



UNIVERSIDAD DE MATANZAS

“Camilo Cienfuegos”

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MÁSTER EN PASTOS Y
FORRAJES

**Efecto del IHPLUS® BF mezclado con biofermentados
enriquecidos con minerales en *Morus alba* (L). var. yu-12
en vivero**

Autor: Lic. Aramís Soto Díaz

Tutores: Dra. C. Gertrudis Pentón Fernández

Dr. C. Jesús Manuel Iglesias Gómez

Dra. C. Gabriela Rodríguez Licea

2024

RESUMEN

En la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey se realizaron estudios para determinar las características de diferentes biofermentados minerales con IHPLUS® BF y, su efecto como fertilizante, en la supervivencia y crecimiento de la morera *Morus alba*(L.)var. Yu-12, sembrada en fase de vivero.

Se utilizaron seis tratamientos, basados en biofermentados de excretas de vaca e IHPLUS® BF, enriquecidos con minerales. Se evaluaron las características físico-químicas de los biofermentados, así como la morfofisiología de las plantas. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con 15 repeticiones por tratamiento y, el procesamiento estadístico, se realizó con Infostat 2008.

Los resultados mostraron que los biofermentados minerales presentaron un pH ácido-neutro y alto potencial redox, sus disoluciones mantuvieron altas conductividades, sólidos solubles, nitrógeno y potasio. En vivero, el fermentado con fórmula NPK promovió los mejores indicadores fisiológicos del metabolismo primario, mientras que los tratamientos con zeolita, mezcla, calcio y fórmula NPK lograron altos niveles de supervivencia. Los de urea y fórmula NPK indujeron mayor biomasa aérea, radical y longitud radicular. Se hallaron correlaciones significativas entre parámetros físico-químicos de los biofermentados y las características morfofisiológicas de las plantas. De los resultados expuestos se concluye que, los biofermentados evaluados se distinguieron por presentar valores adecuados de pH y potencial redox para su uso, alta conductividad eléctrica y contenidos elevados de nitrógeno amoniacal y potasio. El biofermentado de NPK y

la mezcla fueron los que mejor determinaron la supervivencia y las características morfofisiológicas de la morera en condiciones de vivero.

ÍNDICE GENERAL	
AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA CIENTÍFICO:.....	3
HIPÓTESIS DE TRABAJO:	3
OBJETIVO GENERAL:	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.1. Los biofertilizantes.	5
1.1.1. Tipos de Biofertilizantes.....	7
1.1.2. Ventajas y desventajas de los biofertilizantes	8
1.1.3. Biofertilizantes enriquecidos con minerales.....	9
1.1.4. El IHPLUS® BF	11
1.1.5. El compostaje	13
1.1.6. El biocarbón.....	14
1.2. El estiércol del ganado en la obtención de biofertilizantes.....	16
1.2.1. Las excretas como fuente de nutrientes para las plantas.....	17
1.2.2. La digestión anaeróbica en la obtención de los biofermentados	17
1.3. La morera <i>Morus alba</i> L.	18
1.3.1. Hábitat y distribución	19
1.3.2. Introducción y variedades de <i>Morus alba</i> L. en Cuba.....	20
1.3.3. Factores que afectan el crecimiento y desarrollo de <i>M. alba</i> L.....	21
1.3.4. Indicadores agroquímicos del suelo para el cultivo de la morera	22
1.3.5. Siembra en vivero.....	27
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1. Localización	29
2.2. Condiciones climáticas	29
2.3. Recursos fitogenéticos, orgánicos y minerales empleados:	29
2.4. Procedimiento experimental	30
2.4.1. Fabricación de biocarbón	30
2.4.2. Fabricación del Compost.....	30
2.4.3. Elaboración de los biofermentados minerales	31

2.4.4. Elaboración del sustrato	33
2.5. Tratamientos	33
2.5.1. Caracterización físico-química de los fermentados minerales, del IHPLUS® BF y de las soluciones preparadas para el riego.	34
2.5.2. Estudio de las características morfofisiológicas de la morera (<i>Morus alba</i> L.)	37
2.6. Procesamiento estadístico	39
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
3.1 Caracterización físico-química de los biofermentados minerales, del IHPLUS® BF y de las soluciones preparadas para el riego.	41
3.1.1. Caracterización de los biofermentados.....	41
3.1.2. Caracterización de las soluciones para el riego	47
3.2. Respuesta de las plantas en vivero a los fermentados minerales	49
3.2.1. Respuesta de la emisión de los brotes y hojas.....	49
3.2.3. Respuesta de las características fisiológicas	53
3.2.4. Supervivencia	57
3.2.5. Respuesta de las características morfológicas.....	59
3.3. Correlación de los indicadores de la composición química de los biofermentados y sus disoluciones con algunas características morfológicas...	62
CONCLUSIONES:	71
RECOMENDACIONES:	72
NOVEDAD CIENTÍFICA:	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	74

INTRODUCCIÓN

El interés en el desarrollo y uso de insumos agrícolas de base biológica ha aumentado significativamente a nivel mundial, especialmente en América Latina. Esto se debe principalmente a la vulnerabilidad derivada de la alta dependencia de la importación de fertilizantes químicos, así como a las crecientes preocupaciones sobre los impactos del uso excesivo de estos insumos en la agricultura (Aramendis *et al.*, 2023).

Los agroecosistemas dedicados a la actividad agropecuaria enfrentan diversos desafíos relacionados con la interacción suelo-planta-animal, como el cambio climático, la calidad físico-química del suelo, la biodiversidad y la nutrición de las plantas. Ante estos desafíos, el uso de insumos agrícolas de base biológica se ha posicionado como una alternativa promisoría. Los bioproductos, estimuladores de crecimiento y soluciones microbianas y celulares han demostrado ser eficaces para mejorar la fertilidad y actividad biológica del suelo, así como aumentar la productividad de los cultivos (González *et al.*, 2021).

En el cultivo de la morera *Morus alba* (L.), se aplican grandes cantidades de fertilizantes químicos para satisfacer su demanda productiva. Sin embargo, la aplicación continua de fertilizantes y pesticidas puede tener consecuencias negativas como la disminución de la materia orgánica, la compactación del suelo y la degradación general de su calidad (Shashidhar *et al.*, 2009). Por otro lado se conoce que la combinación de fertilizantes químicos con biofertilizantes de origen orgánico puede contribuir a la sostenibilidad del cultivo (Noda *et al.*, 2013).

También se ha destacado la importancia de evaluar prácticas agroecológicas de manejo de la nutrición, como el uso de biofertilizantes, para reducir la dependencia de altas cantidades de fertilizantes químicos en el cultivo de la morera (Pentón-Fernández *et al.*, 2017). En este sentido, el uso de biofertilizantes enriquecidos con sales minerales puede ofrecer beneficios para las plantas, ya que estos nutrientes esenciales son absorbidos de manera directa, lo que puede mejorar el rendimiento de los cultivos (González, 2021).

En la búsqueda de soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, el uso de biofermentados de estiércol vacuno ha ganado reconocimiento en la agricultura. Estos biofermentados, también conocidos como abonos líquidos o bioles, son ricos en energía y minerales y se fabrican a partir de estiércol, melaza, microorganismos benéficos y agua. Se someten a un proceso de fermentación antes de ser aplicados en los cultivos, principalmente vía foliar (Uribe *et al.*, 2004).

Además, la práctica de enriquecer estos biofermentados con polvos de rocas, cenizas o minerales promueve la disponibilidad de nutrientes esenciales, mejorando su calidad y efecto beneficioso en los cultivos (Restrepo, 2007). Bajo este marco, el uso del IHPLUS® BF, un bioproducto obtenido a partir de microorganismos eficientes, contribuye a la conversión de residuos orgánicos en un recurso valioso y mejora la calidad del suelo, el crecimiento de las plantas y reduce el impacto ambiental de la agricultura (Pentón Fernández *et al.*, 2023).

En el caso específico de la propagación de la morera por estacas, se han observado limitaciones en términos de supervivencia, multiplicación y

enraizamiento, lo que dificulta su propagación con fines productivos (Castro y Orozco, 2011).

Bajo estos antecedentes, la combinación de IHPLUS® BF y minerales fermentados, como estimulantes del crecimiento, con un sustrato basado en tierra, compost y biocarbón podría generar un ambiente óptimo para el desarrollo de la morera en condiciones de vivero. En este contexto, el presente estudio evalúa el efecto de biofertilizantes enriquecidos con minerales obtenidos mediante fermentación anaerobia de excretas bovinas en la supervivencia y crecimiento de *M. alba* (L.) bajo estas condiciones.

Para el desarrollo de la investigación se parte del siguiente problema científico:

PROBLEMA CIENTÍFICO:

Se desconoce si al aplicar IHPLUS® BF, mezclado con biofermentados de excreta de vaca enriquecidos con minerales, en estacas de morera en condiciones de vivero, mejoran sus indicadores morfofisiológicos.

HIPÓTESIS DE TRABAJO:

La aplicación de IHPLUS® BF, mezclado con biofermentados de excreta de vaca enriquecidos con minerales, se visualiza como una opción para la fertilización de estacas de *Morus alba* (L.) var. yu-12, lo que permitiría mejorar las características morfológicas y fisiológicas de las plantas.

OBJETIVO GENERAL:

Determinar el efecto del IHPLUS® BF, mezclado con biofermentados de excreta de vaca enriquecidos con minerales, en las características morfológicas y fisiológicas de estacas de *Morus alba* (L.) var. Yu-12 en condiciones de vivero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Caracterizar las propiedades físico-químicas del IHPLUS® BF, mezclado con biofermentados de excretas de vaca enriquecidos con minerales, elaborado para la fertilización de estacas de morera en vivero.
2. Evaluar el efecto del IHPLUS® BF, mezclado con biofermentados de excretas de vaca enriquecidos con minerales en la morfofisiología de las estacas de morera en condiciones de vivero.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Los biofertilizantes.

Los organismos de diferentes especies que coexisten en un hábitat o ecosistema específico interactúan entre sí y con el medio ambiente, formando una red compleja de relaciones tróficas, competencia, simbiosis y otros tipos de interacciones claves para su funcionamiento y respuesta a los cambios ambientales (Mishin, 2022). Ejemplo de ello es la biocenosis del suelo, donde diferentes especies de microorganismos, hongos, nemátodos y otros organismos interactúan para descomponer la materia orgánica y liberar nutrientes para las plantas (Sosedova y Novikov, 2020).

Es necesario que las especies vegetales reciban una serie de nutrientes esenciales para que se desarrollen y crezcan de manera óptima. Aunque los fertilizantes químicos pueden ser una solución rápida, su uso excesivo y continuado ha demostrado tener un impacto negativo en el medio ambiente, especialmente cuando llegan sustancias residuales a los ríos y mares, causando desequilibrios ecológicos. En este sentido, los biofertilizantes, bioestimulantes y bioabonos son más amigables con el medio ambiente y garantizarían mayor sostenibilidad de la actividad agrícola (Ballal *et al.*, 2023).

La historia del surgimiento de los abonos orgánicos se remonta a la antigüedad, cuando los agricultores utilizaban estiércol y otros materiales orgánicos para fertilizar sus cultivos (Grageda-Cabrera *et al.*, 2018). Sin embargo, el uso de abonos químicos se popularizó en el siglo XX, lo que provocó la degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad (Bertomeu-Sánchez, 2019). A partir de los años 70, se empezó a investigar sobre la elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes, como una alternativa más responsable (Basmal *et al.*, 2023).

Los biofertilizantes son sustancias que contienen una variedad de microorganismos con capacidad para mejorar la absorción de nutrientes de las plantas, al colonizar la rizosfera y hacer que sean fácilmente accesibles para sus raíces. Son bien conocidos por su rentabilidad, su naturaleza respetuosa con el medio ambiente y su composición (Dasgupta *et al.*, 2021).

Estos productos se definen como cepas de microorganismos eficientes aislados, que ayudan a las plantas a crecer de diversas formas, tanto directa como indirectamente (Ganesh *et al.*, 2022). Estos juegan un papel clave en el aumento del rendimiento de los cultivos y el mantenimiento de la fertilidad a largo plazo, lo cual es esencial para satisfacer la demanda mundial de alimentos (Nosheen *et al.*, 2021).

Algunos de los métodos directos, en los que los biofertilizantes ayudan a las plantas a crecer, incluyen la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización y la movilización de fosfatos, la generación de sideróforos y la producción de fitohormonas (Ganesh, 2022). Además, su presencia en el suelo y en la fitocenosis

garantiza los ciclos de nutrientes y la estabilidad de los ecosistemas (Carrillo Martínez *et al.*, 2022).

Es importante tener en cuenta que la eficacia de los biofertilizantes depende de varios factores, como el método de aplicación, las características edafoclimáticas y las especies vegetales presentes en el lugar. Por lo tanto, es esencial seleccionar el tipo y el método de aplicación adecuados para el cultivo específico y las condiciones del suelo para lograr los resultados deseados (Padjung *et al.*, 2021).

1.1.1. Tipos de Biofertilizantes

Existen diferentes tipos de biofertilizantes, cada uno con funciones y beneficios específicos. Algunos de los tipos más comunes incluyen:

Biofertilizantes fijadores de nitrógeno: contienen bacterias simbióticas o de vida libre, como el *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum* (Oyebamiji *et al.*, 2019), que convierten el nitrógeno atmosférico N₂ en formas asimilables para las plantas.

Biofertilizantes solubilizadores de fosfato: contienen bacterias que solubilizan el fósforo insoluble, a través de la segregación de sustancias que modifican el pH de la rizosfera, haciendo más disponible el fósforo para la absorción de las plantas. Algunas de estas bacterias son *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens* (Rabade *et al.*, 2022).

Biofertilizantes micorrícicos: contienen hongos formadores de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), que forman una relación simbiótica con las raíces de las plantas y, a través de sus hifas acceden, mejorando la absorción de nutrientes, en particular el fósforo, lo que incrementa el crecimiento de las plantas y su resistencia al estrés (Oyebamiji, 2019). Las esporas de estos hongos aparecen,

con frecuencia, asociadas con microorganismos benéficos fijadores de nitrógeno o solubilizadores de fósforo y potasio (Rayo Sánchez y Avellaneda-Torres, 2022).

Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB): contienen bacterias que promueven el crecimiento de las plantas, a través de diferentes mecanismos, como la producción de hormonas vegetales y la protección contra patógenos. Algunas de estas bacterias son *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida* y *Bacillus subtilis* (Gautam *et al.*, 2021).

Microorganismos eficientes o benéficos (EM): Estos microorganismos forman un conjunto que incluye bacterias fototrópicas, promotoras del crecimiento de las plantas, hongos y actinomicetos, capaces de cohabitar en un medio común, en condiciones de anaerobiosis y pH controlado. La aplicación de compost, bokashi y microorganismos eficientes ha mostrado efectos positivos en el crecimiento y la producción de cultivos sucesivos. Además, se ha demostrado que los EM pueden restablecer el equilibrio microbiológico del suelo, mejorar sus condiciones físico-químicas e incrementar la producción de los cultivos, promoviendo una agricultura y un medio ambiente más sostenible (Díaz Solares *et al.*, 2020).

1.1.2. Ventajas y desventajas de los biofertilizantes

Estos bioproductos ofrecen una opción diferente a los fertilizantes químicos, presentando, tanto beneficios como desafíos, en comparación con las opciones convencionales.

Ventajas:

Son más amigables con el medio ambiente, ya que no contienen químicos sintéticos que pueden ser dañinos para la salud humana y el ecosistema.

Aumentan el rendimiento y calidad de la biomasa producida. Ayudan a mejorar la calidad del suelo, ya que contienen microorganismos que pueden fijar el nitrógeno y otros nutrientes en el suelo, lo que puede mejorar la fertilidad a largo plazo. Son más económicos, ya que se pueden producir localmente y no requieren de procesos de fabricación costosos (Palma-Ramos *et al.*, 2022; Lesme Ascurra *et al.*, 2023).

Desventajas:

Tienen una menor concentración de nutrientes que los fertilizantes químicos, lo que puede requerir una mayor cantidad para obtener los mismos resultados (Castillo Martínez, 2018). Estos pueden ser menos efectivos en su aplicación, ya que los microorganismos pueden ser sensibles a las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad (Alarcon Camacho *et al.*, 2020). Además, pueden requerir un mayor tiempo de aplicación para ver resultados, pues los microorganismos necesitan tiempo para establecerse en el suelo y fijar nutrientes (Beltrán-Pineda y Bernal-Figueroa, 2022).

1.1.3. Biofertilizantes enriquecidos con minerales

Se ha encontrado y, es práctica habitual de algunos productores de las regiones de América Latina, el uso de biofertilizantes enriquecidos con minerales, como opción sustentable para incrementar la producción de cultivos. Estos sustratos orgánico-minerales proporcionan condiciones de humedad, aireación y nutrición adecuadas para las plantas (Restrepo, 2001).

Estos abonos líquidos, definidos por Restrepo y Hensel (2013) como productos ricos en energía y en armonía mineral, se elaboran a partir de excremento de vaca

fresca disuelto en agua y enriquecido con suero o leche, ceniza o fosfitos y melaza. La fermentación anaerobia, en toneles o tanques de plástico durante varios días, permite la producción de estos biofertilizantes, que a menudo se enriquecen con harina de rocas molidas, o sales minerales como sulfatos de magnesio, zinc, cobre, entre otros.

Existen diversos métodos para producir los biofertilizantes enriquecidos. Algunos de ellos se elaboran de manera natural, incorporando material orgánico como estiércol, compost o residuos vegetales, y luego enriqueciéndolos con sales minerales adicionales (Wong Arguelles *et al.*, 2023). También hay productos comerciales que contienen una mezcla de microorganismos benéficos y nutrientes minerales. La fabricación de estos biofertilizantes puede variar en tiempo y proceso, dependiendo de los ingredientes utilizados y la tecnología empleada (García, 2017).

Numerosos estudios e investigaciones han explorado la eficacia de los biofertilizantes enriquecidos y su impacto en el crecimiento de las plantas y el contenido de nutrientes. Por ejemplo, Zhang *et al.* (2021) utilizaron un método de dos etapas para enriquecer un biofertilizante de bacterias oxidantes de hidrógeno (BOH), específicamente con nitrato como fuente de nitrógeno en una primera etapa y, luego, 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) como fuente de nitrógeno en una segunda etapa. Descubrieron que el BOH enriquecido de la Etapa 2 mostró actividad ACC desaminasa, además de poder fijar dinitrógeno N_2 y consumir fosfato de calcio $Ca_3(PO_4)_2$. Este método de dos etapas puede ser

utilizado como un enriquecimiento específico para BOH como biofertilizantes, lo que amplía su aplicación en la agricultura.

