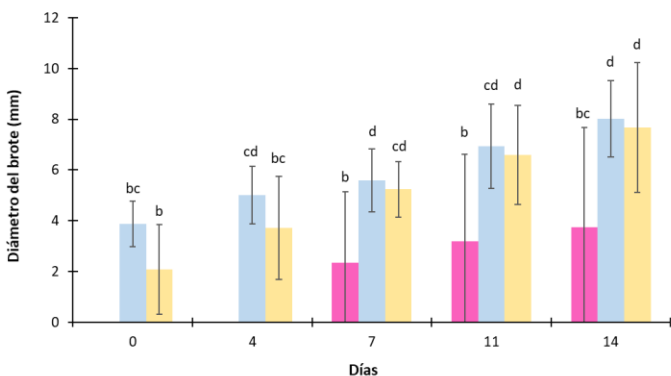
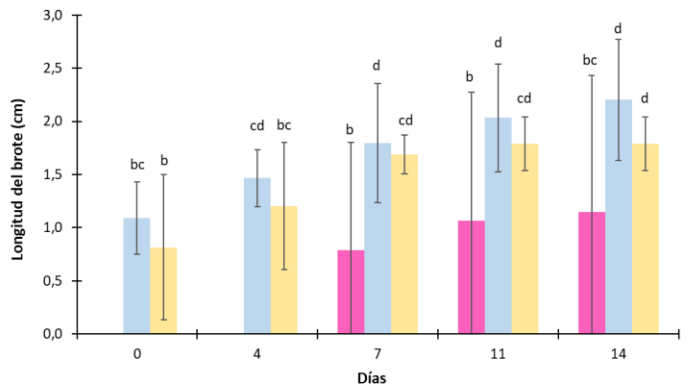
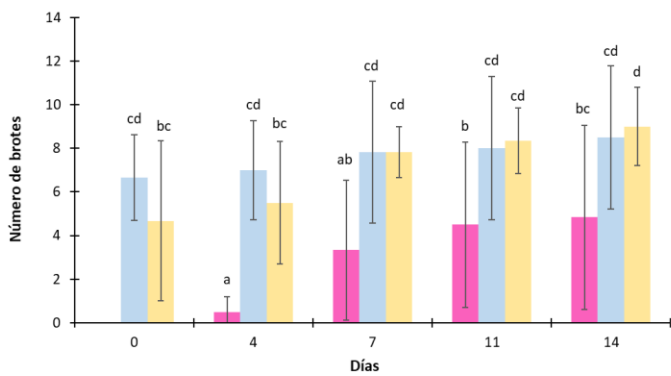
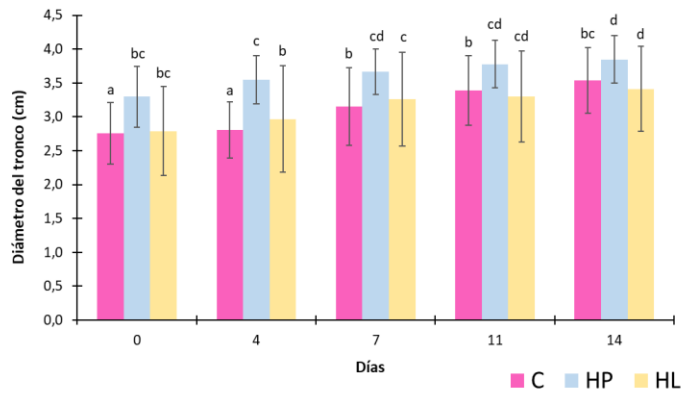


Figura 3. Evolución de los parámetros estudiados en campo en función de los abonos aplicados (■ control, ■ humato potásico y ■ humus de lombriz). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).

4.1.2 Maceta

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos en las medidas de desarrollo de las plantas cultivadas en maceta. A diferencia de lo comentado anteriormente, en este caso, en todos los parámetros analizados no se observaron diferencias significativas respecto a la aplicación o ausencia de abonado. Esto podría ser consecuencia de que el abonado en parcela se había realizado con 3.5 meses de antelación a la toma de muestras, mientras que en maceta se había hecho de forma simultánea al trasplante de los plántones e inicio de la recogida de datos. Además, las plantas de moringa de la parcela tenían un año de vida y las de la maceta aproximadamente 2 meses.

Por tanto, la edad de la planta y el tiempo de residencia del abonado podrían estar afectando a la velocidad de crecimiento. Además, la absorción del fertilizante por parte de la planta se realiza de forma más lenta en los abonos orgánicos en comparación con los sintéticos que liberan de forma mucho más rápida los nutrientes y los dejan más accesibles. Esta absorción lenta de los abonos orgánicos se fundamenta en la posesión de porcentajes más bajos de macronutrientes (NPK) (Enríquez, 2022). Por otra parte, el tiempo tuvo un efecto más significativo (mayor F-ratio) en la mayoría los parámetros analizados en comparación a los resultados en parcela, excepto para la longitud del brote y el número de ramificaciones/brote (Tabla 3).