Maçik *et al.* (2020) llevaron a cabo un experimento de campo para evaluar el efecto del fertilizante fosforado, enriquecido con cepas bacterianas, en dos tipos de suelos degradados químicamente. Los resultados mostraron que la aplicación de este fertilizante mejoró la actividad enzimática y la diversidad genética y funcional de las comunidades microbianas del suelo. Sin embargo, estos efectos fueron diferentes según el tipo de suelo. Vargas *et al.* (2020) realizaron una investigación en dos fincas en Colombia para evaluar el efecto del abono orgánico líquido mineralizado (A.L.O.F.A.) en el cultivo de morera. Se evaluó la altura de la planta, biomasa, peso de hojas, peso de tallos, relación peso hojas/peso tallos, rendimiento de hojas y calidad nutricional de las hojas. En una de las fincas, “La Sultana”, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, mientras que, en “El Madroño”, los tratamientos sí presentaron diferencia estadísticamente significativa y el mejor tratamiento fue la inoculación con inoculante micorrícico (IM) y A.L.O.F.A. al 5%. El A.L.O.F.A. aporta los elementos esenciales para la nutrición de las plantas, siendo un suplemento eficiente, económico y amigable con el medio ambiente.

1.1.4. EI IHPLUS® BF

El IHPLUS® BF es un bioproducto comercial que se elabora a partir de una mezcla de microorganismos eficientes nativos obtenidos de la hojarasca de los estratos bajos de los bosques menos afectados por la explotación humana (Díaz Solares, 2020). Esta tecnología consiste en introducir un grupo de microorganismos

benéficos en el suelo para mejorar su condición, suprimir los microorganismos putrefactivos y mejorar la eficacia en la utilización de la materia orgánica en los suelos (Higa y Parr, 1994).

Los microorganismos presentes en el IHPLUS® BF son fisiológicamente compatibles y mutuamente complementarios, coexisten en equilibrio en un cultivo líquido y pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana de suelos y plantas. Su potencial biofertilizante está dado por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar nutrientes insolubles como fosfato, descomponer residuos orgánicos, suprimir el crecimiento de patógenos del suelo, degradar tóxicos como pesticidas, reciclar e incrementar la disponibilidad de nutrientes y producir antibióticos y otras moléculas orgánicas simples que estimulan el crecimiento de las plantas (Pentón Fernández *et al.*, 2021).

El IHPLUS® BF puede ser utilizado en la agricultura en la germinación de semillas y es una alternativa para eliminar problemas asociados con el uso de fertilizantes químicos y pesticidas. Es importante destacar que esta tecnología no sustituyen el accionar de una buena práctica agroecológica de manejo para los sistemas integrados, sin embargo, adicionan una nueva dimensión en la optimización para en el uso de los suelos, en el manejo de los residuales, la rotación de cultivos, la utilización de aditivos orgánicos, la conservación en forma de ensilajes, el reciclaje de los residuos de cosechas y de biocontroles para el tratamiento de plagas (Díaz Solares, 2020).

1.1.5. El compostaje

El compost es un abono orgánico, obtenido a partir de la descomposición controlada de residuos biodegradables de una gran variedad de materiales, como restos de alimentos, plantas, hojas, recortes de césped y estiércol. Este proceso es llevado a cabo gracias a la actividad de microorganismos específicos, principalmente bacterias y hongos, que transforman los residuos orgánicos en este producto (Montero Ramirez, 2019). Además, el proceso de compostaje también puede incluir la utilización de lombrices, lo que se conoce como vermicompostaje (Aguirre Jiménez *et al.*, 2022).

La elaboración del compost se lleva a cabo mediante un proceso controlado que requiere oxígeno, humedad y calor. Como resultado, se obtiene una materia orgánica, estabilizada, que puede utilizarse como enmienda del suelo (Zink Pohlhammer, 2022), y contribuye al aumento de esta en los terrenos agrícolas. El compost aporta nutrientes para mantenerlos disponibles y mejora la salud del suelo, lo que promueve la actividad microbiana y la formación de agregados estables (Medina Ruela, 2020). Esto, a su vez, mejora la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua, su resistencia a la sequía y, por ende, promueve un mejor crecimiento de los cultivos, en el contexto de una agricultura sostenible (Ramirez Aliaga *et al.*, 2017). Además, el compostaje reduce la necesidad de fertilizantes y pesticidas químicos, lo que puede tener efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana (Juárez Lucas *et al.*, 2021).

El compostaje también tiene importantes beneficios ambientales. Por un lado, reduce los desechos, al desviar materiales orgánicos de los vertederos, donde de

otro modo, a partir de la fermentación anaeróbica, generarían metano, un potente gas de efecto invernadero (Vitti *et al.*, 2021). El proceso de compostaje se realiza en condiciones aeróbicas, por lo que no produce metano, pero sí dióxido de carbono, el cual es también un gas de efecto invernadero, pero 21 veces menos contaminante que el metano. Por otro lado, contribuye a mejorar la calidad del aire que respiramos, reduciendo la quema de basura que produce humo, cenizas y productos tóxicos en la atmósfera, a prevenir la erosión del suelo y reducir la contaminación del agua, mediante la promoción de prácticas agrícolas sostenibles (Uliarte *et al.*, 2019). Al reducir la necesidad de fertilizantes y pesticidas químicos, también puede contribuir a la protección de la biodiversidad y la preservación de los ecosistemas naturales (Bernal, 2009).

1.1.6. El biocarbón

El uso intensivo del suelo y los métodos agrícolas convencionales, como el monocultivo, el uso de químicos, la producción intensiva o el laboreo excesivo pueden tener impactos negativos en el deterioro del recurso suelo y en la sostenibilidad de la producción agrícola. En este contexto, el biocarbón se ha presentado como una alternativa innovadora y sostenible para mejorar la calidad del suelo (Amores Mena, 2020).

El biocarbón es un producto sólido, rico en carbono, obtenido a partir de la pirolisis de biomasa (residuos forestales y agrícolas fibrosos) en ausencia de oxígeno y temperaturas que oscilan entre 350 y 700 °C. Esto reduce el volumen del residuo, genera energía y limita la liberación de contaminantes (Escalante Rebolledo *et al.*, 2016).

Es conocido en Brasil como “terrapreta” (suelo negro), y es una práctica realizada por las tribus indígenas de la Amazonia desde hace cientos de años. Se diferencia del carbón vegetal, el cual es utilizado como combustible. Dada su alta porosidad y capacidad de intercambio catiónico, el biocarbón puede ser un sumidero de carbono estable y de residuos que pudieran convertirse en contaminantes, esto también favorece la retención de nutrientes y aguas para las plantas (Pentón Fernández, 2021). También mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y aumenta la productividad de los cultivos. Además, produce efecto de encalado al aumentar el pH, la conductividad eléctrica y el potencial redox del suelo, mientras que favorece el desarrollo de comunidades microbianas.

En Cuba, el biocarbón, conocido como Biochar, se ha utilizado con resultados satisfactorios en siembras de cultivos agrícolas, en viveros de plantas arbóreas, enriquecido con coproductos orgánicos y suelo. Se destacan los biocarbones hechos a partir de las ramas de morera y los de bagazo de caña, embebidos en orina de vaca y, los de morera y de marabú, inoculado con IHPLUS® BF (Pentón-Fernández *et al.*, 2020).

Según Goswami *et al.* (2022), el uso del biocarbón presenta ciertas limitaciones y desafíos, que deben ser considerados. Uno de los más importantes está relacionado con el costo de producción del mismo, a partir del proceso de producción de la biomasa y la pirólisis, lo que puede restringir su uso en áreas con recursos limitados. Además, la falta de estandarización en las tecnologías de producción, puede dificultar la comparación de sus efectos en diferentes suelos y cultivos. Es necesario evaluar el impacto a largo plazo del uso del biocarbón, ya

que existe un conocimiento limitado en cuanto a las interacciones biocarbón-suelo-planta (Nair *et al.*, 2017). Por otro lado, existe una preocupación adicional por la posible contaminación con metales pesados (He *et al.*, 2019).

1.2. El estiércol del ganado en la obtención de biofertilizantes

El estiércol de ganado es una fuente valiosa para la producción de diferentes tipos de fertilizantes orgánicos, como el compost, el vermicompost y los bioles (Oba *et al.*, 2021). En el compostaje, el estiércol acelera la biooxidación de la materia orgánica, gracias a los microorganismos que aporta, lo que produce calor, CO₂ y agua en una etapa termófila. Como resultado, el material estabilizado es inodoro, tiene un volumen y peso reducidos, lo que facilita su manipulación y almacenamiento (Font-Palma, 2019). Sin embargo, el compostaje tiene la desventaja de perder nutrientes, especialmente nitrógeno, que puede perderse hasta en un 40%, debido a la volatilización del amoníaco. Estas pérdidas no solo afectan la calidad del compost, sino que también contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero (Cao *et al.*, 2016).

El estiércol de ganado es un componente fundamental en el proceso de vermicompostaje, ya que es descompuesto, tanto por los microorganismos que contiene, como por las lombrices de tierra. Estas últimas son responsables de airear, preparar y fragmentar el sustrato para la actividad microbiana, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica (Dominguez *et al.*, 1997).

Además, es posible obtener un biofertilizante conocido como biol a través de la fermentación anaeróbica de estiércol de ganado vacuno mezclado con agua, levadura, melaza, suero de leche, humus y ceniza. Este proceso de fermentación

tiene una duración de varios días y el resultado es un abono líquido rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre (Proaño y Maricela, 2015). El biol tiene la capacidad de reducir la carga patógena del suelo y mejorar la germinación y el crecimiento de las plantas (Medina *et al.*, 2015).

1.2.1. Las excretas como fuente de nutrientes para las plantas

Las excretas de vaca contienen una variedad de compuestos que pueden ser beneficiosos para el uso agrícola. Algunos de los nutrientes más importantes son el N, contenido en forma de urea y amoníaco, P, presente en forma orgánica e inorgánica, K, en forma de sales solubles (Daga *et al.*, 2022). Igualmente posee Ca y Mg, esenciales para el crecimiento de las plantas y la formación de tejidos vegetales y, una variedad de microelementos, como Fe, zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn), que son necesarios, en pequeñas cantidades, para el crecimiento de las plantas (Daga, 2022).

Además de estos nutrientes, las excretas de vaca también pueden aportar materia orgánica al suelo, mejorar su estructura y capacidad de retención de agua y promover la actividad de microorganismos beneficiosos.

1.2.2. La digestión anaeróbica en la obtención de los biofermentados

La digestión anaeróbica es un proceso bioquímico que involucra la degradación de la materia orgánica en un ambiente libre de oxígeno, mediante la acción de microorganismos que producen una mezcla gaseosa, compuesta, principalmente, de metano y dióxido de carbono, conocida como biogás y un digestato.

Según Sharma *et al.* (2023), el proceso de digestión anaeróbica consta de cuatro etapas principales. En la primera etapa, la hidrólisis, los microorganismos

hidrolizadores descomponen los sustratos orgánicos complejos en moléculas más simples, como azúcares y aminoácidos, mediante la acción de enzimas extracelulares. Estos monómeros son utilizados por los microorganismos para obtener energía a través de su degradación.

La segunda etapa, la acidogénesis, es crucial en el proceso de fermentación anaeróbica, donde los compuestos disueltos presentes en las células de bacterias fermentativas se convierten en ácidos grasos volátiles (AGV), alcoholes, ácido láctico, CO₂, H₂, NH₃ y H₂S, así como nuevo material celular.

En la tercera etapa, la acetogénesis, los productos de la digestión (ácidos grasos volátiles superiores) se transforman en acetato, H₂ y CO₂, así como nuevo material celular.

Finalmente, en la etapa de metanogénesis, el acetato, el hidrógeno, más el carbonato, el formiato o el metanol, se convierten en metano, CO₂ y nuevo material celular.

1.3. La morera *Morus alba* L.

La morera (*Morus alba* L.) es una leñosa perenne importante, económica y ecológicamente, conocida por su rápido crecimiento y alta producción de biomasa (Sourati *et al.*, 2022).

Es una especie con múltiples usos y alto nivel de aceptación entre quienes promueven sistemas integrados de producción animal. Se destaca por su alto valor como alimento para el ganado y para el gusano de seda (Rahman y Islam, 2021; Gómez, 2022). Posee un amplio perfil metabólico, que le confiere propiedades medicinales (Sosa *et al.*, 2021; Suriyaprom *et al.*, 2021) y, sus

residuos leñosos, pueden ser reciclados como biocarbón, enriquecido con sustancias nutritivas orgánicas para la nutrición de las plantas y la restauración de los suelos.

1.3.1. Hábitat y distribución

Esta especie es originaria del sudoeste asiático, específicamente del norte de China, Corea y Manchuria (Khawani *et al.*, 2023). Desde la antigüedad, ha sido naturalizada en distintas regiones templadas alrededor del mundo, debido a que constituye el medio idóneo para la producción del gusano de seda (Sudhakar *et al.*, 2018; Ahalya *et al.*, 2020).

Las moreras se adaptan a diferentes tipos de suelos, aunque prefieren los suelos profundos, fértiles y poco ácidos (Mora-Valverde, 2010). Crecen a plena exposición solar o media sombra, sin embargo, necesitan espacio debido a que alcanzan un tamaño considerable. Es una planta rústica, que tolera la contaminación ambiental, podas severas y grandes variaciones de temperatura, ya sea frío invernal o calores estivales, siempre que reciba buena iluminación y tenga disponibilidad frecuente de agua (Johnson y More, 2006). Además, es muy resistente a los vientos fuertes y tolera los suelos salinos (Mbarki *et al.*, 2018).

Prefiere los suelos húmedos y bien drenados y, se puede encontrar en bosques abiertos, campos y bordes de carreteras, en altitudes que van, desde el nivel del mar, hasta los 1.800 metros. No obstante, la distribución y hábitat de la morera puede variar según la especie y la región geográfica. Otras variedades de morera también tienen distribuciones geográficas similares, pero pueden variar en sus preferencias (Blitek *et al.*, 2022).

Esta planta se propaga fácilmente a través de semillas diseminadas por aves o pequeños mamíferos, mientras que, en el plano comercial, se multiplica a través de estacas o injertos. Una de sus principales virtudes es su rápido crecimiento, lo cual la hace ideal para diversos usos (Taha *et al.*, 2020).

Durante el período de colonización en América Latina, los españoles introdujeron el cultivo de la morera para alimentar a los gusanos de seda y producir este valioso material, convirtiéndose en una parte importante de la economía de la región (Ravichandra y Thimmareddy, 2021). Su expansión se debió a la adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, así como por su valor nutricional en la producción de alimentos para animales (Bai *et al.*, 2023).

1.3.2. Introducción y variedades de *Morus alba* L. en Cuba

La introducción de la morera en Cuba se debe a la llegada de la sericultura en el siglo XIX. Sin embargo, este cultivo se abandonó, debido a varias razones, incluyendo la aparición de la enfermedad pebrina, que causó graves pérdidas en la producción de seda y, a la falta de conocimientos científicos para hacer frente a estas dificultades (Hernández Pérez *et al.*, 2017).

En el año 1994, los investigadores de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, tomando en consideración la necesidad de buscar y evaluar nuevas fuentes de forrajes para la alimentación animal, reconsideraron la posibilidad de introducir al país tres variedades de morera procedentes de Costa Rica, sobre la base de las relaciones establecidas con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de ese país. En este sentido, se evaluó su comportamiento en producción de biomasa en distintas condiciones

edafoclimáticas y se realizaron ensayos con diferentes especies de animales (Martín *et al.*, 2007).

Actualmente, se cuenta con un banco de germoplasma de 20 variedades, que incluye las especies *alba* y *nigra*, entre las que se encuentran las introducidas desde Costa Rica en 1994: Indonesia, Tigreada y Acorazonada y, la Criolla, que se introdujo desde Etiopía en algún momento del periodo 1980-1990. En el año 2000 se introdujeron de Brasil dos selecciones (IZ-40 e IZ-64) y tres híbridos (IZ-15/7, IZ-13/6 e IZ-56/4). En el 2011, se introdujeron de China otras variedades de la especie *M. alba* (L.). (Universidad, Universidad Mejorada, Nueva, Yu-12 y Yu-62) y, en el año 2012, se introdujo, de España, la variedad Murcia, las que ya habían sido estudiadas y recomendadas para la crianza del gusano de seda. Posteriormente, en el año 2015, se introduce una nueva especie, la *M. nigra* (L.), colectada en la provincia de Camagüey. De estas variedades, se ha comprobado que 10 de ellas, además de multiplicarse por propágulos, se reproducen por semillas (Martín Martín *et al.*, 2017; Reino Molina *et al.*, 2017).

1.3.3. Factores que afectan el crecimiento y desarrollo de *M. alba* L.

El crecimiento y desarrollo de la morera pueden verse influenciados por diversas condiciones agroclimáticas, como la temperatura, la humedad relativa, las lluvias y las nevadas (Chanotra *et al.*, 2022).

Se puede cultivar, tanto en condiciones de riego, como en secano, con un rango de precipitaciones anuales de 600 a 2500 mm (Rohela *et al.*, 2020). Aunque, un estudio realizado por Ackah *et al.* (2022), encontró que las hojas de morera, bajo

estrés por sequía, tenían cambios en la metilación del ADN que afectan la regulación de los genes.

Por otra parte, Shi *et al.* (2020) hallaron que las concentraciones elevadas de CO₂ durante el día aumentan la producción de biomasa de morera y la acumulación de nutrientes, mientras que las concentraciones elevadas de CO₂ durante la noche tienen un efecto positivo en la calidad nutricional de las hojas.

Villalta-Zúñiga *et al.* (2022) plantean que la morera crece en temperaturas de 13 a 38°C. Por otro lado, Xu *et al.* (2021) sugieren que las bajas temperaturas pueden ser un desencadenante clave en la biosíntesis de flavonoides de las hojas de morera, al aumentar la expresión de genes relacionados. También se sabe que el estrés por altas temperaturas puede provocar pérdidas de productividad en los cultivos, al desencadenar fluctuaciones fisiológicas, bioquímicas, morfológicas y moleculares (Bita y Gerats, 2013).

Las condiciones de radiación solar influyen en la síntesis de flavonol y 1-desoxinojirimicina (DNJ), componentes activos importantes de las hojas de morera. Según Sugiyama *et al.* (2016), la exposición a la radiación solar estimula la producción de flavonoides como mecanismo de defensa de la planta contra el estrés oxidativo, pero se observa una ligera disminución en los niveles de DNJ.

1.3.4. Indicadores agroquímicos del suelo para el cultivo de la morera

El pH, la humedad y la materia orgánica del suelo son factores claves que influyen en el desarrollo y crecimiento de las plantas de morera ya que determina la disponibilidad de los nutrientes. Durante la fase de crecimiento, esta planta toma muchos elementos del suelo tales como N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Br, Mn, Zn, Cu y

Mo (Rohela *et al.*, 2018). Cada uno con funciones específicas en su crecimiento y metabolismo, por lo que el déficit de alguno de ellos, afecta el desarrollo normal de la planta. La composición química de las hojas de morera está estrechamente relacionada con el estado nutricional del suelo, las variables climatológicas, la época del año, y el intervalo de corte (Zapatier Santillan *et al.*, 2021).

pH: El pH del suelo es crítico para el cultivo de la morera, ya que esta planta prefiere un pH ligeramente ácido a neutro (Paz Narváez y Menjivar Flores, 2019). Si el pH del suelo es demasiado bajo o alto, puede afectar la absorción de nutrientes y, por lo tanto, su crecimiento y productividad (Neina, 2019; Sun *et al.*, 2022). Un suelo ácido puede acumular aluminio (Al) y Mn, ser tóxico y disminuir la disponibilidad de nutrientes como el Ca, Mg y P (Vega, 2013).

Humedad: La morera es una planta versátil, que puede crecer en varios tipos y condiciones de suelo. Sin embargo, crece mejor en los húmedos y bien drenados. En este cultivo es fundamental proporcionar un riego adecuado, especialmente a los árboles recién plantados, para favorecer el desarrollo de un sistema radicular robusto. Una vez establecidos, los árboles generalmente pueden satisfacer sus necesidades de agua del medio ambiente. Siendo recomendable que reciban al menos 25.4 mm/m² cada semana (Mahesh *et al.*, 2020).

Materia orgánica: La aplicación de materia orgánica puede tener un efecto positivo en el rendimiento de la morera. Pavankumar *et al.* (2020) encontraron que la aplicación de lombricompost y *Azospirillum* aumentó significativamente los parámetros de crecimiento y rendimiento de la morera. Otro estudio realizado por Yadav *et al.* (2020) determinó que las prácticas de cultivo orgánico mejoraron las

propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y que la concentración de nutrientes en las hojas de morera fue mayor en sistemas de cultivo orgánico. Además, Samuthiravelu *et al.* (2012) encontraron que el uso de nutrientes orgánicos redujo la incidencia de plagas principales y aumentó la productividad de las hojas de morera. En una investigación anterior, Shenggao (2001) concluyó que la materia orgánica era el principal agente cementante en la formación de agregados en suelos de plantaciones de morera, lo que puede mejorar la estabilidad y fertilidad.

Nitrógeno: Según Sugiyama *et al.* (2016), la dosis de N tiene un impacto significativo en el rendimiento total de biomasa y la producción de tallos y hojas en los cultivos de morera. Es importante seleccionar la dosis óptima de N para obtener los componentes funcionales deseados, ya que diferencias en los niveles de aplicación de fertilizantes nitrogenados afectan cada componente funcional en las hojas. Por ejemplo, un aumento en los niveles de N puede disminuir significativamente los contenidos de ácido clorogénico y flavonol, mientras que el contenido de 1-desoxinojirimicina puede aumentar significativamente.

Además, Setua *et al.* (2005) encontraron que la gestión integrada de nutrientes, incluida la aplicación de N, incrementó significativamente el rendimiento y el contenido total de azúcar soluble y proteína en las hojas de las plantas de morera. Por lo tanto, es importante considerar la gestión integrada de nutrientes al aplicar N en los cultivos de morera, para obtener un rendimiento óptimo y los componentes funcionales deseados.

Fósforo: Este macroelemento esencial desempeña un papel fundamental en el crecimiento y producción de cultivos, incluyendo la morera. Según Pentón Fernández (2015), las hojas de morera contienen en promedio 2,7 g de P por kg de materia seca, y su concentración es mayor durante la época lluviosa en comparación con la época de sequía. Además, el P promueve la proliferación de raíces, mejorando la calidad de la producción de hojas y la resistencia a enfermedades.

Para lograr un crecimiento y rendimiento óptimo de la morera, es esencial la fertilización con fosfato. Según Bose *et al.* (2009), la aplicación de hasta 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} $año^{-1}$ aumentó significativamente los atributos de crecimiento, el rendimiento, la absorción de nutrientes, el rendimiento neto y la relación costo-beneficio. Además, al agregar el hongo micorrícico arbuscular *Glomus mosseae*, junto con una cantidad de 30 kg de P ha^{-1} $año^{-1}$ se obtuvo un resultado similar al de utilizar la dosis completa de fertilizante fosfatado (120 kg de P ha^{-1} $año^{-1}$) sin la inoculación del hongo. Esto sugiere que es posible reducir en un 75% la cantidad de fertilizante fosfatado utilizado en el cultivo de morera (Katiyar *et al.*, 1995).

También se ha encontrado que la inoculación directa de micorriza vesicular arbuscular (MVA) con 30 kg de P ha^{-1} $año^{-1}$ fue prometedora en cuanto a la calidad y cantidad de producción de hojas de morera, con una reducción simultánea del 80% en el uso de fertilizante fosfatado (Setua *et al.*, 2013).

Potasio: El K es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de esta planta. Según varios estudios, la fertilización potásica se asocia con mayores rendimientos en este cultivo (Pentón *et al.*, 2016). Por otro lado, este mineral

puede aumentar la resistencia al estrés abiótico, como la sequía, la salinidad y las bajas temperaturas. Además, regula la apertura y cierre de los estomas de la planta, lo cual a su vez afecta la absorción y pérdida de agua (Garbanzo-León *et al.*, 2021). Yamashita y Hikasa (1988) hallaron que, el suministro reducido de K, perjudicó la capacidad fotosintética y los constituyentes celulares de las hojas de morera. Kar *et al.* (2008) evaluó la eficiencia de las pruebas de suelo y la respuesta a los fertilizantes de la morera de secano, y encontró que los fertilizantes potásicos fueron más eficientes que el suelo para contribuir a la producción de biomasa.

Calcio: El Ca es un nutriente esencial para las plantas. Se requiere para diversas funciones estructurales, incluyendo la formación de la pared celular y las membranas, y el transporte de aniones inorgánicos y orgánicos en la vacuola. La concentración citosólica de Ca^{2+} ($[Ca^{2+}]_{cyt}$) es un mensajero intracelular obligado que coordina las respuestas a numerosos desarrollos, señales y desafíos ambientales (White y Broadley, 2003). En las hojas de morera, el Ca es uno de los nutrientes más abundantes. Rohela (2018) informó que el contenido de Ca en dos variedades de morera cultivadas fue de 1,8 a 2,9 %, mientras que el contenido de N fue de 2,92 a 3,39 % y el contenido de P fue de 0,24 a 0,42 %.

Magnesio: El Mg juega un papel importante en el crecimiento de la morera al ser esencial para la producción de clorofila y la fotosíntesis, por lo que es importante mantener niveles adecuados en el suelo. La deficiencia de este mineral puede provocar una disminución de la actividad fotosintética y un aumento del estrés oxidativo (Tewari *et al.*, 2006). Por otro lado Cakmak y Kirkby (2008) encontraron

que la deficiencia de Mg provocó una acumulación de carbohidratos y deficiente fijación de CO₂, lo que causó daño foto oxidativo. También se sabe que el contenido de este mineral en las hojas de morera puede variar según el cultivo y el momento de la cosecha (Levickienė *et al.*, 2019).

1.3.5. Siembra en vivero

En condiciones tropicales, los esquejes de morera, generalmente, muestran una buena capacidad de enraizamiento durante la fase de vivero (Medina *et al.*, 2007), aunque Borges *et al.* (2016) señalan que el enraizamiento inicial es bajo. Sin embargo, la tasa de éxito puede variar según varios factores, como el tipo de esqueje, las condiciones ambientales y el sustrato utilizado. Los esquejes de morera requieren alta humedad y temperatura moderada para enraizar. El rango de temperatura ideal es de 20-30°C y, la humedad relativa, debe mantenerse por encima del 80 % (Henríquez, 2004).

Es importante tener en cuenta, tanto la edad, como la parte de la rama de la cual se toman las estacas, ya que esto puede influir en el éxito de la propagación, (Boschini y Rodríguez (2002). La edad óptima de la rama para obtener la máxima brotación y enraizamiento en esquejes de morera se estima en 117 días. Sin embargo, es importante señalar que el éxito de la propagación mediante esquejes de tallo depende en gran medida del genotipo, el medio ambiente y la edad de los materiales de plantación (Vijayan *et al.*, 2011). Se recomienda utilizar ramas jóvenes y saludables de la planta. Es importante que tengan al menos 1 año de edad y que midan entre 15 y 20 cm de largo. Se deben cortar en un ángulo de 45 grados justo debajo de un nudo o yema, y se deben retirar las hojas de la parte

inferior para evitar que se pudran. Por último, se debe asegurar que se siembren a una profundidad adecuada de 6-8 cm.

Se recomienda utilizar bolsas que permitan una buena aireación, dispongan de agujeros para el drenaje y eviten daños en las raíces durante el trasplante. Según (Medina, 2007) el sustrato ideal consiste en una mezcla de arena, turba y perlita en proporción 1:1:1. Esta combinación ofrece una adecuada aireación, drenaje y capacidad de retención de agua. Por otro lado, Mendonça *et al.* (2010) obtuvieron resultados positivos al utilizar una mezcla de suelo, arena y estiércol bovino en proporción 1:1:1.

Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores podemos decir que los biofermentados enriquecidos con minerales ofrecen una alternativa sostenible y eficiente para mejorar la nutrición de las plantas y la salud del suelo en la agricultura. La investigación y el desarrollo de nuevos métodos de producción y enriquecimiento de estos biofertilizantes pueden contribuir a la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, lo que a su vez puede mejorar la productividad y la calidad de los cultivos.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se realizó en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, localizada a los 22° 48' y 7" de latitud Norte y 79° 32' y 2" de longitud Oeste, a 19 msnm, en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

2.2. Condiciones climáticas

Se realizó un registro de las variables del clima durante el periodo de la investigación, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Registro de las variables climáticas del periodo de investigación (diciembre 2022 – marzo 2023)

Meses	Temperatura promedio del aire (°C)			Humedad relativa promedio (%)			Precipitación acumulada (mm)	Evaporación promedio (mm)			Viento promedio (km/h)
	Max.	Min.	Media	Max.	Min.	Media		Noche	Día	24 h Total	
Dic.	28.2	15.5	22.1	96	53	80	4.6	0.9	2.9	3.8	4
Ene.	28.9	13.6	21.5	96	44	77	21.4	1.1	3.8	4.9	3.6
Feb.	30.9	14.4	22.8	96	42	74	4.7	1.2	4.5	5.7	4.1
Mar.	31.4	16.3	23.8	94	43	72	87.2	1.3	5.6	7.0	4.6

Fuente: Instituto de Meteorología. Estación Meteorológica de Indio Hatuey, 2023.

2.3. Recursos fitogenéticos, orgánicos y minerales empleados:

- Estacas de morera (*Morus alba*) L. var. Yu-12.
- Biofertilizante IHPLUS® BF.
- Minerales: Urea (U), formula completa (NPK), calcio (Ca) y zeolita (Z).
- Compost

- Biocarbón
- Sustrato

2.4. Procedimiento experimental

El procedimiento constó de dos etapas de experimentación. En la primera, se realizó la caracterización de los biofermentados minerales. En la segunda, se evaluó la respuesta de las plantas en vivero a la aplicación de los biofermentados minerales. Para ello, fue necesario fabricar previamente el compost y el biocarbón que se utilizaron en la elaboración del sustrato. Además, de manera simultánea, se elaboraron los biofermentados minerales necesarios para establecer los tratamientos experimentales.

2.4.1. Fabricación de biocarbón

La fabricación de biocarbón se realizó mediante un proceso termoquímico de pirólisis, consistente en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno a través de la tecnología Kon-Tiki, propuesta por Schmidt y Taylor (2014). Para la elaboración del biocarbón se recolectaron los residuos de poda de morera, se trocearon en pedazos pequeños y uniformes. Luego, se encendió el horno Kon-Tiki y se introdujeron los residuos de morera de manera uniforme. Una vez finalizada, se enfrió el biocarbón sumergiéndolo en agua durante 24 horas. Posteriormente se escurrió por 1 hora para eliminar el exceso de agua para su uso en la elaboración del sustrato.

2.4.2. Fabricación del Compost

El compost se elaboró en la planta de reciclaje de residuos sólidos y abonos de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, a partir de estiércol

vacuno (60%) y vegetación espontánea y restos de jardinería (40%). Los materiales se procesaron en condiciones aeróbicas para favorecer la descomposición y transformación de los residuos en compost. Para enriquecerlo, se aplicó IHPLUS® BF, a razón de 5 l/ton, utilizando una mochila pulverizadora cada 15 días durante el proceso de compostaje. Una vez que el compost maduró y estabilizó, se cribó para obtener un producto homogéneo listo para la elaboración del sustrato (Pentón, 2019).

2.4.3. Elaboración de los biofermentados minerales

Para elaborar los biofermentados, se sucedieron dos etapas de fermentación, siguiendo las metodologías y enseñanzas de Restrepo y Hensel (2013) y de la Red de Agricultura Orgánica de Misiones (RAOM) (Bizzozero, 2006), pero con adaptaciones, realizadas por el grupo de trabajo de la planta de producción de microorganismos eficientes IHPLUS® BF de la institución, que ya mostraron buenos resultados en la producción agrícola, en colaboración con campesinos experimentadores.

Etapa 1 de fermentación

1. En cuatro tanques, con tapa hermética, con capacidad de 200 l, se mezclaron, en cada uno, los siguientes ingredientes:

- Madre líquida de microorganismos eficientes (20 l).
- IHPLUS® BF (20 l).
- Leche (5 l)
- Melaza (5 l).
- Excreta de vacuno (15 kg).

- Agua, hasta completar 100 l de volumen con el resto de los ingredientes.

2. Fermentación por 4 días en condiciones anaeróbicas.

Etapa 2 de fermentación

3. Al quinto día, se abrieron los tanques y se les agregó 5 l de melaza a cada uno.

4. Se añadieron los minerales, en las cantidades recomendadas, de manera independiente, en cada tanque:

- Urea (6 kg)
- Fertilizante completo (15 kg)
- Calcio (6 kg)
- Zeolita (12 kg)

5. Se completó el volumen de 200 l con agua común.

6. Se dejó fermentar durante 15 días en condiciones anaeróbicas. Luego de este tiempo el biofermentado quedó listo para su aplicación, pero, antes de realizar la aplicación se diluyó mezclándolo con IHPLUS® BF y agua, en las siguientes proporciones:

- Biofermentado mineral (6,25%)
- IHPLUS® BF (6,25%)
- Agua (87,50%)

Nota: En términos prácticos, esto significa adicionar, en una mochila de 16 l, un litro de biofermentado mineral, un litro de IHPLUS® BF y completar el resto del volumen con agua.

2.4.4. Elaboración del sustrato

El sustrato utilizado en este estudio fue elaborado a partir de una mezcla de biocarbón de morera, compost y tierra provenientes de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. La tierra utilizada fue clasificada como Ferralítico Rojo Lixiviado, según Hernández-Jiménez *et al.* (2019). Para la elaboración del sustrato, se procedió en primer lugar a estandarizar el tamaño de partícula de los materiales, lo cual implicó tamizarlos a un tamaño de 5 mm. Posteriormente, se realizó una mezcla homogénea de los componentes del sustrato en una proporción volumétrica de 6:1:3 (tierra: biocarbón: compost). Finalmente, se envasó en bolsas horadadas de polietileno con una capacidad de 2 kg cada una, las cuales se utilizaron para sembrar las estacas de morera.

2.5. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- T1 (C): Control, sin fertirrigación
- T2 (IH+Z): Fermentado de zeolita con IHPLUS® BF
- T3 (IH+Ca): Fermentado de calcio con IHPLUS® BF
- T4 (IH+U): Fermentado de urea con IHPLUS® BF
- T5 (IH+NPK): Fermentado de fertilizante químico completo con IHPLUS® BF
- T6 (IH+M): Mezcla de los fermentados

Nota: En todos los tratamientos, incluido el control, se utilizó el mismo sustrato

2.5.1. Caracterización físico-química de los fermentados minerales, del IHPLUS® BF y de las soluciones preparadas para el riego.

La caracterización físico-química de los biofermentados se basó en el análisis de una muestra por tratamiento, debido al elevado costo del análisis. Para ello, se colocaron las muestras en frascos de color ámbar con tapas herméticas para su mejor conservación y traslado al laboratorio de análisis de suelo. Se realizaron los procedimientos estándares de filtrado, dilución y homogeneización. El agua utilizada en el proceso experimental tuvo una conductividad de 0,53 $\mu\text{S}/\text{m}$, de pH 6,10 y potencial redox Eh(pH7)₁ de 506.89 mV.

Medición de pH, conductividad eléctrica CE y temperatura

Para medir el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura, se utilizó el medidor multiparamétrico HANNA HI 9813-5. Para cada parámetro, se esperó a que los datos se estabilizaran en la pantalla antes de registrar el valor obtenido. La conductividad eléctrica se registró en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

Análisis del Potencial Redox

El potencial redox (ORP) se analizó mediante el uso del sensor LUTRON ELECTRONIC YK-23RP, calibrado y validado para este tipo de análisis. Se sumergió el sensor limpio y seco en cada muestra independiente y se esperó a que los datos se estabilizaran en la pantalla antes de registrar el valor obtenido en milivoltios (mV).

Contenido de sólidos solubles

Para determinar el contenido de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$) se utilizó el refractómetro portátil digital ATC. En primer lugar, se aseguró la limpieza adecuada de la

superficie del prisma porta muestra y la tapa. Posteriormente, se procedió a calibrar el instrumento a cero, utilizando agua destilada. Una vez calibrado, se depositó cuidadosamente unas gotas de la muestra sobre el prisma, se cubrió la muestra con la tapa y se realizó la valoración a temperatura ambiente. Finalmente, se registró el valor obtenido en la escala del refractómetro en grados Brix (°Bx).

Nitrógeno Amoniacal, Potasio, Nitrato y Ácidos Orgánicos

En este estudio, se empleó el espectrofotómetro de sobremesa HACH DR 3900; el que opera en el rango visible del espectro (320 -1100 nm) y utiliza un haz de luz dividido.

Antes de realizar los análisis, fue necesario preparar las muestras adecuadamente. Para ello, se filtraron con el fin de eliminar cualquier partícula que pudiera interferir en los resultados. En los casos en que fue necesario, se diluyeron mediante el método de prueba y error, utilizando agua destilada según el rango de lectura de las pruebas a realizar. El factor de dilución empleado se proporcionó al equipo para el cálculo de la concentración final de cada parámetro, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Factores de dilución utilizados en las diferentes pruebas

Biofermentados	Pruebas			
	N- Amoniacal	Potasio	Nitrato (N-NO3)	AO
Zeolita	1000	50	10	10
Calcio	1000	50	10	10
Urea	1000	50	10	10
Formula completa NPK	1000	1050	10	10
Mezcla	1000	25	10	10
IHPLUS® BF	10	50	1	10

Nitrógeno amoniacal (NH₃-N)

El análisis se llevó a cabo utilizando el método de salicilato según Hach (2015), haciendo uso de los reactivos cat 2653199 y cat 2653299; que permiten la lectura de concentraciones de 0,01 a 0,50 mg/L de NH₃-N; a una longitud de onda de 655 nm.