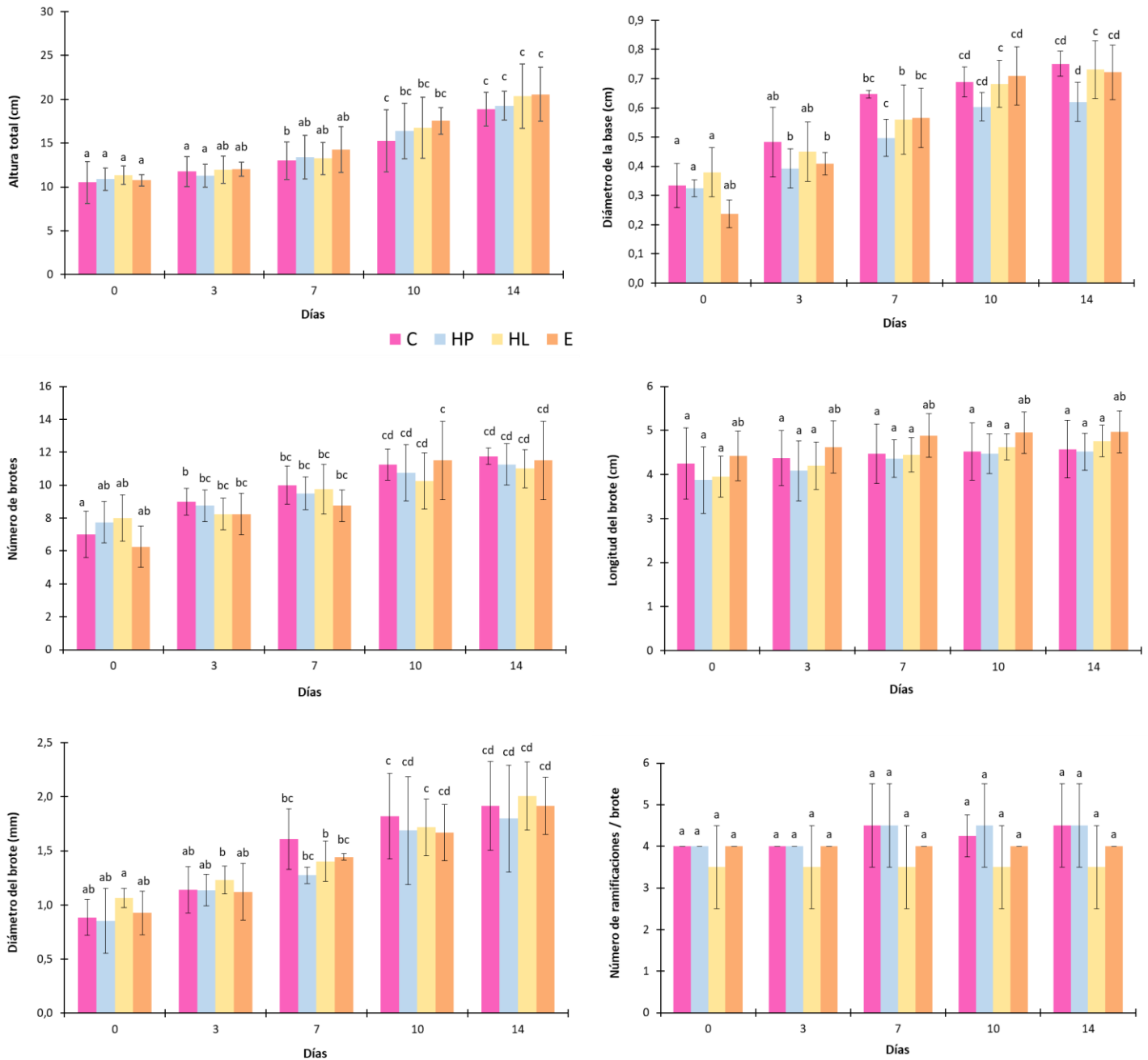


Figura 4. Evolución de los parámetros estudiados en maceta en función de los abonos aplicados (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).

A continuación, se muestra en la Tabla 3 un resumen con todos los parámetros analizados y los valores obtenidos de F-ratio tanto en maceta como en parcela obtenidos mediante un ANOVA multifactorial en el programa de análisis estadístico Statgraphics Centurión XVIII.64.

Tabla 3. Resumen F-Ratio del ANOVA. (Los valores con * indican n.s. del 95% y los que tienen ** indican n.s. del 99%).

Parámetro							
Tipo de plantación	Factor	Altura	D base	nº brotes	L brote	D brote	nº ramificaciones/brote
Maceta	Día (A)	40,96**	71,53**	24,25**	2,99*	32,80**	0,51
	Abono (B)	1	5,64**	0,57	2,98*	0,98	5,23*
	AB	0,16	1,07	0,63	0,1	0,29	0,19
Parcela	Día (A)	-	19,27**	4,15*	16,98**	23,39**	13,20**
	Abono (B)		38,03**	17,53**	37,54**	48,26**	46,44**
	AB		0,43	0,37	0,27	0,56	0,62

4.2 Caracterización de las hojas en macetas

Las hojas se recogieron de las macetas al final del estudio anterior para analizarlas tanto morfológicamente como composicionalmente en el laboratorio.

4.2.1 Tamaño

Tal y como puede observarse en la Figura 5, no se obtuvieron diferencias significativas por efecto del abonado en la dimensión longitudinal de la hoja. Por otro lado, sí que hubo una diferencia significativa en la dimensión transversal de las hojas de las plantas que fueron abonadas con estiércol caprino respecto a los otros tipos de abonados. No obstante, la anchura de las hojas de la moringa control (sin abonado) fue similar a la de las abonadas con estiércol, mientras que las plantas abonadas con humato potásico dieron lugar a las hojas menos anchas.