Potasio (K)

El K se determinó mediante el método de tetrafenilborato, según Hach (2018), utilizando los reactivos Cat 1432198, Cat 1432298 y Cat 1432399. Este método permite la lectura de concentraciones de K de 0.1 a 7 mg/L, a una longitud de onda de 650 nm.

Nitrato (NO₃-N)

El análisis del nitrato se realizó a partir de la reacción de la muestra con ácido sulfúrico y ácido fosfórico, según Hach (2015), utilizando el reactivo predosificado LCK339. Este método permite la lectura de concentraciones de 0.23-13.50 mg/L de NO₃-N a una longitud de onda de 650 nm.

Ácidos Orgánicos (CH₃COOH)

Para evaluar los ácidos orgánicos, se utilizó el reactivo LCK365 y el método descrito por Hach (2020). En este proceso, los ácidos volátiles reaccionan con los dioles en un ambiente ácido, formando ésteres que pueden reducirse mediante sales de hierro (III) para formar complejos de color rojo. Este método permite medir concentraciones de CH₃COOH en el rango de 50-2500 mg/L, utilizando una longitud de onda de 650 nm.

2.5.2. Estudio de las características morfofisiológicas de la morera (*Morus alba* L.)

Se evaluaron indicadores del crecimiento y desarrollo en estacas de morera *Morus alba* L. var. Yu-12, de seis meses de rebrote, en un vivero a pleno sol durante 90 días. Se utilizaron estacas maduras, saludables y libres de enfermedades, con 30 cm de largo, 3 cm de diámetro y entre 5-6 yemas sanas. Las mismas se sembraron en bolsas de nylon de 2,0 kg de capacidad, rellenas con sustrato, garantizando que al menos 2 yemas quedaran por debajo del nivel del suelo. Se aplicó riego, de forma manual, en días alternos. La fertilización con los fermentados diluidos se realizó cada 7 días, a razón de 12,8 ml por planta.

Diseño: Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 15 repeticiones/bolsas por tratamiento.

Evaluaciones:

Respuesta morfológica de las plantas

Para evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas en respuesta a la aplicación de los diferentes fermentados minerales, se realizaron las siguientes mediciones:

- Número de brotes con hojas promedio por estaca: realizado por conteo visual y expresado en unidades (u); a los 90 días después de la siembra.
- Número de hojas por planta: se realizó por conteo visual y se expresó en unidades (u); a los 90 días posteriores a la siembra.
- Altura apical de la planta: Se utilizó una cinta métrica, la medida se realizó perpendicular al suelo, desde la base, hasta la parte superior donde se

encontraban las hojas más altas. Los resultados se expresaron en centímetros (cm); a los 90 días.

- Número de plantas vivas con ramas y con raíces: Al final de periodo experimental (90 días) se extrajeron las plantas de las bolsas de nylon y se cuantificaron visualmente las plantas con ramas y raíces y se expresó en unidades (u).
- Longitud de raíces: Para medir la longitud de las raíces, se utilizó una cinta métrica y los resultados se expresaron en (cm); a 90 días.
- Producción de biomasa aérea: Para cuantificar la biomasa total aérea se cortaron las partes aéreas de la planta en el punto donde comienzan las raíces, utilizando tijeras de podar y se pesaron en una balanza modelo KERN CXB 15K1, los resultados se expresaron en gramos (g); a 90 días.
- Producción de biomasa radical: Para cuantificar la biomasa radical se lavaron cuidadosamente las raíces de la planta para eliminar todo el suelo adherido y se pesaron en una balanza modelo KERN CXB 15K1, los resultados se expresaron en gramos (g); a 90 días.

Respuesta fisiológica de las plantas

El estudio de la respuesta fisiológica de las plantas implicó la medición de diversos parámetros. En este caso, se realizaron mediciones a los 60 días, utilizando el sensor de clip de hojas Dualex. Este equipo utiliza una técnica no destructiva llamada "fluorescencia inducida por láser" (LIF), específicamente diseñada para estudios de estrés abiótico (Cerovic *et al.*, 2012).

- Contenido de clorofila y flavonoles: Con la sonda del sensor de clip de hojas Dualex se midió la cantidad de fluorescencia que se emite desde la hoja en respuesta al láser, lo que está directamente relacionado con la cantidad de metabolito presente. La clorofila se expresó en microgramos por centímetro cuadrado ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y los flavonoles en absorbancia relativa.
- Contenido de antocianinas: El índice de antocianinas se estableció utilizando la variante del equipo llamada "DualexScientific+", que permite medir la fluorescencia de las antocianinas.
- Contenido de nitrógeno relativo: El índice nombrado NBI ® (Nitrogen Balance Index) en sus siglas en inglés, corresponde a la relación Clorofila/Flavonoles (o también Nitrógeno/Carbono).

2.6. Procesamiento estadístico

Se verificó la normalidad de la distribución de los datos en todas las variables por la prueba modificada de Shapiro Wilk y, la homogeneidad de varianza, utilizando la prueba de Levene. Se realizó análisis descriptivo de las variables relacionadas con la caracterización de los fermentados minerales y las soluciones preparadas para el riego; además de las variables morfológicas: número de brotes con hojas, número de hojas por planta, número de plantas vivas con ramas, y con raíces.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a las variables altura apical, longitud de las raíces, biomasa aérea, biomasa radical, flavonoles, clorofila, antocianinas y NBI. La comparación de medias se realizó utilizando la prueba múltiple de Tukey, con un nivel de significación de $P \leq 0,05$. El programa estadístico utilizado fue Infostat 2008.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización físico-química de los biofermentados minerales, del IHPLUS® BF y de las soluciones preparadas para el riego.

Es conocido que la fermentación del estiércol se enmarca en el ciclo anaerobio del carbono, que conlleva a la transformación de sustancias orgánicas en compuestos inorgánicos útiles para la nutrición de las plantas y la restauración de los suelos.

3.1.1. Caracterización de los biofermentados

La caracterización de los biofermentados obtenidos en este estudio nos permitió identificar diferencias que podrían explicar las posibles variaciones en sus efectos sobre el crecimiento vegetal, la supervivencia y la acumulación de biomasa.

Los biofermentados minerales exhibieron una conductividad elevada (tabla 3), especialmente en las formulaciones que incluían NPK, urea y calcio, lo que es consistente con los procesos que involucran altas concentraciones de sustancias minerales y orgánicas. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Leiva Trujillo (2018) en el estudio de biofermentos anaeróbicos de estiércol vacuno con efluente del proceso de fermentación cervecera, mediante fermentación homoláctica.

Tabla 3. Caracterización de los biofermentados minerales

Tratamientos	CE (dS/m)	pH	Eh (pH7) ¹ (mV)	SS (°Bx)	AO	N-NH ₄ ⁺ mg/L	K ⁺
Zeolita	6,96	4,90	293.09	3,01	12298	43,98	322.4
Calcio	9,03	5,30	258.69	5,02	16172	2762,0	644.4
Urea	9,09	7,70	457.29	5,02	13190	6226,9	413.6
Formula completa NPK	9,78	4,80	365.19	7,03	22406	6208,6	3322.0
Mezcla	8,68	6,40	416.59	4,00	10001	3229,4	2232.8
IHPLUS® BF	3,56	3,70	319.29	2,00	8611	0.13	411.9

CE: conductividad eléctrica, pH: potencial de hidrógeno H⁺, Eh: potencial redox, SS: contenido de sólidos solubles (°Bx); AO: ácidos orgánicos, N-NH₄⁺: nitrógeno amoniacal, K: potasio.

Los valores obtenidos, entre 3.56 y 9.78 dS/m, se encuentran en un rango cercano a lo informado por López *et al.* (2023) para estos tipos de fermentos, con 6.5-7.2 dS/m. Estos resultados indican una alta salinidad en los productos obtenidos, con una alta concentración de sólidos disueltos en forma de iones, por lo que se hace necesario disolverlos antes de ser utilizados.

En relación con los valores de pH, estos fueron variables. El bioproducto IHPLUS® BF presentó un pH ácido, mientras que los fermentados mostraron un pH ligeramente ácido, excepto en la formulación con urea y en la mezcla, que tendieron a la neutralidad. Esta variable es de gran importancia para evaluar la calidad de los abonos, ya que influye en la solubilidad de los nutrientes y la actividad microbiana. Se ha encontrado que el pH más apropiado en los biofertilizantes generalmente oscila entre 4.5 y 7.5 (Peña *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2021).

Los valores de pH de este estudio son consistentes con los reportados por Criollo *et al.* (2011), quienes encontraron variaciones de pH en los fermentos líquidos de

excretas de vaca desde 4.5 hasta 6.5, con un promedio de 5.5. Además, Ortega *et al.* (2019) informaron un pH de 4.2 para un biofermentado líquido de excretas de vaca con adición de fósforo y nitrógeno, semejante al obtenido en este experimento en la mezcla de NPK (4.80).

El potencial redox es una medida de la capacidad de una solución para ganar o perder electrones, y en la biodigestión anaeróbica, es crucial mantenerlo dentro de un rango específico para permitir un crecimiento adecuado de los microorganismos. Según Varnero (2011), el valor óptimo de potencial redox debe oscilar entre 220 mV y 350 mV, a un pH de 7.0, lo que se encuentra en línea con el estudio de caracterización de bioles de fermentación anaeróbica de excretas bovinas realizado por Cano *et al.* (2016), en el cual se observaron valores de potencial redox de $308,38 \pm 49,036$ mV.

En la presente investigación se observó un alto potencial redox para todos los biofermentados (tabla 3), por encima de lo mínimo antes señalado, por lo que se determinó que los valores de este parámetro en los tratamientos con zeolita y calcio, así como en el IHPLUS® BF empleado en el proceso de elaboración, fueron los más adecuados.

Los valores registrados en los biofermentados de la fórmula NPK (365,19 mV), urea (457,29 mV) y, la mezcla de los minerales (416,59 mV), están claramente por encima del rango reportado en la bibliografía consultada, lo que indica que en el proceso de fermentación de estos biopreparados podría haberse generado un ambiente altamente oxidante. Este tipo de ambiente no es favorable para los procesos biológicos y la estabilidad de ciertos compuestos. De hecho, se ha

demostrado que el potencial redox afecta la estabilidad de los enlaces disulfuro en las proteínas (Smardz *et al.*, 2022) y tiene influencia en la solubilización y disponibilidad de nutrientes como el fósforo, el hierro y el nitrógeno, así como en la interacción entre las plantas y los microorganismos endófitos que les proporcionan nutrientes y las protegen del estrés ambiental (Verma *et al.*, 2021).

Los grados Brix (°Bx) son una medida de la concentración de sólidos disueltos en una solución y, en el caso de los biofertilizantes líquidos, pueden ser un indicador de la calidad y la eficacia del proceso de fermentación. Un aumento en este parámetro puede indicar una mayor concentración de nutrientes y una adecuada disponibilidad de energía para los organismos asociados a las plantas.

En el estudio realizado, los resultados obtenidos oscilaron entre 3,01 y 7,03 °Bx. Yono *et al.* (2010), mencionaron que los digestores para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado tenían 7,4 y 9,2 °Bx.

Se conoce que el nitrógeno amoniacal se produce, principalmente, a través de la descomposición de materia orgánica, como las deyecciones líquidas y sólidas (orina y estiércol) y residuos avícolas, por la degradación de proteínas y urea durante la digestión anaeróbica (Coraspe-León *et al.*, 2009).

En este sentido, el biofermentado a base de urea presentó el mayor contenido de nitrógeno amoniacal, seguido del de formula completa NPK, lo cual se explica por el contenido de N en ambos tratamientos, principalmente en el de urea, la cual es una fuente de nitrógeno amoniacal que se libera fácilmente en el proceso de fermentación.

Es importante aclarar que el nitrógeno amoniacal es una forma de nitrógeno que puede perderse fácilmente en forma de amoníaco gaseoso a pH superiores de 7 (Möller y Müller, 2012), especialmente cuando el almacenamiento es más prolongado y mayor la manipulación (Tran *et al.*, 2011); lo que podría representar una pérdida de nutrientes valiosos (Bleizgys y Naujokienė, 2023). De ahí la importancia de tomar medidas para reducir la volatilización de este componente, a través de la aplicación de cultivos de microorganismos eficientes, la creación de un ambiente de anaerobiosis máxima y, el mantenimiento del pH de los fermentados en rangos inferiores de 6, condición en la cual es mayor la absorción y retención de nitrógeno amoniacal en forma de amonio, lo que ocurre en el caso de las fermentaciones evaluadas, todas basadas en la combinación de estiércol vacuno con IHPLUS® BF y minerales.

Los contenidos de nitrógeno amoniacal de los biofermentados de calcio, urea, fórmula completa NPK y mezcla en este estudio son consistentes con los encontrados en otras investigaciones, donde los biofermentados líquidos elaborados a partir de excretas de vaca suelen tener una alta concentración de nitrógeno total y amoniacal (Jara-Samaniego *et al.*, 2021).

El contenido más alto de ácidos orgánicos se apreció en el biofermentado de fórmula completa NPK, lo que sugiere que la actividad microbiológica en las etapas iniciales de la fermentación, principalmente por *Bacillus*, levaduras y actinomicetos, estimuló la utilización eficiente del fertilizante NPK, mediante la solubilización de N, P y K. La presencia de altos niveles de ácidos orgánicos

promueve la presencia de bacterias promotoras del crecimiento, según Nabi *et al.* (2021).

Al respecto, se ha demostrado que las enmiendas orgánicas influyen en la abundancia, diversidad y composición de las poblaciones microbianas, aumentando las actividades de las fosfatasa del suelo, que participan en la mineralización del fósforo (Luo *et al.*, 2019). La capacidad de las bacterias solubilizadoras de fosfatos para producir ácidos orgánicos se ha relacionado con su capacidad para solubilizar fosfatos de calcio y aluminio, estando relacionados diferentes ácidos orgánicos con la solubilización de diferentes fosfatos (Prijambada *et al.*, 2009).

Los ácidos orgánicos como el ácido cítrico, ácido acético y ácido láctico, condicionan la solubilización de fósforo, potasio y otros minerales en el suelo y los abonos, haciéndolos disponibles para las plantas. Estos están presentes en los biofertilizantes y promueven el crecimiento saludable de las plantas (Harahap *et al.* (2022). También, se destaca la producción de ácidos húmicos en los procesos de fermentado y compostaje. Por ejemplo, un estudio realizado por (Rodríguez *et al.*, 2017) mostró que los ácidos húmicos extraídos de residuos de oliva y materiales orgánicos tratados propiciaron aumentos en el crecimiento de las plantas de maíz. Por último, se encontraron contenidos de K mayores en los fermentados de formula completa NPK y mezcla de minerales, lo que estuvo relacionado con la presencia de este mineral en las formulaciones.

3.1.2. Caracterización de las soluciones para el riego

Las soluciones de los fermentados preparados para el riego, aunque con valores más bajos, exhibieron la misma tendencia en la conductividad eléctrica que los biofermentados, siendo los más altos los encontrados en los tratamientos con fórmula completa NPK, seguido de urea y calcio (tabla 4).

Tabla 4. Características de las soluciones preparadas para el riego

Tratamientos	CE (dS/m)	pH	Eh (pH7) (mV)	SS (°Bx)	NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ mg/L	K ⁺
Zeolita	1,45	5,10	379,71	0,01	28.10	5,54	87.1
Calcio	2,90	5,10	405,71	0,00	21.80	185,12	342.7
Urea	3,03	6,40	407,41	0,01	28.80	381,1	243.9
Formula completa NPK	5,46	4,80	383,01	0,03	38.10	411,29	636.1
Mezcla	2,38	5,50	381,31	0,00	27.80	231,46	151.9
IHPLUS® BF	0,92	4,30	404,51	0,00	28.20	1,44	67.8

CE: conductividad eléctrica, pH: potencial de hidrógeno H⁺, Eh: potencial redox, SS: contenido de sólidos solubles (°Bx), NO₃⁻: nitrógeno nítrico, N-NH₄⁺: nitrógeno amoniacal, K: potasio.

Estos resultados son comparables con los reportados por Zagoya *et al.* (2015) y Pérez *et al.* (2017), quienes registraron valores entre 0.8 y 2.3 dS/m. Este es un parámetro importante de calidad de los bioabonos, porque indica la concentración de sales (López, 2023), lo que justifica la importancia de las disoluciones y los procedimientos requeridos para su uso en la fertilización (Quiñones, 2016). Sin embargo, no se puede afirmar que únicamente este factor esté causado por la concentración de sales, ya que otros elementos pueden influir, como la presencia de microorganismos y componentes químicos (Laines y Hernández, 2017). La

magnitud del efecto del producto dependerá de la calidad del agua utilizada para el riego, ya sea previo o aplicado de forma simultánea, así como de las características físico-químicas del suelo.

En un estudio sobre el efecto del estiércol líquido de ganado bovino en la producción de tomate en un sistema hidropónico, Capulín-Grande *et al.* (2011) demostraron que las soluciones de fermentado complementado con fertilizantes con una conductividad eléctrica de 2 dS/m tuvieron un mejor rendimiento en términos de materia seca y producción de tomate que las de 4 dS/m.

El pH osciló entre medianamente ácido en la mayoría de las soluciones y casi neutro en el tratamiento con urea y fue más alto, en valores absolutos, en el biofermentado con urea. El potencial redox estuvo en el rango de 370 a 400 mV. Estos se encontraron dentro del rango adecuado establecido, según (Husson, 2013). Este autor señaló que los límites de Eh (pH 7) para el crecimiento de las plantas oscilan entre +300 y +700 mV, y las condiciones reducidas (<+300 mV) son particularmente limitantes para muchas especies vegetales.

El aumento discreto del potencial redox en las soluciones, comparado con los biofermentados, pudo estar relacionado con la oxigenación que implica la disolución con agua.

Tanto el valor absoluto del contenido de sólidos solubles (°Bx), como el de nitrógeno amoniacal y potasio fueron mayores en la solución del fermentado de fórmula completa NPK, en contraste con la solución de IHPLUS®BF. El fermentado enriquecido con zeolita estuvo entre los de menor concentración de nitrógeno

amoniaco y potasio. Esto se explica por las correlaciones estrechas y significativas que se establecieron entre las soluciones y los biofermentos que les dieron origen.

En la solución del biofermento enriquecido con NPK, también se destacaron el contenido de sólidos solubles y las mayores concentraciones de nitrógeno nítrico el que alcanzó valores cercanos al fermentado propuesto por (Pedraza Luengas *et al.*, 2011), el cual fue enriquecido con minerales naturales y, fue superior, a los bioles propuestos por (Robaliño, 2011), los cuales se caracterizan por otros procedimientos y el uso de otras materias primas.

Los resultados hasta aquí expuestos indican que los biofermentados enriquecidos con urea y NPK representan una alternativa prometedora. Estos biofermentados exhiben características superiores en términos de pH, potencial redox, sólidos solubles, ácidos orgánicos, nitrógeno nítrico y amoniaco y potasio, como se ha demostrado en el presente estudio mediante la matriz de correlación.

3.2. Respuesta de las plantas en vivero a los fermentados minerales

3.2.1. Respuesta de la emisión de los brotes y hojas

La brotación de estacas de morera en vivero puede verse influenciada por varios factores, como la longitud de las estacas, el uso de estimuladores de enraizamiento y la fertilización foliar. Según Villalta-Zúñiga (2022), la propagación vegetativa de esta especie ha demostrado ser exitosa en condiciones de invernadero, con un índice de brotación que oscila entre el 70% y el 80% y, un promedio de 3 a 4 ramas por estaca.

Al analizar los resultados que se muestran en la Tabla 5, se puede observar que el número de brotes con hojas en los tratamientos presentan valores sin diferencias significativas entre ellos, con un rango de 1.4 a 1.93. Los tratamientos de fermentado de zeolita, fermentado de urea y fermentado de fórmula completa NPK mostraron los valores absolutos más altos, mientras que el control y el fermentado de calcio presentaron valores absolutos ligeramente más bajos.

Tabla 5. Respuesta de la emisión de los brotes y hojas

Indicadores/Tratamientos	Número de brotes con hojas	Número de hojas
Control	1.87	12.33
Fermentado de zeolita con IHPLUS® BF	1.93	11.27
Fermentado de calcio con IHPLUS® BF	1.6	14
Fermentado de urea con IHPLUS® BF	1.87	15.27
Fermentado de fórmula completa NPK con IHPLUS® BF	1.93	15.03
Mezcla de la combinación de los 4 fermentados	1.4	14.8
Media X (\sqrt{x})	1.77 (1.29)	13.76 (3.50)
P \leq 0.05	0.5731	0.8675
EE (\sqrt{x})	0.03	0.14
CV (\sqrt{x})	24.9	35.54

En relación al número de hojas, los tratamientos variaron entre 11.27 y 15.27, sin diferencias significativas. Los tratamientos de fermentado de urea y fermentado de fórmula completa NPK mostraron los valores absolutos más altos, seguidos por el fermentado de calcio y la mezcla. Por otro lado, el control y el fermentado de zeolita presentaron los valores absolutos más bajos.

El coeficiente de variación (CV) fue mayor para el número de hojas que para el número de brotes con hojas, lo que indica una mayor variabilidad en los datos del número de hojas.

Estos resultados sugieren que las características de los biofertilizantes no tuvieron un impacto significativo en la capacidad de rebrote de las estacas plantadas sobre el sustrato empleado, aunque numerosas investigaciones han demostrado que, el uso de biofertilizantes y extractos vegetales, pueden garantizar una mayor emisión de brotes en esta especie.

Boschini y Rodríguez (2002) señalaron que, la presencia y concentración de fitohormonas en biofermentados evaluados, en su relación con el sustrato, pueden tener un efecto positivo, con incrementos entre el 11 y el 15% en la brotación total de las estacas cuando se aplican estos estimulantes.

En ese sentido, Borges *et al.* (2014) también observaron que los tratamientos que emplearon humus de lombriz como sustrato, con estacas de morera inoculadas o no por inmersión en *Azotobacter*, mostraron un aumento significativo en el número de yemas en brotación, con un incremento del 58% y 47%, respectivamente, en comparación con el grupo de control. Según estos autores, este resultado puede atribuirse a la presencia de enzimas, hormonas activas, nutrientes y microorganismos en el humus, que estimulan el crecimiento de la planta y promueven la absorción de nutrientes. Además, la fijación biológica de nitrógeno y la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento por parte del *Azotobacter* también podrían haber contribuido a este efecto positivo. También Aguavil Jaramillo *et al.* (2023) encontraron que, la aplicación de bioestimulantes

en la morera, tuvo un impacto positivo en varias variables, incluyendo el número de brotes. Además, se ha investigado el efecto estimulador de los extractos vegetales en estacas de morera durante su enraizamiento (Borges *et al.*, 2016).

El mejor resultado en la emisión de hojas en el fermentado con urea pudiera deberse que este tratamiento, con su alto contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺), sirve como una fuente de nitrógeno de fácil absorción para las plantas. De manera similar, el fermentado de la fórmula completa NPK contiene concentraciones elevadas de nitrógeno nítrico (NO₃⁻) y potasio (K⁺), nutrientes esenciales para los procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la formación de tejidos. Estos hallazgos concuerdan con los de Ni *et al.* (2020) , quienes plantearon que niveles moderados de nitrógeno favorecen el crecimiento de las plantas, la acumulación de biomasa, y estimulan características fotosintéticas, la concentración de compuestos nitrogenados y la actividad enzimática. Por otro lado, la mezcla mostró valores intermedios de nitrógeno amoniacal y potasio, lo que contribuye a suplir los requerimientos nutricionales de la planta.

Estos resultados están en línea con los hallazgos de Kumari *et al.* (2018), quienes observaron que diferentes formulaciones de abono basadas en orina de vaca, como la decocción de orina de vaca con hojas de eucalipto y semillas de especies vegetales locales; orina de vaca sola; orina de vaca con estiércol de vaca, harina y tierra forestal y, una preparación con orina de vaca y harina de garbanzos, mostraron un mayor número de hojas por planta, en comparación con el tratamiento convencional de suelo + estiércol de vaca. Específicamente, la formulación con orina de vaca + estiércol de vaca + harina y tierra forestal, en una

concentración del 60%, fue la que proporcionó el máximo número de hojas por planta.

Las observaciones de estas variables sugieren que los tratamientos de fermentado de urea y fermentado de fórmula completa NPK pueden tener un efecto positivo en el número de brotes con hojas y el número de hojas en las estacas de morera sembradas en vivero.

3.2.3. Respuesta de las características fisiológicas

En esta investigación, las características fisiológicas de las plantas se distinguieron por valores entre bajos y medios para la concentración de clorofila y de nitrógeno relativo (NBI), además de valores medios de flavonoles y antocianina (tabla 6).

Tabla 6. Características fisiológicas de las plantas

Indicadores/Tratamientos	Chl ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	NBI (Índice)	Flav (absorbancia relativa)	Anth (absorbancia relativa)
Control	20.80 ^b	16.05 ^b	1.34 ^{ab}	0.14 ^c
Fermentado de zeolita con IHPLUS® BF	22.30 ^{ab}	15.86 ^b	1.47 ^a	0.17 ^a
Fermentado de calcio con IHPLUS® BF	22.51 ^{ab}	19.20 ^{ab}	1.27 ^{bc}	0.16 ^{ab}
Fermentado de urea con IHPLUS® BF	20.34 ^b	18.30 ^{ab}	1.13 ^c	0.15 ^b
Fermentado de fórmula completa NPK con IHPLUS® BF	24.20 ^a	21.26 ^a	1.18 ^{bc}	0.12 ^c
Mezcla de la combinación de los 4 fermentados	22.41 ^{ab}	20.00 ^a	1.13 ^c	0.13 ^c
P \leq 0.05	0.1711	0.0154	0.0002	0.0001
CV	23.32	32.05	24.07	20.52
EE+	0.45	0.51	0.03	0.0026

Chl: Clorofila; NBI: nitrógeno relativo; Flav: flavonoles; Anth: antocianinas

La clorofila está estrechamente relacionada con varios parámetros fisiológicos. En primer lugar, se ha observado una correlación positiva entre la clorofila y la tasa

fotosintética, lo que indica que niveles más altos de clorofila están asociados con una mayor eficiencia fotosintética. Además, se ha encontrado una relación entre la clorofila y el contenido relativo de nitrógeno (Cabello, 2019), así como con el rendimiento agrícola y la productividad de los cultivos (Del Pozo *et al.*, 2016).

No se encontró suficiente literatura referida a estos parámetros en plantas de morera aviveradas, por lo que se compararon con otras especies vegetales. En este sentido, Cabello (2019), en diferentes variedades de trigo, detectó contenidos de clorofila superiores, entre 34.52 y 40.89%. También son mayores los valores de flavonoles, entre 1.65 y 1.69 absorbancia relativa, los de antocianinas (0.21 y 0.33 abs. rel.) y los de NBI®, con 20.77-24.95. Por su parte, Cerovic (2012) reportó, en el propio cultivo, valores de 30 y hasta 60% de clorofila, un índice NBI® de 10 a 25 y compuestos fenólicos entre 2 y 3 abs. rel. En estudios con acelga, manejada con fertilización nitrogenada de 0 a 320 kg N/ha, Rivacoba *et al.* (2014) reportaron contenidos medios de clorofila entre 45 y 52 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y NBI® de 28 a 38, muy superiores a los encontrados en este estudio con morera.

En todos los casos, las determinaciones fueron realizadas como medida indirecta, a través del sensor Dualex. Actualmente se utilizan estos métodos de reflectancia y fluorescencia en regiones específicas del espectro para el diagnóstico del estado del nitrógeno en las plantas; su contenido relativo NBI® se reconoce como un indicador directamente relacionado con el contenido de nitrógeno másico y es menos sensible a las variaciones de las condiciones ambientales que la clorofila (Cerovic, 2012). Rivacoba (2014) demostraron que, el contenido relativo de

nitrógeno (NBI®), detecta mejor las variaciones del contenido del nitrógeno total en hoja en condiciones de deficiencia de fertilización nitrogenada.

En cuanto a los tratamientos, la concentración de clorofila y de nitrógeno relativo mostraron diferencias significativas a favor del fermentado de NPK, en comparación con el control y el biofermentado de urea, aunque no difirió del resto de los biofermentados.

El biofermentado de zeolita con IHPLUS® BF presentó los mayores valores de metabolitos primarios, sin diferir del tratamiento control para los flavonoles y del tratamiento con calcio, para las antocianinas.

Estos indicadores también pueden ser detectados mediante métodos de reflectancia y fluorescencia y, ambos, se consideran mecanismos moleculares de tolerancia a la falta de nutrientes y agua (Gao *et al.*, 2019) y son potentes antioxidantes que pueden ayudar a restaurar el equilibrio redox celular (Jain *et al.*, 2015).

Estos polifenoles juegan un rol importante como defensa cuando las plantas sufren estrés oxidativo, a consecuencia de los factores ambientales, como déficit o exceso de humedad, disponibilidad de nutrientes o salinidad en el suelo. Sus concentraciones tienden a variar de un sitio a otro (Lattanzio, 2013), aumentando sus tenores como respuesta antioxidante estimulada por el estrés. Debido a ello, Pérez *et al.* (2016) observaron, en plántulas de henequén (*Agave fourcroydes*) variedad Sac K, que en condiciones de estrés hídrico disminuyeron los contenidos de clorofila; mientras aumentaron los fenoles solubles, terpenos, flavonoides y

antocianinas. Farías *et al.* (2019) demostraron que, en condiciones de suelo con exceso de sales solubles, el contenido de flavonoides aumentó.

Con respecto a la morera, su respuesta fisiológica al estrés es compleja y multifacética. Liu *et al.* (2019) descubrieron que sufre alteraciones significativas en la relación raíz/brote, la fluorescencia de la clorofila, el carbono total y la reasignación de iones, cuando se somete a un estrés combinado de sal y sequía. El autor identificó además altas correlaciones entre la fluorescencia de la clorofila y los parámetros químicos internos en las frutas de morera. Finalmente, Ackah *et al.* (2021) revelaron una respuesta diferenciada de metabolitos en hojas de morera bajo estrés por sequía, con alteraciones significativas en los niveles de lípidos, polifenoles, ácidos orgánicos, carbohidratos y otros metabolitos.

Los mejores valores de clorofila y nitrógeno relativo observados en las plantas tratadas con las soluciones de los biofermentados con NPK y con la mezcla de minerales, contrastaron con los valores más bajos de flavonoles y antocianina, lo que demostró que estos tratamientos garantizaron un ambiente óptimo para el crecimiento y desarrollo de las plantas, sin provocar una estimulación fisiológica hacia la generación de metabolitos secundarios.

Sobre este aspecto, se ha encontrado que, en el cultivo de morera la concentración de clorofila a o b y de carotenoides, la tasa fotosintética neta, la tasa de transpiración y, la conductancia estomática, son generalmente mayores en plántulas de morera inoculadas con microorganismos benéficos, como los hongos micorrízicosarbusculares (HMA), comparado con la no inoculación. La concentración de nitrógeno total, aminoácidos esenciales, histidina, prolina,

proteína soluble, azúcar y ácidos grasos también aumentó significativamente en las plántulas de morera inoculadas con HMA. En condiciones de sequía, la morera puede ajustar su metabolismo fisiológico para disminuir su consumo de agua, aumentar su eficiencia y mejorar su capacidad fotosintética para mantener su crecimiento normal (Shi *et al.*, 2016).

Sugiyama (2016) determinó que el contenido de ácido clorogénico y flavonol en las hojas de morera disminuyó con el aumento de los niveles de nitrógeno.

3.2.4. Supervivencia

Con respecto a la supervivencia de las plantas aviveradas, expresada a través del número de plantas vivas, se observó que, a los 90 días de la siembra, los tratamientos que mostraron mejores valores relativos fueron: biofermentado con zeolita, mezcla de minerales, calcio y la fórmula completa NPK, como se muestra en la figura 1. Dichos tratamientos superaron el 80% de plantas con ramas y hojas. El control mostró el menor número de plantas vivas, con un valor del 60%, seguido del tratamiento con urea, que tuvo una supervivencia del 73%.

Estos resultados concuerdan con investigaciones de (Aref Hawramee *et al.*, 2019) y (Bharathi *et al.*, 2020) que demostraron los efectos beneficiosos del IBA y otros promotores de crecimiento orgánicos, como Orgafol, en la morfogénesis de raíces y la tasa de supervivencia de esquejes.

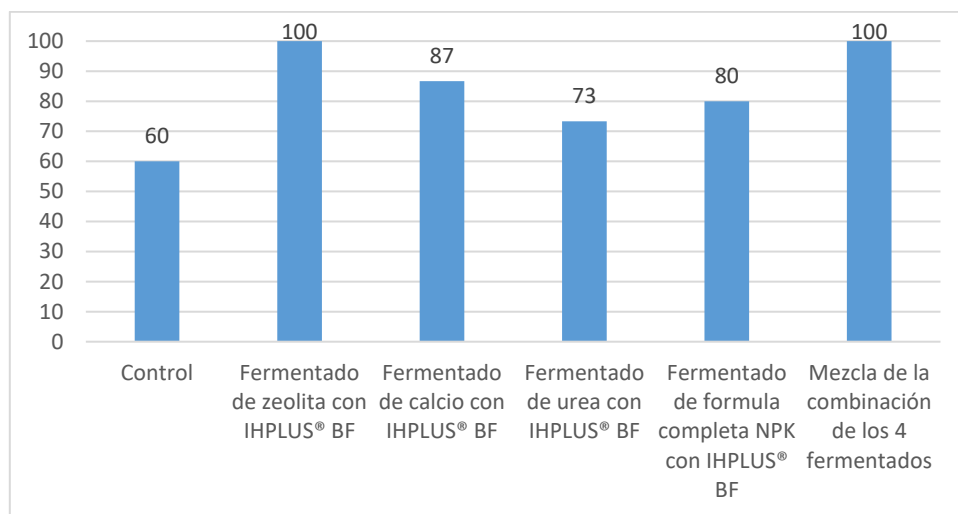


Figura 1.Supervivencia de las plantas.

La diferencia y superioridad en el comportamiento de supervivencia entre los biotratamientos y el control puede explicarse por los altos niveles de nitrógeno, potasio, fósforo y materia orgánica presentes en las soluciones usadas en la fertilización. Además, se debe considerar el inicio más rápido de la actividad radicular, el cual depende en gran medida del estado nutricional de las estacas y la acción de las fitohormonas (Domínguez *et al.*, 2010).

En particular, el calcio se ha relacionado con el fortalecimiento de paredes celulares y tejidos, lo cual facilita la movilización de carbohidratos y el establecimiento de la planta (Feng *et al.*, 2023).

Se conoce que muchas especies de plantas responden eficientemente cuando se utilizan fitohormonas; las que determinan mayor tasa de emisión de hojasy de raíces, lo que garantiza la supervivencia y el desarrollo de la planta (Ruiz-Solsol y Mesén, 2010).

El estudio realizado por Martín *et al.* (2016) con la variedad yu-62, se demostró que el uso de agua con ácido naftalenacético (ANA) favoreció la supervivencia de

los propágulos. Este tratamiento propició un resultado superior comparado con el testigo; sin embargo, ningún valor superó el 90%. Igualmente, Martín *et al.* (2014) evaluaron el poder de reproducción de propágulos de morera en condiciones de vivero, sin el uso de sustancias enraizadoras; y constataron que la supervivencia inicial mostró un comportamiento similar al encontrado en el presente estudio; no obstante, después de transcurridos 80 días disminuyó la cantidad de plantas vivas. Por otro lado, la literatura reporta rangos de supervivencia entre 60-85.6% de esquejes de morera dependiendo del método de propagación, el tipo de sustrato el uso y las concentraciones de fitohormonas como el ácido indol-3-butírico (IBA) (Aref Hawramee, 2019; Chanotra, 2022). En este contexto, los resultados obtenidos en este estudio, superiores al 73% de supervivencia, se encuentran dentro del rango reportado e incluso lo superan para este tipo de plantas.

3.2.5. Respuesta de las características morfológicas

En cuanto a las características morfológicas de las plantas con 90 días de crecimiento (tabla 7), se observó que la altura de las plantas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, pero se observaron mayores valores absolutos en el tratamiento con fermentado de urea, con una diferencia respecto a la media del control mayor de 6 cm. La ausencia de diferencias significativas en la altura puede deberse a que este parámetro está sujeto a mayores variaciones, dependiendo de factores como el tamaño inicial de la estaca, momento de medición y condiciones de sustrato, según Medina (2007).