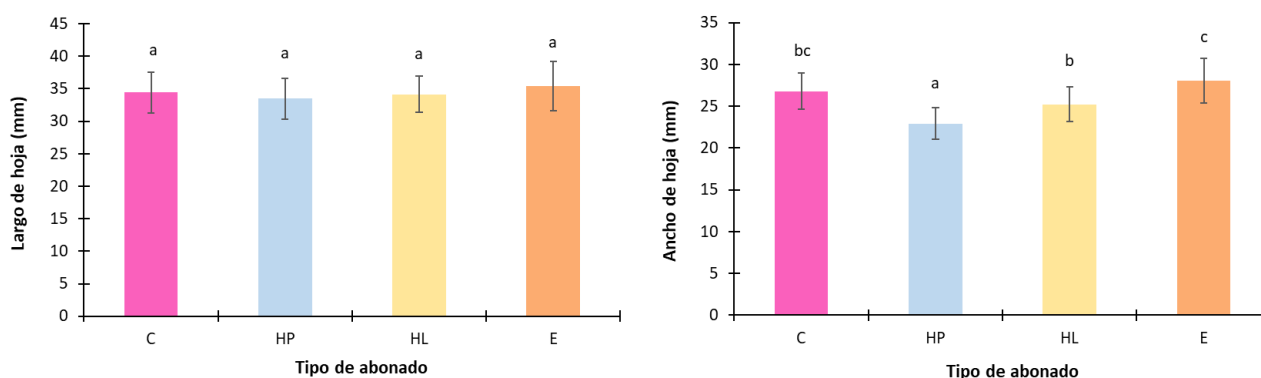


Figura 5. Largo y ancho en (mm) de las hojas de moringa dependiendo del tipo de abonado (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).

4.2.2 Humedad

Realizadas todas las medidas se llegó a la conclusión de que tanto las muestras control como las muestras abonadas con (HP, HL, E) obtuvieron humedades similares, siendo la media de $77.4 \pm 0.9\%$. Este valor es del mismo orden que los reportados en hojas de moringa frescas por otros autores (Caballero, 2021; Domínguez-liévano et al., 2021; Melon-Anticona, 2017).

4.2.3 Color

En la Figura 6, se puede observar el valor (L^*) que presentan las hojas tanto del haz como del envés dependiendo del abono empleado para su crecimiento en maceta. Como se aprecia, no hubo diferencias significativas en la luminosidad tanto en el haz como en el envés para los distintos tipos de abonado y el control. Por tanto, se concluye que el hecho de realizar abonados no tiene repercusiones en la luminosidad de las muestras.

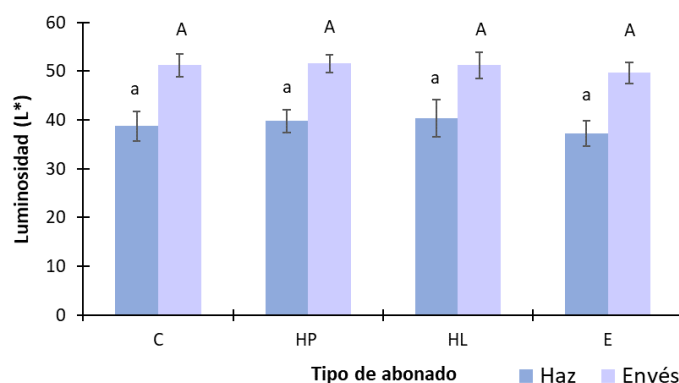


Figura 6. Luminosidad del haz y envés de las hojas frescas de moringa dependiendo del tipo de abonado (C: control, HP: humato potásico, HL: humus de lombriz y E: estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia $>95\%$).

En la Figura 7, se observa la representación en el diagrama cromático de las coordenadas a^* y b^* dependiendo del tipo de abonado empleado. Todos los datos se situaron sobre el segundo cuadrante (zona de verdes-amarillos). El efecto del abonado sólo supuso una coordenada a^* significativamente más pequeña ($p\text{-value}<0.05$) para el haz de las plantas con humato potásico (Tabla 4) y en consecuencia también una diferencia significativa en el cromatismo. Además, en el caso del humus de lombriz y estiércol caprino las diferencias de color entre el haz (H) y el envés (E) fueron muy marcadas y en las hojas control se siguió la misma tendencia, aunque menos acentuada. En cambio, las muestras abonadas con humato potásico no presentaron diferencias notables de color entre el haz y el envés. La coordenada de color b^* fue mayor en el haz de las hojas con humato potásico y menor en el haz de las abonadas con estiércol caprino. Los resultados obtenidos de las coordenadas cromáticas del espacio de color CIEL $*a^*b^*$ son coherentes con el color amarillo-verdoso observado en las hojas de moringa, debido a su riqueza en pigmentos naturales entre los que se encuentran los carotenoides como la luteína, α caroteno, β -caroteno y xantina, y en mayor cantidad la clorofila a y clorofila b (Vendrell, 2021).

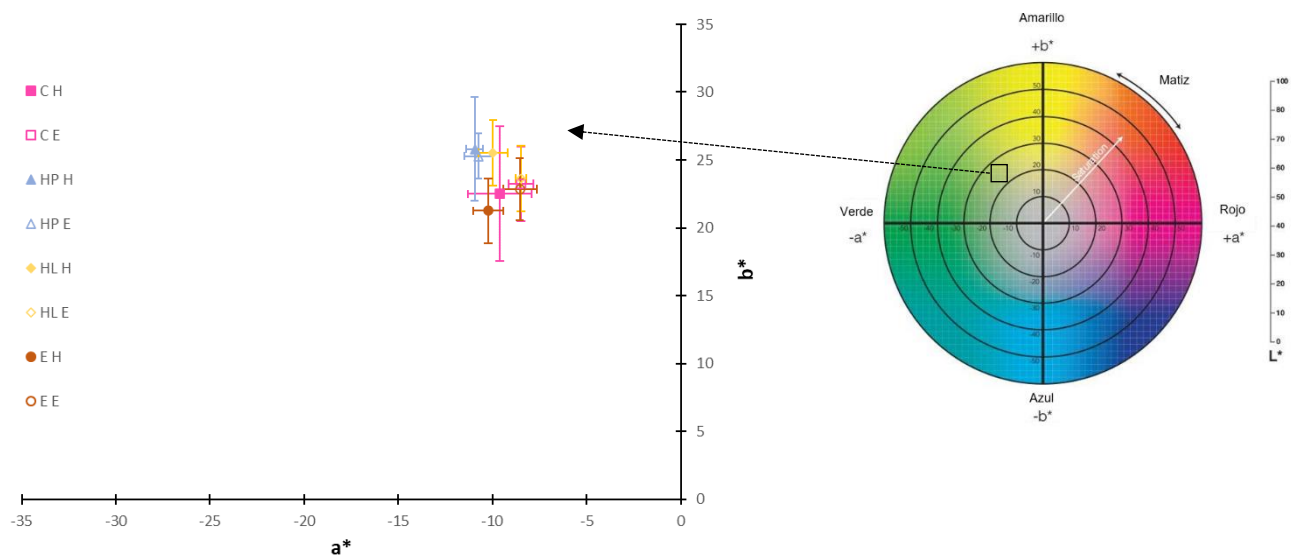


Figura 7. Variación de las coordenadas a^* y b^* de las hojas de moringa en función del tipo de abonado. (C: control, HP: humato potásico, HL: humus de lombriz y E: estiércol caprino). La H y la E que acompaña hace referencia al haz o al envés.

Tabla 4. Resumen de los F-ratio para cada parámetro de color. (El * indica que el P-value en el análisis estadístico es < 0.05).

	Parámetros	F-ratio
Haz	L*	1.73
	a*	3.05*
	b*	2.58
	C*	2.92*
	h	2.31
Envés	L*	1.33
	a*	2.32
	b*	2.62
	C*	2.88*
	h	0.32

4.2.4 Contenido en proteína

En la Figura 8 se muestra el porcentaje de proteína presente en las hojas frescas de moringa en función del abonado empleado. Como puede observarse, el contenido en proteína de las muestras control (sin abonado) fue ligeramente superior a las muestras abonadas, aunque sin diferencias significativas y con un valor medio de todos los casos de 6.59 ± 0.54 %. Los datos obtenidos entran dentro del rango de valores (5.5-9.4%) reportado por otros autores (Agudelo-Posada, 2020; De Souza Aranda, 2018; Dhakar et al., 2011; Gil-Zanón, 2020; Malavé, 2019; Quineche-Adrian et al., 2021). Comparando estos resultados con otros alimentos ricos en proteína como puede ser el yogurt, la hoja fresca de moringa es mucho más rica en proteínas, ya que este lácteo posee tan solo un 3,1% de proteína (Trigo, 2020).

En relación a las verduras consumidas por sus hojas verdes, la moringa duplica el contenido proteico de la acelga que tiene un 2,1% (Sıçan et al., 2021) o de la espinaca con un 2,9 % (Jyoti & Sangwan, 2022).

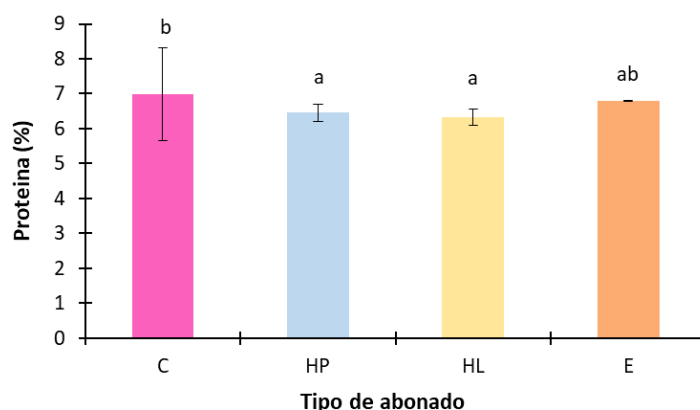


Figura 8. Porcentaje de proteína en hoja fresca de moringa dependiendo del tipo de abonado (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).