Tabla 7. Características morfológicas de las plantas

Indicadores/Tratamientos	Altura apical	Biomasa aérea	Biomasa radical	Longitud de raíces
---------------------------------	----------------------	----------------------	------------------------	---------------------------

	(cm)	(g)	(g)	(cm)
Control, sin fertiirrigación	36.06	19.23 ^{ab}	18.16 ^b	17.20 ^{bc}
Fermentado de zeolita con IHPLUS® BF	32.9	8.96 ^c	8.16 ^c	13.71 ^c
Fermentado de calcio con IHPLUS® BF	38.04	16.76 ^b	11.24 ^{bc}	14.50 ^{bc}
Fermentado de urea con IHPLUS® BF	43.36	24.68 ^a	28.23 ^a	19.14 ^{ab}
Fermentado de NPK con IHPLUS® BF	37.08	22.40 ^{ab}	10.25 ^c	19.50 ^a
Mezcla de los 4 fermentados	39.5	20.47 ^{ab}	13.14 ^{bc}	17 ^{bc}
P≤0.05	0.4858	0.0001	0.0001	0.05
CV	34.86	39.51	44.48	23.86
EE±	1.51	1.01	1.41	0.67

Se obtuvo una mayor biomasa aérea en los tratamientos de los fermentados con urea, fórmula completa NPK y mezcla de minerales, sin diferencia con el tratamiento control; mientras que, el fermentado de zeolita con IHPLUS® BF, presentó los valores más bajos, significativamente diferentes al resto.

La biomasa radical fue mayor significativamente con la aplicación de la solución del biofermentado de urea, con 28,23 g, al igual que la longitud de las raíces, aunque en este último indicador no difirió del tratamiento de fórmula completa, ambos con valores superiores a los 19 cm.

Sobre este comportamiento de las plantas, se conoce que el desarrollo del sistema radical depende de la actividad del meristemo apical de la raíz y la producción de meristemas radicales secundarios; y ello determina en la capacidad de extracción de nutrientes y agua, necesarios para el funcionamiento de las plantas (Evert, 2006). El nitrógeno presente en los biofermentados de urea y fórmula completa NPK, predominantemente en forma amoniacal, constituye un elemento mineral que las plantas requieren en mayor cantidad para los procesos de crecimiento y desarrollo; ya que forma parte de componentes de las células, como aminoácidos y ácidos nucleídos. Una absorción eficiente de nitrógeno

estimula el rápido crecimiento de las plantas, lo que se expresa rápidamente en acumulación de biomasa aérea y radical, así como en una mayor longitud de las raíces (Gastal y Lemaire, 2002), lo que ocurrió, en menor intensidad, en los demás tratamientos.

En este sentido, Narváez (2019) analizó el efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento y la diversidad de bacterias rizosféricas del cultivo de morera, y encontró que el mayor rendimiento de biomasa y hoja de morera se obtuvo con la aplicación de NPK inorgánico.

También Kumari (2018) observó, durante el aviveramiento de morera, que el uso de orina de vaca como abono proporcionó mayor altura de las plantas, ancho de la hoja y área foliar; pero cuando esta se combinó con estiércol de vaca + harina y tierra forestal garantizó una mayor longitud de las raíces; similar a lo encontrado en esta investigación con el biofermentado de urea.

Acerca de los beneficios de combinar, en los procesos de fermentación, residuos orgánicos con soluciones de microorganismos eficientes y minerales, para obtener bioabonos y biofertilizantes. Kumar *et al.* (2023) llamaron la atención sobre la combinación proporcional de auxinas y PSB, como una fuente promisoría para el crecimiento vegetativo de los esquejes de morera. Los autores obtuvieron que la combinación de AIB (ácido indol-3-butírico) + ANA (ácido naftaleno acético) fue el tratamiento más efectivo en la brotación temprana, el mayor número de hojas por esqueje (21,67), la longitud del brote (31,67 cm), el peso fresco (53,73 g) y seco (12,16 g) y porcentaje de brotes (86,66 %); mientras que con IBA se alcanzó el

porcentaje máximo de supervivencia (93,33%), diferente significativamente del control.

De manera similar, Nazar *et al.* (2019) informaron que una combinación de micronutrientes y biofertilizantes condujo a atributos superiores de crecimiento y rendimiento en morera. Pavankumar (2020) observó que la aplicación de lombricompost y *Azospirillum* incrementó significativamente los parámetros de crecimiento y rendimiento de esta planta. Setua *et al.* (2005) también encontraron que el manejo integrado de nutrientes, incluidos abonos orgánicos y biofertilizantes, tenía un impacto significativo en el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las hojas de morera. Estos estudios sugieren que el uso de biofermentados y abonos orgánicos puede influir positivamente en el crecimiento y rendimiento de esta importante forrajera proteica.

3.3. Correlación de los indicadores de la composición química de los biofermentados y sus disoluciones con algunas características morfológicas

El estudio de las relaciones entre los indicadores de la composición química de los biofertilizantes y sus disoluciones, con algunas características morfológicas de las plantas de *Morus alba*, arrojó datos interesantes sobre asociaciones significativas entre las formulaciones de los biofertilizantes y las plantas (tabla 8).

La altura apical se correlacionó positivamente con la biomasa aérea y el pH de los biofermentados. A su vez, la biomasa aérea mostró una correlación positiva y altamente significativa con el largo de la raíz, la emisión de hojas a los 90 días y el contenido de nitrógeno amoniacal, tanto en los biofermentados, como en la

solución, mientras que tuvo una correlación inversa con el contenido de flavonoles en las hojas.

Estas asociaciones podrían indicar que, a medida que se desarrolla el sistema radical y aumenta la disponibilidad de nitrógeno, se promueve el crecimiento foliar y aéreo general de la planta. Lu *et al.* (2015) demostró que la colonización con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) aumenta significativamente el crecimiento, la actividad de las raíces, el contenido de clorofila, fósforo y nitrógeno de las plántulas. Además, la aplicación foliar de bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Azotobacter*, mejora el rendimiento y la calidad de las hojas, lo que se ha demostrado en estudios previos (Sudhakar *et al.*, 2000).

Tabla 8. Matriz de correlaciones entre los indicadores de la composición química de los fermentados y sus disoluciones, con algunas características morfológicas y fisiológicas de las plantas.

	A.A.	B.A.	B.R.	L.R.	H90	Chl.	NBI	Flav.	Anth.	CE f	pH f	EH f	SS f	AO f	NH4 f	K f	CE d	pH d	EH d	SS d	NO3 d	NH4 d	K d	
A.A.																								
B.A.	0.83*																							
B.R.	0.78	0.66																						
L.R.	0.61	0.91**	0.56																					
H90	0.76	0.91**	0.36	0.81*																				
Chl.	-0.39	-0.15	-0.8	-0.03	0.23																			
NBI	0.44	0.58	-0.14	0.51	0.86*	0.64																		
Flav.	-0.87*	-0.90*	-0.47	-0.75	-0.95**	-0.04	-0.78																	
Anth.	-0.27	-0.71	-0.04	-0.78	-0.73	-0.37	-0.67	0.66																
CE f	0.62	0.87	0.32	0.76	0.95**	0.23	0.90*	-0.82	-0.72															
pH f	0.89*	0.61	0.93*	0.45	0.4	-0.84	-0.03	-0.62	-0.05	0.2														
EH f	0.75	0.76	0.75	0.8	0.61	-0.43	0.28	-0.76	-0.54	0.36	0.8													
SS f	0.31	0.69	0.11	0.73	0.8	0.46	0.81	-0.56	-0.68	0.90*	-0.11	0.17												
AO f	-0.14	0.27	-0.24	0.41	0.43	0.66	0.56	-0.1	-0.42	0.62	-0.51	-0.23	0.88*											
NH4 f	0.74	0.95**	0.61	0.95**	0.93*	-0.03	0.7	-0.84	-0.69	0.89*	0.45	0.66	0.83	0.5										
K f	-0.02	0.45	-0.32	0.58	0.62	0.76	0.84	-0.49	-0.94*	0.59	-0.3	0.25	0.65	0.54	0.47									
CE d	0.21	0.64	0.02	0.74	0.77	0.55	0.81	-0.52	-0.75	0.85	-0.18	0.19	0.98**	0.89*	0.79	0.75								
pH d	0.8	0.49	0.95**	0.36	0.25	-0.92*	-0.21	-0.46	0.13	0.06	0.98**	0.73	-0.2	-0.53	0.36	-0.46	-0.27							
EH d	0.66	0.39	0.66	0.11	0.29	-0.6	-0.01	-0.3	0.32	0.38	0.53	0.06	0.2	0.03	0.37	-0.52	0.03	0.56						
SS d	-0.18	0.25	-0.1	0.58	0.33	0.52	0.33	-0.06	-0.49	0.36	-0.35	0.14	0.69	0.79	0.5	0.58	0.77	-0.33	-0.31					
NO3 d	-0.08	0.37	-0.06	0.7	0.43	0.5	0.44	-0.24	-0.7	0.36	-0.2	0.39	0.61	0.6	0.54	0.74	0.73	-0.23	-0.49	0.93*				
NH4 d	0.71	0.96**	0.55	0.95**	0.96**	0.04	0.76	-0.86	-0.75	0.91*	0.41	0.65	0.85	0.52	1.00**	0.55	-0.82	0.31	0.32	0.51	0.56			
K d	0.08	0.5	-0.12	0.58	0.66	0.63	0.76	-0.37	-0.62	0.8	-0.34	-0.03	0.97**	0.96**	0.67	0.68	0.97**	-0.42	0.07	0.74	0.62	0.7		

Leyenda: A.A. (altura apical), B.A. (biomasa aérea), B.R. (biomasa radical), L.R. (largo de la raíz), H90 (hojas a los 90 días), Chl. (clorofila), NBI (índice relativo de nitrógeno), Flav. (flavonoles), Anth. (antocianinas), CE f (conductividad eléctrica del biofermentado), pH f (pH del biofermentado), EH f (potencial redox del biofermentado), SS f (sólidos solubles del biofermentado), AO f (ácidos orgánicos del biofermentado), NH4 f (nitrógeno amoniacal del biofermentado), K f (potasio del biofermentado), CE d (conductividad eléctrica de la disolución), pH d (pH de la disolución), EH d (potencial redox de la disolución), SS d (sólidos solubles de la disolución), NO3 d (nitratos de la disolución), NH4 d (nitrógeno amoniacal de la disolución), K d (potasio de la disolución), * significativo y ** muy significativo.

La biomasa radical también se asoció positivamente con el pH, tanto en los biofermentados, como en la solución. Asimismo, el largo de la raíz tuvo una correlación positiva y significativa con la emisión de hojas y el nitrógeno amoniacal en ambos insumos (biofermentados y solución).

El pH de los abonos y biofertilizantes constituyen un factor ambiental crítico para el crecimiento de las plantas (Brady y Weil, 2018). La tolerancia de las plantas a las condiciones ácidas y/o alcalinas varía considerablemente; sin embargo, todas tienen un rango bastante estrecho de condiciones óptimas de pH, superior a 6,5 y por debajo de 8 (Brady y Weil, 2018).

La emisión de hojas a los 90 días presentó una correlación positiva significativa con el nitrógeno relativo en las hojas, el nitrógeno amoniacal en los biofermentados y, con el nitrógeno amoniacal y la conductividad eléctrica de la solución.

La correlación entre los flavonoles en las hojas y algunas características, como la altura, biomasa aérea y emisión foliar fue inversa y muy ajustada. Esto puede explicarse porque los polifenoles sintetizados por las plantas responden a estímulos ambientales desfavorables (Mierziak *et al.*, 2014) y, en las condiciones de este estudio, los fermentados mejoraron las características morfológicas de las plantas y, a su vez, manifestaron una mejor respuesta en su interacción con el medio ambiente.

La correlación negativa entre las antocianinas en las hojas de morera y la concentración de potasio en los biofertilizantes aplicados podría deberse a que las antocianinas son metabolitos secundarios, cuya producción puede estar

influenciada por la disponibilidad de nutrientes, además de la madurez de la planta y las condiciones ambientales (Lugo-Morales *et al.*, 2021). En ese sentido, Huang *et al.* (2023) señaló que, en algunos casos, niveles insuficientes de potasio en las plantas, pueden estimular la síntesis de antocianinas. Por lo tanto, es posible que los mejores niveles de potasio en los biofertilizantes hayan propiciado que las plantas no necesitaran una mayor producción de antocianinas en las hojas como respuesta ante situaciones de estrés.

Varios parámetros de los biofermentados y las disoluciones mostraron correlaciones positivas y significativas. Por ejemplo, la conductividad eléctrica de los biofermentados, con los sólidos solubles y nitrógeno amoniacal, tanto en los biofermentados, como en la solución.

También se correlacionaron el pH de los biofermentados, con respecto al pH de las disoluciones, el contenido de sólidos solubles en las soluciones, con los ácidos orgánicos de los biofermentados, y la conductividad eléctrica y el potasio en dichas soluciones.

Se observó que, la conductividad eléctrica de los biofertilizantes, se correlacionó positivamente con los sólidos solubles y el nitrógeno amoniacal, tanto en los biofertilizantes, como en la solución. La conductividad eléctrica (CE) es un indicador de la cantidad de sólidos solubles y la actividad de los microorganismos en un suelo.

López (2023), al analizar diferentes tipos de biofertilizantes, elaborados con diferentes sustratos orgánicos e inoculados con microorganismos de montaña, encontró que, la conductividad eléctrica del biofertilizante inoculado con

microorganismos de montaña más gallinaza, mostró diferencias significativas en comparación con los otros tratamientos. Por otro lado, Jorge *et al.* (2018) evaluó el comportamiento del nitrógeno en el compost de la bosta de caballo (BC) y, en el rastrojo vegetal con estiércol de vaca (VR) y sus resultados mostraron que la conductividad eléctrica del compost producido por la bosta de caballo alcanzó un valor máximo de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el compost producido por el rastrojo vegetal con estiércol de vaca alcanzó un valor de 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Valores que se relacionan con la formación de nitrógeno amoniacal en la fase termofílica y nitratos en la fase de enfriamiento.

En el presente estudio, también fue altamente significativa la correlación positiva y altamente significativa encontrada entre el nitrógeno amoniacal en los biofertilizantes y el potasio en la solución, al igual que entre los sólidos solubles y los nitritos presentes.

Los resultados permiten inferir la existencia de importantes asociaciones entre las características evaluadas en las plantas y los parámetros analizados en los biofermentados y sus disoluciones. Dichas relaciones explican la efectividad de los tratamientos evaluados, y puede explicarse por el efecto combinado de micronutrientes y biofertilizantes (Nazar, 2019). De esta manera, se reconoce que el cultivo de morera respondió favorablemente a la biofertilización; ya que la presencia de microorganismos beneficiosos y bacterias fijadoras de nitrógeno, pudieron aumentar la disponibilidad de nitrógeno para la planta, lo que se refleja en un mayor índice de nitrógeno en las hojas (Bécquer *et al.*, 2021).

A partir de estos resultados, se puede inferir que los microorganismos presentes en los biofermentados desempeñaron un papel funcional crucial en el ciclo de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y el flujo de energía en la rizosfera, lo que coincide con lo informado en investigaciones realizadas por (Liu *et al.*, 2022).

Estudios previos han demostrado que el uso de biofertilizantes a base de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y *Azotobacter* aumenta las características de crecimiento y los metabolitos en los árboles jóvenes de morera (Reddy *et al.*, 2003). Además, Baqual (2013) señaló que la aplicación de biofertilizantes influye en los rasgos cuantitativos de la morera, como la longitud de los brotes, el número de brotes y el número de hojas.

Es importante tener en cuenta que el sustrato utilizado en esta investigación (mezcla de suelo con compost y Biochar), ha sido recomendada anteriormente, por su excelente calidad (Milera-Rodríguez, 2021; Pentón Fernández, 2023). Se sabe que el biochar tiene un impacto significativo en la distribución de metabolitos en la rizosfera, incluyendo metabolitos primarios y secundarios, como ácidos, alcoholes, ésteres, aminas, aminoácidos, esteroides y azúcares (Ren *et al.*, 2023). Las interacciones, entre los microorganismos incorporados mediante el uso de biofertilizantes y los exudados radiculares, desempeñan un papel fundamental en el efecto sinérgico entre estos elementos y el biochar (Xu *et al.*, 2021). Ahmed *et al.* (2017), determinaron que la aplicación de biocarbón, enriquecido con minerales, aumentó significativamente los parámetros de crecimiento y el

rendimiento de las hojas de las plantas de morera, al tiempo que mejoraron las propiedades del suelo y se disminuía la incidencia de enfermedades.

Un análisis preliminar sobre los efectos positivos del uso de estos biofermentados, en particular el fermentado con NPK y urea, sugiere la posibilidad de lograr un notable ahorro de insumos químicos para la nutrición de la morera. Se conoce que este cultivo requiere la aplicación de hasta 500 kg/ha/año de nitrógeno (N) y 400 kg/ha/año de potasio (K₂O) (Pentón *et al.*, 2014). Al aplicar las diluciones de los fermentados de NPK y urea, junto con IHPLUS® BF y agua, en dosis de 12,8 ml por planta cada 7 días durante tres meses, se logra disminuir los volúmenes de minerales requeridos. El uso del biofermentado con NPK durante ese periodo implicaría un consumo de 10,37 kg, mientras que el fermentado con urea requeriría 4,32 kg. De esta forma, se reduce el uso de NPK a 4.15% y de urea a 3.46% en comparación con las cantidades empleadas en el manejo convencional. Lo cual demuestra los beneficios del aprovechamiento de estas soluciones biológicas para una agricultura más sustentable.

Con respecto al potencial redox, aun cuando no se evidenciaron correlaciones significativas entre este indicador y las variables de respuesta de las plantas, cabe destacar que las reacciones de óxido-reducción, tanto como las ácido-base, son esenciales para mantener la vida (Husson, 2012); razón por la cual, Eh y pH pudieran ser, respectivamente y, en su conjunto, los mejores parámetros para explicar los sistemas suelo-planta-microorganismos. Así, se conoce, por ejemplo, que las reacciones oxido-reducción pueden involucrar una transferencia de

protones, especialmente en reacciones que involucran cambios del estado oxidativo de Fe, Mn and N (Hinsinger *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES:

- El IHPLUS® BF, mezclado con biofermentados de excretas de vaca enriquecidos con minerales, se distinguió por presentar valores adecuados de pH y potencial redox, alta conductividad eléctrica, y contenidos elevados de nitrógeno amoniacal y potasio para su uso en la fertilización de morera en condiciones de vivero.
- El biofermentado de NPK y la mezcla de los biofermentados fueron los tratamientos que mejor determinaron las características morfofisiológicas de la morera en condiciones de vivero.
- La aplicación de IHPLUS® BF mezclado con biofermentados de urea, con biofermentado de NPK y la mezcla de los biofermentados, garantizó un mejor metabolismo primario y secundario, reflejado en mayores contenidos de clorofila e índice de nitrógeno relativo (NBI) y flavonoides.
- Se corroboró la estrecha correlación positiva y altamente significativa entre la conductividad eléctrica de los biofermentados con los contenidos de sólidos solubles y de nitrógeno amoniacal, así como entre este último y el potasio.