4.2.5 Perfil fenólico

En la Figura 9 se muestra la cantidad y los tipos de fenoles que se encontraron en las muestras de hojas frescas de moringa. Como puede verse, los componentes mayoritarios fueron la quercetina 3-glucósido y la epicatequina (flavonoides) y el 4-O cafeoilquínico (ácido hidroxicinámico). Los beneficios asociados a estos fenoles son los siguientes:

- **Quercetina 3-glucósido:** tiene efectos beneficiosos sobre el sistema cardiovascular. Además, también tiene propiedades antivirales (Schneider et al., 1999).
- **Epicatequina:** tiene efecto antioxidante al eliminar los radicales de oxígeno. Además, es importante para evitar la peroxidación lipídica, causante de cánceres (Terao et al., 1994).
- **4-O cafeoilquínico:** disminuye los niveles de glucosa, ya que mejora la sensibilidad a la insulina (Rodríguez-González, 2017).

En el caso de las hojas procedentes de plantas con humus de lombriz fue donde se obtuvo la mayor diversidad de compuestos fenólicos (8 en total) (Figura 9). En general, los fenoles registrados coinciden con los reportados por otros autores (Gómez-González, 2020; Lopez-Caicedo, 2019). Asimismo, los resultados ponen de manifiesto que el abonado no influye significativamente en el contenido fenólico (Tabla 5). Por otra parte, el contenido fenólico de las hojas frescas de moringa es superior, más variado y distinto al ofrecido por las vainas frescas de moringa. Varios fenoles encontrados en las hojas frescas tales como: ácido gálico, 4-O cafeoilquínico, quercetina 3-glucósido y quercitrina sólo aparecieron en las vainas tras sufrir un proceso de cocción (Sesé, 2022).

Comparando estos resultados con los fenoles encontrados en vegetales de hoja verde como es la achicoria, el contenido en ácido gálico de este producto (25.8 mg/100 g) es muy superior al de la moringa que tiene un valor aproximado de (1.5 mg/100 g). En esta línea, el contenido en quercetina 3-glucósido de la lechuga (0.37 mg/100 g) es muy inferior al obtenido en la moringa (73.3 mg/100 g). Del mismo modo, las acelgas tienen valores de ácido gálico ligeramente inferiores a la moringa (1.40 mg/100 g). En cambio, poseen valores superiores en 4-Hidroxibenzoico (4.7 mg/100 g) y en ácido ferúlico (8.1 mg/100 g) (Phenol Explorer, 2022).

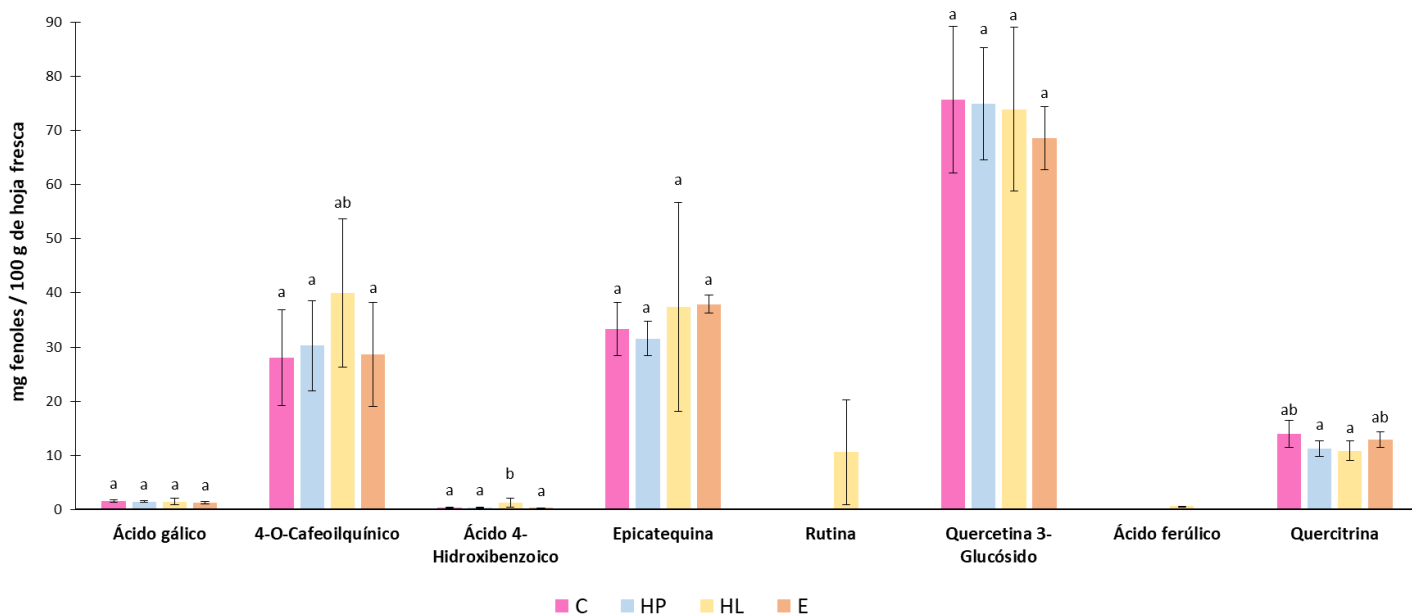


Figura 9. Contenido y comparación de los fenoles presentes (mg de fenoles / 100 g de hoja fresca de moringa) dependiendo del tipo de abonado (■ control, ■ humato potásico, ■ humus de lombriz y ■ estiércol caprino). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).

Tabla 5. Resumen de los F-ratio para los fenoles analizado en hojas frescas de moringa.

Parámetros	F-ratio	p-value
Ácido gálico	0.39	0.7646
4-O cafeoilquinico	0.88	0.4930
Ácido 4-hidroxibenzoico	3.49	0.0699
Epicatequina	0.28	0.8391
Quercetina 3-glucósido	0.22	0.8789
Quercitrina	1.91	0.2068

4.2.6 Contenido en vitamina C

Tal y como se muestra en la Figura 10, el contenido en vitamina C total no varió significativamente por el efecto de los distintos abonados (Tabla 6). Sin embargo, las hojas control alcanzaron valores más elevados de vitamina C total y de ácido ascórbico. Los resultados obtenidos de vitamina C total fueron ligeramente superiores a los reportados por (Abbas et al., 2018; Saint Sauveur & Broin, 2010; Trigo, 2020) con un rango comprendido entre 220 y 300 mg/100 g b.s.

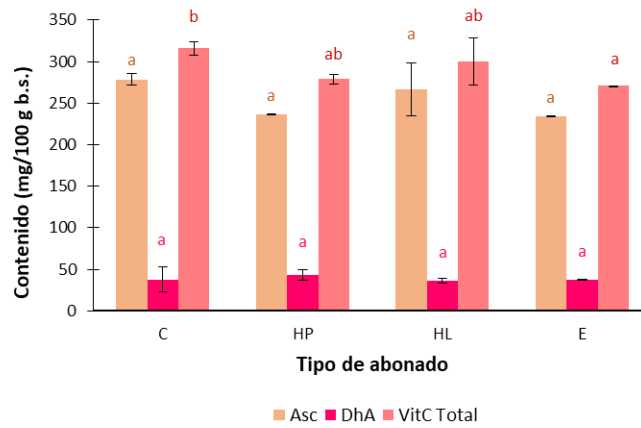


Figura 10. Contenido en vitamina C de las hojas frescas (mg / 100 g b.s.) dependiendo del tipo de abonado (C: control, HP: humato potásico, HL: humus de lombriz y E: estiércol caprino). (■ ácido ascórbico, ■ ácido dehidroascórbico y ■ vitamina C total). (Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia >95%).

Tabla 6. Resumen de los F-ratio para el ácido ascórbico (Asc), el dehidroascórbico (DhA) y la vitamina C total.

Parámetros	F-ratio	p-value
Asc	3.26	0.1416
DhA	3.53	0.1275
Vitamina C total	0.30	0.8271

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de abonos orgánicos favoreció el **crecimiento** de las diferentes partes de la moringa plantada en parcela, mientras que en maceta no se pudo observar un efecto claro por el reducido tiempo de residencia del abono en la tierra y por la edad de la planta.
- La **longitud** de las hojas no tuvo diferencias significativas entre los distintos tipos de abonado. En cambio, el estiércol caprino proporcionó mayor **anchura** de hoja.
- Tanto el **contenido en agua** ($77.4 \pm 0.9 \%$) como el de **proteínas** ($6.59 \pm 0.54 \%$) fue similar para las hojas procedentes de plantas con distintos tipos de abonado y las del control.
- En general, las coordenadas de **color** (CIEL*a*b*) no mostraron diferencias por el efecto del abonado.
- Destacan entre los **compuestos fenólicos** la quercetina 3-glucósido, la epicatequina y el 4-O cafeoilquínico en concentraciones superiores a las registradas en otras verduras de hoja verde como son las lechugas y las acelgas.
- Los diferentes abonos orgánicos tampoco afectaron al contenido en **vitamina C** de las hojas de moringa que se desglosó en ácido ascórbico ($248 \pm 23 \text{ mg}/100 \text{ g b.s.}$), ácido dehidroascórbico ($38 \pm 7 \text{ mg}/100 \text{ g b.s.}$) y vitamina C total ($286 \pm 22 \text{ mg}/100 \text{ g b.s.}$).

Por tanto, como conclusión final, no sería necesario aplicar ningún abonado de los estudiados (humato potásico, humus de lombriz y estiércol caprino) para el cultivo de la moringa ya que no presentaron diferencias frente al control (sin abonado). Esto puede resultar de especial interés a la hora de implantar este cultivo en campo, ya que además de necesitar pocos recursos hídricos y tener muy buenas propiedades nutricionales, no es indispensable fertilizar con estos abonos orgánicos estudiados para obtener resultados gratificantes en el cultivo y en sus propiedades. Asimismo, se reducirían los costes de mano de obra, se ahorraría en fertilizantes y se contribuiría a la mejora del medio ambiente.