RECOMENDACIONES:

- Recomendar el uso de IHPLUS® BF mezclado con biofermentados enriquecidos con minerales en el cultivo de morera en fase de vivero, e iniciar estudios con otras especies forrajeras.
- Profundizar en las investigaciones sobre nuevas formulaciones que garanticen un efecto óptimo en la respuesta de las plántulas y en la rizosfera, sobre suelos abonados o no.
- Implementar un programa de monitoreo para evaluar el efecto a largo plazo de la fertilización con este tipo de biofermentados en el cultivo de morera y en el contexto agroforestal pecuario.
- Considerar la posibilidad de patentar la tecnología de producción de estos biofermentados para proteger la propiedad intelectual.

NOVEDAD CIENTÍFICA:

- La investigación representa un avance en la búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente al combinar minerales de origen sintético biofermentados con sustratos de origen natural.
- Aporta conocimientos sobre el uso de biofermentados para estimular el crecimiento de *Morus alba* L., en condiciones de vivero, lo que podría contribuir a mejorar su tecnología de aviveramiento en condiciones de investigación.
- Evalúa el efecto de la combinación de nuevos fermentados minerales e IHPLUS® BF en el crecimiento de *Morus alba* (L.) yu-12 en condiciones de vivero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Ackah, M.; Guo, L.; Li, S. Y.; Jin, X.; Asakiya, C.; Aboagye, E. T. *et al.* DNA Methylation Changes and Its Associated Genes in Mulberry (*Morus alba* L.) Yu-711 Response to Drought Stress Using MethylRAD Sequencing. *Plants*. 11 (2):190. <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/2/190>. [17/5/2023], 2022.

Ackah, M.; Shi, Y.; Wu, M.; Wang, L.; Guo, P.; Guo, L. *et al.* Metabolomics Response to Drought Stress in *Morus alba* L. Variety Yu-711. *Plants (Basel)*. 10 (8):1636. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34451681/>. [8/12/2023], 2021.

Aguavil Jaramillo, F. L.; Freire Guillen, A. R. & González Buitrón, Karina Tatiana. Efectos de diferentes ácidos húmicos y fúlvicos en el proceso de germinación de la morera (*Morus alba*) en etapa de vivero. Santo Domingo de los Tsáchilas. *Reincisol*. 2 (4):161-185. <https://www.reincisol.com/ojs/index.php/reincisol/article/view/59>. [7/12/2023], 2023.

Aguirre Jiménez, I.; Carmona Moreno, Inmaculada; Nieto Cantero, J.; Recena Garrido, R.; García López, Ana María; Mena Guerrero, Yolanda *et al.* Vermicompostaje de residuos orgánicos y usos del producto final. Portal de Vídeo Didáctico de la Universidad de Sevilla: Universidad de Sevilla; 2022.

Ahalya, B. N.; Chikkalingaiah, Fatima Sadatulla & Murali, K. Bioassay Studies of Silkworm *Bombyx mori* L. on Tree Mulberry Genotypes in Different Seasons. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 9 (9). <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=19301&vol=9-9-2020&SNo=283>. [6/8/2023], 2020.

Ahmed, F.; Islam, M. S. & Iqbal, M. T. Biochar amendment improves soil fertility and productivity of mulberry plant. *Eurasian Journal of Soil Science*. 6 (3):226-237. <https://doi.org/10.18393/ejss.291945>. [7/12/2023], 2017.

Alarcon Camacho, J.; Recharte Pineda, D. C.; Yanqui Díaz, F.; Moreno LLacza, Sarita Maruja & Buendía Molina, Marilyn Aurora. Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*. 11 (1):67-73. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000100067. [27/7/2023], 2020.

Amores Mena, Melida Melania. *Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura*. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura: AMBIENTE Y DESARROLLO, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6738>. 2020.

Aramendis, R. H.; Mondaini, A. O. & Rodríguez, A. G. Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe.119. <https://ideas.repec.org/p/ectr/col022/68714.html>. [8/2/2024], 2023.

Aref Hawramee, O. K.; Aziz, R. R. & Hassan, D. A. Propagation of white mulberry *Morus alba* L. fruitless cultivar using different cutting times and IBA. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 388. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/388/1/012069>. [10/12/2023], 2019.

Bai, H.; Jiang, S.; Liu, J.; Tian, Y.; Zheng, X.; Wang, S. *et al.* Planting conditions can enhance the bioactivity of mulberry by affecting its composition. *Front Plant Sci.* 14:1133062. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10028076/>. [17/5/2023], 2023.

Ballal, S.; Pathak, K. & Sharma, S. R. Biocontrol de patógenos mediante una herramienta sostenible: Oportunidades y retos. *Salud, Ciencia y Tecnología.* 3 (412). <https://revista.saludcyt.ar/ojs/index.php/sct/article/view/412>. [25/10/2023], 2023.

Baqual, M. F. Economics of using biofertilisers and their influence on certain quantitative traits of mulberry. *African Journal of Agricultural Research.* 6 (27):3628-3631. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/A42BBC737185>. [12/12/2023], 2013.

Basmal, J.; Kusumawati, R. & Nurhayati. The role of microorganisms in solid biofertilizer production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 1137 (1):1755-1315. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1137/1/012037>. [28/7/2023], 2023.

Bécquer, C. J.; Puentes, Adelaida B.; Cabrera, Arachely; Hernández, María & Sánchez, Ana. Efecto de la inoculación con microorganismos benéficos en variables agroproductivas de *Morus alba*. *Cuban Journal of Agricultural Science.* 55 (2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2079-34802021000200009&script=sci_arttext. [28/7/2023], 2021.

Beltrán-Pineda, Mayra Eleonora & Bernal-Figueroa, Andrea Angélica. Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista*

- Mutis.* 12 (1):1771.
<https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Biofertilizantes-alternativa-biotecnologica-para-agroecosistemas/1858>. [27/7/2023], 2022.
- Bernal, Agustina. *Trichoderma harzianum en el control biológico de la fusariosis vascular del melón en semillero, mediante la utilización de diferentes soportes de inoculación y modificación de los sustratos de germinación de plántulas*. Tesis Doctoral: Ciencia agrarias, Universidad Politécnica de Cartagena (España)
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50267>. 2009.
- Bertomeu-Sánchez, J. R. Introduction. Pesticides: Past and Present. *HoST - Journal of History of Science and Technology*. 13 (1):1 - 27.
<https://sciendo.com/article/10.2478/host-2019-0001>. [28/7/2023], 2019.
- Bharathi, Saranga; Shanmugam, Ramachandra Prabhu; Tilak, M. & Ka, Murugesh. Studies on orgafol: A promising organic growth promoter, on the growth and development of mulberry cuttings. *International Journal of Chemical Studies*. 8 (4):1660-1663. <https://www.chemijournal.com/archives/2020/vol8issue4/PartP/8-3-468-487.pdf>. [19/5/2023], 2020.
- Bitá, C. E. & Gerats, T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front Plant Sci.* 4:273.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00273/full>. [17/5/2023], 2013.
- Bizzozero, F. *Biofertilizantes nutriendo cultivos sanos*. (Ed. Montevideo - Uruguay).
<http://www.lineaclave.org/web/download/biofertilizantes-nutriendo-cultivos-sanos-centro-uruguayo-de-tecnologias-apropiadas/#>. [31/8/2023], 2006.

Bleizgys, Rolandas & Naujokienė, Vilma. Ammonia Emissions from Cattle Manure under Variable Moisture Exchange between the Manure and the Environment. *Agronomy*. 13 (6):1555. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1555>. [4/10/2023], 2023.

Blitek, Katarzyna; Pruchniewicz, D.; Bąbelewski, P.; Czaplicka-Pędzich, Marta & Kubus, M. Dependence of the Distribution and Structure of the White Mulberry (*Morus alba*) Population in Wrocław on the Intensity of Anthropopressure and Thermal Conditions. *Int J Environ Res Public Health*. 19 (2):838. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8776231/>. [4/8/2023], 2022.

Borges, J. A.; Barrios, Mariana; Chávez, A. & Avendaño, R. Efecto de la fertilización foliar con humus líquido de lombriz durante el aviveramiento de la morera (*Morus alba* L.). *Bioagro*. 26 (3):159-164. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85732357004.pdf>. [10/12/2023], 2014.

Borges, J. A.; Júlvez León, María Angeles; Marturet, Elaine & Barrios, Mariana. Fitoestimulación en estacas de morera (*morus alba* L.) mediante extractos vegetales. *Bioagro*. 28 (3):215-219. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612016000300009&script=sci_arttext. [11/6/2023], 2016.

Borges, J. A.; León, María A. J.; Marturet, E. & Barrios, M. Fitoestimulación en estacas de morera (*morus alba* L.) mediante extractos vegetales (nota técnica). *Bioagro*. 28 (3):215-219. <http://www.scielo.org/ve/pdf/ba/v28n3/art09.pdf>. [7/12/2023], 2016.

Boschini, C. & Rodríguez, Ana María. Inducción del crecimiento en estacas de morera (*Morus alba*), con ácido indol butírico (AIB). *Agronomy Mesoamerican*. 13

(1):19-24.

<https://www.researchgate.net/publication/26507200> Induccion del crecimiento en estacas de morera Morus alba con acido indol butirico AIB. [19/5/2023], 2002.

Bose, P. C.; Srivastava, D. P.; Kar, R. & Bajpai, A K. Effect of phosphorus on growth, yield and nutrient uptake of rainfed mulberry (*Morus alba* L.) and its economics in Chotanagpur plateau of Jharkhand. *Journal of Crop and Weed*. 5 (1):23-26. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093248242>. [22/5/2023], 2009.

Brady, N. C. & Weil, R. R. *Elements of the nature and properties of soils*. (Ed. 4th: Pearson Prentice Hall. http://faculty.washington.edu/zabow/ESC210/210Syllabus_2007.doc. [2/11/2023], 2018.

Cabello, M. J. *Caracterización morfo-anatómica de la hoja bandera de distintos genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.)*. Pregrado Agronomía Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/11785>. 2019.

Cakmak, I. & Kirkby, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol Plant*. 133 (4):692-704. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18724409/>. [22/5/2023], 2008.

Cano, Maribel; Bennet, A.; Silva, Erika; Robles, S.; Sainos, U. & Castorena, H. Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*. 50 (4):471-479.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400471. [3/10/2023], 2016.

Cao, H.; Xin, Y. & Yuan, Q. Prediction of biochar yield from cattle manure pyrolysis via least squares support vector machine intelligent approach. *Bioresource technology*. 202:158-164.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415016545>. [7/10/2023], 2016.

Capulín-Grande, J.; Mohedano-Caballero, L.; Sandoval-Estrada, M. & Capulín-Valencia, J. C. Effect of liquid cattle manure and inorganic fertilizers on tomato yield and water use in a hydroponic system. *Chapingo Ser.Hortic*. 17 (2):105-114.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2011000200004&script=sci_abstract. [3/10/2023], 2011.

Carrillo Martínez, Cristina J.; Álvarez Fuentes, G. & Aguilar Benítez, Gisela. Análisis de la calidad del suelo bajo producción intensiva de chile (*Capsicum annum* L.) en la región irrigada por el acuífero, Calera, Zacatecas, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*. 40:942.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792022000100125&script=sci_arttext. [24/5/2023], 2022.

Castillo Martínez, J. Dosis y frecuencia de biofertilizantes en *Cucumis sativus* L. Municipio de Siuna RACCN Nicaragua. *Revista Universitaria del Caribe*. 21 (1):85-92. <https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/caribe/article/view/5508>. [27/7/2023], 2018.

- Castro, A. & Orozco, E. Cultivo de morera (*Morus* spp.) y su uso en la alimentación animal. *Publicaciones INTA. San José de Costa Rica*.40. <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/07/00447-manualmorera.pdf>. [26/7/2023], 2011.
- Cerovic, Z. G.; Masdoumier, G.; Ghazlen, N. B. & Latouche, G. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiol Plant*. 146 (3):251-260. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>. [5/12/2023], 2012.
- Coraspe-León, H. M.; Muraoka, T.; Ide Franzini, V.; Contreras Espinal, F. S. & Ocheuze Trivelin, P. C. Absorción de formas de nitrógeno amoniacal y nítrica por plantas de papa en la producción de tubérculo-semilla. *Agronomía Tropical*. 59:45-58. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100005&nrm=iso. [4/10/2023], 2009.
- Criollo, H.; Lagos, T.; Piarpuezan, E. & Pérez, Ruth. The effect of three liquid bio-fertilizers in the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Agronomía Colombiana*. 29 (3):415-421. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652011000300010&script=sci_arttext&tlng=en. [30/9/2023], 2011.
- Chanotra, S.; Muskan; Bhat, M. D. A.; Angotra, J.; Verma, G. R.; Langer, S. *et al.* Responsiveness of Mulberry Plant (*Morus alba* L.) towards the Agro-climatic Conditions and Its Influence on Growth and Yield Parameters under Sub-tropical Conditions of Poonch District of Jammu & Kashmir, India. *International Journal of*

Environment and Climate Change. 12 (12):736-746.

<https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/1509>. [17/5/2023], 2022.

Daga, Daiana Yael; Sequeira, N. D. & Vazquez, Patricia. Análisis de la distribución espaciotemporal de la conservación de nutrientes en suelos agrícolas de un sector de la Región Pampeana Argentina. *Cuadernos Geográficos.* 61 (2):160-182.

<https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/24329>. [8/10/2023], 2022.

Dasgupta, D.; Kumar, K.; Miglani, R.; Mishra, R.; Panda, A. K. & Bisht, S. S.

Chapter 1 -Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. (Ed. Recent Advancement in Microbial Biotechnology.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012822098600001X>.

[28/7/2023], 2021.

Del Pozo, A.; Yáñez, A.; Matus, I. A.; Tapia, G.; Castillo, D.; Sanchez-Jardón, L. *et al.* Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water-stress in a Mediterranean environment. *Front Plant Sci.* 7:987.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00987/full>. [21/12/2023],

2016.

Díaz Solares, Maykelis; Martín Martín, G. J.; Miranda Tortoló, Taymer; Fonte Carballo, Leydis; Lamela López, L.; Montejo Sierra, I. L. *et al.* Obtención y utilización de microorganismos nativos: el bioproducto IHPLUS®. *Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar.* 339916260.

https://www.researchgate.net/profile/Proyecto-Biocarbono-Cuba/publication/339916260_Obtencion_y_utilizacion_de_microorganismos_nativos_el_bioproducto_IHPLUS_R/links/5e6beb6fa6fdccf994c65093/Obtencion-y-

[utilizacion-de-microorganismos-nativos-el-bioproducto-IHPLUS-R.pdf](#). [22/4/2023], 2020.

Dominguez, J.; Edwards, C. A. & Subler, S. A comparison of vermicomposting and composting. *Biocycle*. 38:57-59. <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2016/04/Comparison%20of%20vermicomposting%20and%20composting.pdf>. [7/10/2023], 1997.

Domínguez, J.; Lazcano, Cristina & Gómez-Brandón, María. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas: Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta zoológica mexicana*. 26 (SPE2):359-371. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372010000500027&script=sci_abstract&tlng=pt. [21/12/2023], 2010.

Escalante Rebolledo, Ariadna; Pérez López, Guadalupe; Hidalgo Moreno, Claudia; López Collado, J.; Campo Alves, J.; Valtierra Pacheco, E. *et al.* Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*. 34 (3):367-382. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000300367&script=sci_arttext. [7/6/2023], 2016.

Evert, R. F. *Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. (Ed. Third Edition: John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0470047380>. [22/12/2023], 2006.

Farías, R.; Olivas, Martha P.; Flores, J. P.; Martínez, Nina del R. & Alvarez, E. Efecto de la salinidad y nitrógeno inorgánico del suelo en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Lycium berlandieri*. *Terra Latinoamericana*. 37 (1):81-

90. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792019000100081&script=sci_abstract&tlng=pt. [21/12/2023], 2019.
- Feng, D.; Wang, X.; Gao, J.; Zhang, C.; Liu, H.; Liu, P. *et al.* Exogenous calcium: Its mechanisms and research advances involved in plant stress tolerance. *Front Plant Sci.* 14:1143963. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10070993/>. [10/12/2023], 2023.
- Font-Palma, Carolina. Methods for the Treatment of Cattle Manure—A Review. *Journal of Carbon Research.* 5 (2):27. <https://www.mdpi.com/2311-5629/5/2/27>. [6/10/2023], 2019.
- Ganesh, R.; Kumar, M.; Kavipriya, J. & Krishnamoorthy, R. Constrains in Biofertilizer Development and Environmental Factors Influencing its Survival in Soil: A Review. *Agricultural Reviews.* 1 (1):6. <https://www.arccjournals.com/journal/agricultural-reviews/R-2348>. [24/5/2023], 2022.
- Gao, P.; Xiang, D.; Quilichini, T. D.; Venglat, P.; Pandey, P. K.; Wang, E. *et al.* Gene expression atlas of embryo development in Arabidopsis. *Plant Reprod.* 32 (1):93-104. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30762127/>. [21/12/2023], 2019.
- Garbanzo-León, G.; Alvarado-Hernández, A.; Vargas-Rojas, J. C.; Cabalceta-Aguilar, G. & Vega-Villalobos, E. V. Fertilización con nitrógeno y potasio en maíz en un Alfisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía mesoamericana.* 32:137-148. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v32n1/2215-3608-am-32-01-00137.pdf>. [21/5/2023], 2021.

- García, S. D. Bioestimulantes Agrícolas, Definición, Principales categorías y Regulación a nivel mundial. *Serie Nutrición Vegetal*. 94 (3):4. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulantes-agricolas-definicion-y-principales-categorias>. [28/7/2023], 2017.
- Gastal, F. & Lemaire, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J Exp Bot*. 53 (370):789-799. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>. [22/12/2023], 2002.
- Gautam, K.; Sirohi, Chhavi; Singh, N. R.; Thakur, Yourmila; Jatav, S. S.; Rana, Kiran *et al.* Chapter 1 - Microbial biofertilizer: Types, applications, and current challenges for sustainable agricultural production. (Ed.: Woodhead Publishing. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128216675000142>. [24/5/2023], 2021.
- Gómez, E. G. *La inteligencia de los bosques: Un viaje científico al corazón del bosque: estrategias, biología e historias del fabuloso ecosistema donde reinan los árboles*. (Ed.: Guadalmazán. <https://books.google.es/books?id=LXIXEAAAQBAJ>. [30/4/2023], 2022.
- González, K. T.; Vásquez Ponce, P. J.; Sánchez Gómez, K. B.; Tejada Asencio, J. M. & Aguirre Castro, C. A. Evaluación de cuatro dosis de biofertilizante líquido enriquecido con sales minerales y su efecto en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, CENTA Cuscatlán), utilizando la técnica de fertirriego. *Revista Agrociencia*. 4 (18):78-88. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/89>. [24/5/2023], 2021.