6. REFERENCIAS

- Abbas, R., Seleman Elsharbasy, F., Abdalla Fadlelmula, A., Khalid Abbas, R., & Elsharbasy, F. S. (2018). Nutritional Values of Moringa oleifera, Total Protein, Amino Acid, Vitamins, Minerals, Carbohydrates, Total Fat and Crude Fiber, under the Semi-Arid Conditions of Sudan. *J Microb Biochem Technol*, 10(2), 56–58. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000396>
- Agudelo-Posada, L. (2020). *Empleo del polvo de hojas de Moringa Oleífera Lam como fortificante en un alimento enfocado a la población infantil colombiana menor de 4 años*. [Universidad Lasallista, Colombia]. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/2684>
- Antomarchi, A. B., Emérita, V., Calderón, C., Fabr e, T. B., & Gonz alez Gomez, G. (2015). Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) var. California Wonder. *Centro Agrícola*, 42(4), 2072–2001. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V42-Numero_4/cag01415.pdf
- Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., Arrigo, N., Rosa, , & Palma, M. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol Fertil Soils*, 37, 184–189. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0584-7>
- Caballero, J. D. (2021). *Efecto del seado sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la hoja de moringa (moringa oleifera)*. Universidad Nacional del Santa, Perú.
- Col n-Navarro, V., Domínguez-Vara, I. A., Olivares-Pérez, J., Castela n-Ortega, O. A., García-Martínez, A., & Avilés-Nova, F. (2019). Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje. *Agrociencia*, 53, 161–173. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1776>
- Condeso, B. B. (2020). *Estudio comparativo de abonos orgánicos y fertilizantes sintéticos en el rendimiento del híbrido de Brócoli Legacy (Brassica Oleracea Var. Italica)* [Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/5576>
- Davey, M. W., Van Montagu, M., Inz , D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Benzie, I. J., Strain, J. J., Favell, D., & Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Science of Food and Agriculture*, 8, 825–860. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7)
- De Souza Aranda, C. J. (2018). *Efecto De La Sustitución Parcial De Harina De Trigo (Triticum Aestivum), Por Harina De Moringa (Moringa Oleifera) En Las Características Fisicoquímicas Y Aceptabilidad General En Galletas*. Universidad César Vallejo.
- Delgado, J. M. C., Rodríguez, O. A. V., López, F. G., & Wassenaar, O. M. P. (2022). Agroecological potential of Moringa oleifera Lam. for the state of Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 42–63. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V13I70.1077>
- Dhakar, R., Pooniya, B., Gupta, M., Maurya, S., Bairwa, N., & Sanwarmal. (2011). Moringa : The herbal gold to combat malnutrition. *Chronicles of Young Scientists*, 2(3), 119. <https://doi.org/10.4103/2229-5186.90887>
- Domínguez-liévano, A., Espinosa-zaragoza, S., Tirado, R. R., & Wong-villarreal, A. (2021). Effect of storage on leaf bromatology and seed quality of Moringa oleifera Lam. *Revista Chapingo*, 1(December), 1–8. <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2021.02.01>
- Enríquez, G. (2022). Manual de buenas prácticas para la elaboración de abonos orgánicos. In *Instituto interamericano de cooperación para la agricultura*.
- Franch, J. (2015). *Evaluación t cnica y ambiental del vermicompostaje de estiércoles de ovino, caprino y conejo*. Universidad Polit cnica de Valencia.
- Gad, N., & Hassan, N. (2014). Response of Growth and Yield of Sweet Pepper (L.) To Cobalt Nutrition. *World Applied Sciences Journal*, 21(5), 760–765. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.21.5.2890>
- Gad, N., Sekara, A., & Abdelhamid, M. T. (2019). The Potential Role of Cobalt and/or Organic Fertilizers in Improving the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Moringa oleifera. *Agronomy 2019, Vol. 9, Page 862, 9(12)*, 862. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY9120862>
- García-Martínez, E., & Fernández-Segovia, I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravim trico indirecto por desecaci n*.

- Gardner, P. T., White, T. A. C., McPhail, D. B., & Duthie, G. G. (2000). The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*, 68(4), 471–474. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00225-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00225-3)
- Gavidia-Valencia, J. G., Venegas-Casanova, E., Ríos, M., Uribe-Villarreal, J. C., Gutiérrez-Mendoza, D. D., Rengifo-Penadillos, R. A., Jara-Aguilar, R., & Martínez, J. L. (2020). Factor conversión: nitrógeno a proteína. *AVFT*, 39(6), 1–3. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4404721>
- Gil-Zanón, F. (2020). *Caracterización de hojas de moringa y optimización del secado por aire caliente*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez-González, L. (2020). *Extracción de compuestos bioactivos de hoja de moringa*. Universidad de Burgos.
- Grasserová, A., Hanc, A., Innemanová, P., & Cajthaml, T. (2020). Composting and vermicomposting used to break down and remove pollutants from organic waste: A mini review. *European Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 9–14. <https://doi.org/10.14712/23361964.2020.2>
- Hwang, H. Y., Lee, S. M., Lee, C. R., & An, N. H. (2022). Addition of earthworm castings reduces gas emissions and improves compost quality in kitchen waste composting. *Applied Biological Chemistry* 2022 65:1, 65(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S13765-022-00692-Z>
- Italo, A. C. (2021). *Aplicación de fulvatos-humatos de potasio como complemento a la nutrición del cultivo de banano (Musa AAA)*. Universidad Agraria de Ecuador.
- Jyoti, S., & Sangwan, V. (2022). Nutritional composition and sensory characteristics of Burfi supplemented with spinach leaves powder. *The Pharma Innovation*, 4, 766–770. <http://www.thepharmajournal.com>
- Kumar, D., Singh, A. P., Raha, P., Rakshit, A., Singh, C. M., & Kishor, P. (2013). Potassium Humate: A Potential Soil Conditioner and Plant Growth Promoter. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 6(3), 441–446. <https://doi.org/10.5958/j.2230-732X.6.3.015>
- Kumar, R., Sharma, P., Gupta, R. K., Kumar, S., Sharma, M. M. M., Singh, S., & Pradhan, G. (2020). Earthworms for Eco-friendly Resource Efficient Agriculture. *Resources Use Efficiency in Agriculture*, 47–84. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_2
- Lopez-Caicedo, L. H. (2019). *Caracterización química y nutracéutica de la fracción no digerible de hojas de moringa (Moringa oleifera) y su efecto en el perfil citotóxico de células de cáncer de colon humano HT29*. Universidad autónoma de Querétaro.
- Lykkesfeldt, J., Christen, S., & Wallock, L. (2000). Ascorbate is depleted by smoking and repleted by moderate supplementation: a study in male smokers and nonsmokers with matched dietary antioxidant intakes. *Academic.Oup.Com*, 71, 530–536. <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/71/2/530/4729195>
- Malavé, M. P. (2019). *Calidad nutricional de la moringa; Moringa oleifera Lam, en las condiciones ambientales de la parroquia Manglaralto*. [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4988>
- Melon-Anticona, S. I. (2017). *Caracterización fisicoquímica de la moringa (moringa oleifera)*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Milla, P. G., Peñalver, R., & Nieto, G. (2021). Health Benefits of Uses and Applications of Moringa oleifera in Bakery Products. *Plants* 2021, Vol. 10, Page 318, 10(2), 318. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10020318>
- Neri, J. C., Oclocho, F. E., Huamán, E., & Collazos, R. (2017). Influencia de la aplicación de biopreparados en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(2), 32. <https://doi.org/10.25127/aps.20172.360>
- PanReac. (2021). *Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl*.
- Quineche-Adrian, U., Salirrosas-Zapata, S., & Paucar-Menacho, L. M. (2021). *Moringa oleifera: Uses of leaves and seeds in the food industry*. 2(1), 147–154.
- Rodríguez-González, S. (2017). *Efecto antiobesogénico del subproducto de durazno y la biodisponibilidad de sus compuestos fitoquímicos* [Universidad Autónoma de Querétaro. México]. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1177/1/RI007610.pdf>

- Ruiz, J. H. (2021). *Avances analíticos para la mejora de la información sobre seguridad de aceites vegetales y otros productos alimentarios vegetales de alto contenido graso* [Universidad Politécnica de Valencia]. <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/12092/01.Tesis.pdf.pdf?sequence=1>
- Saint Sauveur, A. D., & Broin, M. (2010). Growing and processing moringa leaves. *Moringa Association of Ghana*, 1–36.
- 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 & Biology*, 19, 1293–1300. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0465>
- Schneider, H., Schwiertz, A., David, M., & Blaut, M. (1999). *Anaerobic transformation of quercetin 3-glucoside by bacteria from the human intestinal tract*.
- Sesé, T. (2022). *Aprovechamiento de vainas de moringa para alimentación y propuesta de una instalación de refrigeración-congelación*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., & Valani, D. (2010). The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers. *Agricultural Sciences*, 01(02), 76–94. <https://doi.org/10.4236/AS.2010.12011>
- Sıçan, D., Pazi, K., Glikoprotein, E., Ve İleri, B., Protein, O., Seviyeleri, Ü., Koruyucu, Ü., Ertik, E. O., Sacan, O., Kabasakal, L., Sener, G., & Yanardag, R. (2021). Protective Effect of Chard Extract on Glycoprotein Compounds and Advanced Oxidation Protein Product Levels in Diabetic Rat Livers. *Experimed*, 11(1), 27–32. <https://doi.org/10.26650/experimed.2021.879204>
- Soto, S. A. (2017). *Evaluación del efecto de dos dosis de tres fuentes de abono orgánico sobre el rendimiento de follaje de moringa (Moringa oleifera Lam)* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8263/>
- Terao, J., Piskula, M., & Yao, Q. (1994). Protective Effect of Epicatechin, Epicatechin Gallate, and Quercetin on Lipid Peroxidation in Phospholipid Bilayers. In *Archives of Biochemistry and Biophysics* (Vol. 308, Issue 1, pp. 278–284). <https://doi.org/10.1006/abbi.1994.1039>
- Thomas, E., Prabha, V. S., Kurien, V. T., & Thomas, A. P. (2020). The potential of earthworms in soil carbon storage: a review. *Environmental and Experimental Biology*, 18(2), 61–75. <https://doi.org/10.22364/eeb.18.06>
- Tortosa, G., Albuquerque, J. A., Ait-Baddi, G., & Cegarra, J. (2012). The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two-phase olive mill waste ("alperujo"). *Journal of Cleaner Production*, 26, 48–55. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2011.12.008>
- Trigo, C. (2020). *Potencialidad de la hoja de Moringa (Moringa oleifera) como ingrediente alimentario*. 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(1), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods10010031>
- Vendrell, S. (2021). *Enriquecimiento proteico y antioxidante de galletas con polvo de hojas secas de moringa y aceptación sensorial Enriquecimiento proteico y antioxidante de galletas con polvo de hojas secas de Moringa oleifera y aceptación sensorial*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Yahuara, L. Y. (2019). *Apreciación e interés de la población por el uso de abonos orgánicos* [Universidad de Lambayeque]. <https://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/241>
- Zambrano, A., Rivero, C., Paolini, J., & Contreras, F. (2013). Evaluación de la estabilidad química de enmiendas orgánicas a través de la mineralización de carbono Evaluation of the chemical stability of organic amendment through the mineralization of carbon. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 30, 242–265.