- Goswami, Lalit; Kushwaha, Anamika; Singh, A.; Saha, P.; Choi, Y. S.; Maharana, M. *et al.* Nano-Biochar as a Sustainable Catalyst for Anaerobic Digestion: A Synergetic Closed-Loop Approach. *Catalysts*. 12 (2):186. <https://www.mdpi.com/2073-4344/12/2/186>. [7/6/2023], 2022.
- Grageda-Cabrera, O. A.; Diaz-franco, A.; Peña-Cabriales, J. J. & Vera-Núñez, J. A. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 3 (6):1261–1274. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1376>. [28/7/2023], 2018.
- Hach, Company. LCK 365 Organic acid (fatty acid) / Butanoic acid. 1 ed2020. p. 3.
- Hach, Company. Nitrogen, Ammonia. 10 ed2015. p. 6.
- Hach, Company. Potasio, método de tetrafenilborato (7,0 mg/L). 9 ed2018. p. 8.
- Harahap, R. T.; Simarmata, T.; Herdiyantoro, D. & Azizah, I. R. Potential use of PGPR based biofertilizer for improving the nutrient availability in soil and agronomic efficiency of upland rice. *Kultivasi*. 21 (3). <https://jurnal.unpad.ac.id/kultivasi/article/view/40061>. [9/10/2023], 2022.
- He, L.; Zhong, H.; Liu, G.; Dai, Z.; Brookes, P. C. & Xu, J. Remediation of heavy metal contaminated soils by biochar: Mechanisms, potential risks and applications in China. *Environ Pollut*. 252 (Parte A):846-855. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31202137/>. [27/7/2023], 2019.
- Henríquez, E. *Evaluación de tres factores de enraizamiento en estacas de morera (Morus alba)*. Santiago de Chile: Facultad de Ciencia Agrónomas, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/101738>. 2004.

Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro Speck, N La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*. 40 (1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000100015&script=sci_arttext. [2/5/2023], 2019.

Hernández Pérez, María del Carmen; Martínez Zubiaur, Yamila ; Prieto Abreu, Marlen & Ruiz Barcenas, Adileidys. Sericultura: Bases científicas para su desarrollo sostenible en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 7 (1). <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/471>. [17/5/2023], 2017.

Higa, T. & Parr, J. F. *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. (Ed. Japan: International Nature Farming Research Center Atami. https://www.researchgate.net/profile/Carla-Boga/publication/271640001_Microbes_to_clean_indoor_pollutants/links/5757da2508aef6cbe35fc541/Microbes-to-clean-indoor-pollutants.pdf. [26/10/2023], 1994.

Hinsinger, P.; Plassard, C.; Tang, C. & Jaillard, B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant and Soil*. 248:43-59. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022371130939>. [2/11/2023], 2003.

Huang, H.; Zhao, X.; Xiao, Q.; Hu, W.; Wang, P.; Luo, Y. *et al*. Identification of Key Genes Induced by Different Potassium Levels Provides Insight into the Formation of Fruit Quality in Grapes. *Int J Mol Sci*. 24 (2). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9866991/>. [13/12/2023], 2023.

Husson, O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for

agronomy. *Plant and Soil.* 362:389-417.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1429-7>. [31/10/2023], 2013.

Husson, O. *Redox potential (Eh) and pH as indicators of soil conditions: possible application in design and management of conservation agriculture cropping systems*. eds. The 3rd International Conference. Hanoi 2012. p. 138.

https://www.academia.edu/download/30818068/Proceedings_Final.pdf#page=151.

[2/11/2023], 2012.

Jain, A.; Sinha, P.; Jain, A. & Vavilala, S. Estimation of flavonoid content, polyphenolic content and antioxidant potential of different parts of *Abrus precatorius* (L.). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences.* 7 (8):157-163.

<https://www.researchgate.net/profile/Prakriti-Sinha/publication/344295634>. [21/12/2023], 2015.

Jara-Samaniego, J.; Gallegos, J. & Cruz, A. Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes* [online]. 2021, vol. 22, n. 45. 22 (45):189-203.

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-24582021000100189&script=sci_arttext. [4/10/2023], 2021.

Johnson, O. & More, D. *Árboles: guía de campo.* (Ed. 1st edition.

[https://www.casadellibro.com/libro-arboles-guia-de-](https://www.casadellibro.com/libro-arboles-guia-de-campo/9788428214001/967347)

[campo/9788428214001/967347](https://www.casadellibro.com/libro-arboles-guia-de-campo/9788428214001/967347). [2006.

Jorge, Paola A.; Ortiz, L. F.; Calle, J. L.; Tellez, Lena; Césare, Mary Flor & Visitación, L. Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Producción + Limpia.* 13 (2).

<http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/1900>. [12/12/2023],

2018.

Juárez Lucas, P.; Palafox Bolívar, Marisol Priscila; Yáñez Muñoz, Rosa María; Terrazas Gómez, Marina Imelda & Morales Morales, H. A. Preparación de bioles orgánicos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 9 (2):124-136.

<https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/369>. [30/5/2023], 2021.

Kar, R.; Bose, P. C.; Majunder, S. K. & Das, B. D. Soil test based phosphorus and potassium fertilizer prescription for targeted yields of S1635 mulberry (*Morus alba* L.) under rainfed cultivation in Eastern Ghat region of Orissa. *Indian Journal of Sericulture*. 47 (1):126-129.

[https://www.researchgate.net/publicliterature.PublicPublicationPromoRequestFulltext.signup.html?publicationUid=288420834&ev=su_requestFulltext](https://www.researchgate.net/publicliterature/PublicPublicationPromoRequestFulltext.signup.html?publicationUid=288420834&ev=su_requestFulltext). [21/5/2023],

2008.

Katiyar, R. S.; Das, P. K.; Choudhury, P. C.; Ghosh, A. Kr.; Singh, G. B. & Datta, R. K. Response of irrigated mulberry (*Morus alba* L.) to VA-mycorrhizal inoculation under graded doses of phosphorus. *Plant and Soil*. 170 (2):331-337.

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00010486>. [22/5/2023], 1995.

Khawani, E.; Rizwan, B. & Noreen, S. Nutritional Composition, Bioactive Compounds and Hypolipidemic Effects of Mulberry Leaves. *NUST Journal of Natural Sciences*. 7 (2). <https://njns.nust.edu.pk/index.php/njns/article/view/101>. [6/8/2023], 2023.

Kumar, P.; Singh, V.; Johar, V. & Kotiyal, A. Impact of PGRs and Biofertilizers on shoot development in Mulberry (*Morus alba* L.) cuttings under Shade Net

- conditions. *REPRINTrs.3.rs-3435760/v1*. 1.
<https://www.researchsquare.com/article/rs-3435760/v1>. [21/12/2023], 2023.
- Kumar, S.; Tripathi, G. & Mishra, G. V. A comparative study on agrowaste conversion into biofertilizer employing two earthworm species. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 9 (2):280-285. <http://pubs.sciepub.com/aees/9/2/20>. [8/1/2024], 2021.
- Kumari, Anita; Devi, Sunita; Thakur, I.; Suman, Kritika & Sankhayan, Neeraj. Effect of organic formulations on growth of mulberry (*Morus alba* L.) at nursery stage. *International Journal of Chemical Studies*. 6 (6):974-978. <https://www.chemijournal.com/archives/2018/vol6issue6/PartQ/6-6-91-723.pdf>. [9/8/2023], 2018.
- Laines, J. R. & Hernández, L. U. Evaluación del efecto de biofertilizantes y fertilizante químico sobre el crecimiento de uspí (*couepia polyandra*) y caracolillo (*ormosia macrocalix*). *JEEOS*. 1 (1):35-50. <https://doi.org/10.19136/JEEOS.A1N1.1733>. [3/10/2023], 2017.
- Lattanzio, V. Phenolic compounds. Introduction. In: J. M. M. r. K.G. Ramawat, ed. *Nat. Prod.* Department of Sciences of Agriculture, Food and Environment, University of Foggia, Foggia, Italy p. 1543-1580, 2013.
- Leiva Trujillo, Brigitte Fabiola. *Elaboración de biofertilizante a partir de estiércol de ganado vacuno y efluente del proceso de fermentación cervecera mediante fermentación homoláctica*. Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología CIE-IA, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3740>. 2018.

Lesme Ascurra, María Sol; Fatecha Fois, D. A. & Rasche Álvarez, J. W. Fertilización orgánica en el cultivo de moringa de cuarto año y su efecto sobre la producción y extracción de n-p-k. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica*. 7 (1):86-102.

<https://revista.serrana.edu.py/index.php/rict/article/view/260>. [27/6/2023], 2023.

Levickienė, D.; Vaitkevičienė, N.; Jarienė, Elvyra & Mažeika, R. The content of macroelements in white mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Žemės ūkio mokslai*. 25 (4):3867.

<https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/zemesukiomokslai/article/view/3867>.

[17/5/2023], 2019.

Liu, X.; Shi, Y.; Kong, L.; Tong, L.; Cao, H.; Zhou, H. *et al.* Long-Term Application of Bio-Compost Increased Soil Microbial Community Diversity and Altered Its Composition and Network. *Microorganisms*. 10:462.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms10020462>. [21/12/2023], 2022.

Liu, Y.; Ji, D.; Turgeon, R.; Chen, J.; Lin, T.; Huang, J. *et al.* Physiological and Proteomic Responses of Mulberry Trees (*Morus alba* L.) to Combined Salt and Drought Stress. *Int J Mol Sci*. 20 (10):2486. <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/10/2486>. [27/4/2023], 2019.

López, J. M.; Estévez, K. J.; Mejía, Elena; Romero, Elym A. & Díaz, F. A. Caracterización Química de Biofertilizantes Inoculados con Microorganismos de Montaña, en el Departamento De Copán, Honduras. *Bionatura*. 8 (2):39. <https://doi.org/10.21931/rb%2F2023.08.02.39>. [3/10/2023], 2023.

- Lu, N.; Zhou, X.; Cui, M.; Yu, M.; Zhou, J.; Qin, Y. *et al.* Colonization with Arbuscular Mycorrhizal Fungi Promotes the Growth of *Morus alba* L. Seedlings under Greenhouse Conditions. *Forests*. 6 (3):734-747. <https://www.mdpi.com/1999-4907/6/3/734>. [12/12/2023], 2015.
- Lugo-Morales, Yudit; Díaz-Solares, Maykelis; Altunaga-Pérez, Nancy; Castro-Cabrera, Inelvis; Sande-Santos, Denise; Aparecida-Takahashi, Jacqueline *et al.* Contenido de antocianinas, vitamina C y actividad antioxidante en siete variedades de frutos de *Morus alba* L. *Pastos y Forrajes*. 44. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942021000100018&script=sci_arttext. [13/12/2023], 2021.
- Luo, G.; Sun, B.; Li, L.; Li, M.; Liu, M.; Zhu, Y. *et al.* Understanding how long-term organic amendments increase soil phosphatase activities: Insight into phoD- and phoC-harboring functional microbial populations. *Soil Biology and Biochemistry*. 139. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107632>. [8/12/2023], 2019.
- Maçik, M.; Gryta, A.; Sas-Paszt, L. & Fraç, M. The Status of Soil Microbiome as Affected by the Application of Phosphorus Biofertilizer: Fertilizer Enriched with Beneficial Bacterial Strains. *Int J Mol Sci*. 21 (21):8003. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33121206/>. [27/7/2023], 2020.
- Mahesh, R.; Anil, Pappachan; Debashish, Chakravarty & Sivaprasad, Vankadara. Improved mulberry productivity and resource efficiency through low-cost drip fertigation. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 68 (6):749 - 763. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03650340.2020.1852552?journalCode=gags20>. [4/8/2023], 2020.

Martín, G. J.; Noda-Leyva, Yolai; Olivera-Castro, Yuseika & Pentón- Fernández, Gertrudis. Uso de estimuladores en la supervivencia y desarrollo foliar de propágulos de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 39 (1):14-18. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v39n1/pyf02116.pdf>. [18/2/2024], 2016.

Martín, G. J.; Noda, Yolai; Pentón, Gertrudis; García, D. E.; García, F.; González, E. *et al.* La morera (*Morus alba*, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*. 30 (5):1. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942007000500001. [22/4/2023], 2007.

Martín, Giraldo J.; Noda, Yolai; Arias, Y.; Pentón, Gertrudis; Prieto, Marlene; Brunet, J. *et al.* Evaluación de la capacidad de reproducción vegetativa de variedades de morera (*Morus alba* L.). *Pastos y Forrajes*. 37 (2):151-157. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942014000200004&script=sci_arttext. [10/12/2023], 2014.

Martín Martín, G. J.; Noda Leyva, Yolai ; Pentón Fernández, Gertrudis; González Ybarra, Niurca; Martínez Pérez, Madeleidy; Díaz Solares, Maykelis *et al.* *Morus alba*, L. Una planta multipropósito para la producción animal en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 7 (1):12. <https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Sanchez-Rendon/publication/322405510>. [18/5/2023], 2017.

Mbarki, Sonia; Sytar, Oksana; Cerdà, Artemi; Zivcak, M.; Rastogi, A.; He, X. *et al.* Strategies to Mitigate the Salt Stress Effects on Photosynthetic Apparatus and Productivity of Crop Plants. p. 85-136, 2018.

Medina, María G.; García, D. E.; Clavero, T.; Iglesias, J. M. & López, J. Evaluación inicial de la morera (*Morus alba* L.) en condiciones de vivero. *Zootecnia Tropical*. 25 (1):43-49. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692007000100007. [11/6/2023], 2007.

Medina Ruela, J. J. *Metodologías utilizadas en la elaboración de compost en el Ecuador*. Tesis de pregrado: Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Técnica de BABAHOYO. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8509>. 2020.

Medina, V. A.; Quipuzco, U. L. & Juscamaita, M. J. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*. 76 (1):116-124. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/772>. [30/8/2023], 2015.

Mendonça, V.; Carvalho, Fernanda; Nogueira, Paula ; Henrique, P. & Hellen, Maraisa. Substratos no enraizamento de estacas de amoreira, *Morus alba* L. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 5 (3):5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7454902>. [19/5/2023], 2010.

Mierziak, J.; Kostyn, K. & Kulma, A. Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions with the Environment. *Molecules*. 19 (10):16240-16265. <https://www.mdpi.com/1420-3049/19/10/16240>. [12/12/2023], 2014.

Milera-Rodríguez, Milagros de la Caridad. Funciones de los servicios ecosistémicos en los sistemas ganaderos en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 44. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942021000100022&nrm=iso. [21/12/2023], 2021.

Mishin, I. N. Dynamics of population change, pollinators biodiversity and their role in managing the sustainability of biocenosis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1045 (1):012157. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012157>. [7/10/2023], 2022.

Möller, K. & Müller, T. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in life sciences*. 12 (3):242-257. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/elsc.201100085>. [2/10/2023], 2012.

Montero Ramirez, Sally Yasmine. *Eficacia de los microorganismos eficientes en la elaboración de compost con materia orgánica generados en los mercadillos de cayhuayna, distrito de pillco marca, departamento de huánuco noviembre-2018-enero-2019*. Tesis de Pregrado: Facultad de ingeniería escuela de formación profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad de Huánuco. <http://distancia.udh.edu.pe/handle/123456789/1680>. 2019.

Mora-Valverde, D. Usos de la morera (*Morus alba*) en la alimentación del conejo. El rol de la fibra y la proteína en el tracto digestivo. *Agronomía mesoamericana*. 21 (2):357-366. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212010000200017. [22/4/2023], 2010.

Nabi, R. B. S.; Tayade, R.; Hussain, A.; Adhikari, A.; Lee, I. J.; Loake, G. J. *et al.* A Novel DUF569 Gene Is a Positive Regulator of the Drought Stress Response in *Arabidopsis*. *Int J Mol Sci*. 22 (10):5316. <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/10/5316>. [21/12/2023], 2021.

Nair, Vimala D.; Nair, P. K. Ramachandran; Dari, B.; Freitas, Andressa M.; Chatterjee, Nilovna & Pinheiro, F. M. Biochar in the agroecosystem—climate-

- change–sustainability nexus. *Front Plant Sci.* 8:2051. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.02051/full>. [27/7/2023], 2017.
- Narváez, P. O. *Efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento y la diversidad de bacterias rizosféricas del cultivo de morera (Morus alba)*. Tesis doctoral. Colombia: Agricultura, Universidad Nacional de Colombia. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO_d4a839dbaa4b499787b8a0069fec8e8f. 2019.
- Nazar, A.; Kalarani, M. K.; Jeyakumar, P.; Kalaiselvi, T.; Arulmozhiselvan, K. & Manimekalai, S. Combined effect of Biofertilizers and Micronutrients on Growth and Yield Attributes of Mulberry (*Morus indica* L.). *Int. J. Pure App. Biosci.* 7 (1):346-352. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.7362> [7/12/2023], 2019.
- Neina, Dora. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and environmental soil science.* 2019 (5794869):1-9. <https://www.hindawi.com/journals/aess/2019/5794869/abs/>. [21/5/2023], 2019.
- Ni, J.; Su, S.; Li, H.; Geng, Y.; Zhou, H.; Feng, Y. *et al.* Distinct physiological and transcriptional responses of leaves of paper mulberry (*Broussonetia kazinoki* × *B. papyrifera*) under different nitrogen supply levels. *Tree Physiol.* 40 (5):667-682. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32211806/>. [8/1/2024], 2020.
- Noda, Yolai; Martín, G. J.; Matos, W. & Pentón, Gertrudis. Efecto de la fertilización química y biológica en el rendimiento morfoagronómico de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes.* 36 (2):190-196. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942013000200004&script=sci_arttext. [28/7/2023], 2013.

Nosheen, Shaista; Ajmal, Iqra & Song, Y. Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability*. 13 (4):1868. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1868>. [24/5/2023], 2021.

Oba, M. M. S.; Rivera, R. C.; Luna, A. V.; Murillo, A. C.; Oba, A. S.; Ramos, J. J. C. *et al.* Evaluación de biol, bocashi, composta y vermicomposta en las variables morfológicas del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 4 (3):3649–3662.

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/34268>.

[7/10/2023], 2021.

Ortega, R.; Samuels, J. Z.; Segura, R. A.; Torres, P.; Blanco, F. A. & Sandoval, J. A. Biofertilización como suplemento en la nutrición del cultivo de banano (*Musa AAA*) [Biofertilization as a supplement in the nutrition of banana *Musa AAA* crop]. *CORBANA*. 45 (65):83-92.

<https://www.musalit.org/seeMore.php?id=19585&recent>. [30/9/2023], 2019.

Oyebamiji, K. J.; Awodun, M. A.; Ayeni, L. S.; Olojugba, M. R. & Osundare, O. T. Comparative effect of biofertilizer types on growth and yield of selected maize cultivars in alfisols. *Trends in Science & Technolog*. 3 (2b):1015 -1019

<http://www.ftstjournal.com/uploads/docs/32B%20Article%2060.pdf>. [24/5/2023],

2019.

Padjung, R.; Bdr, Muh. F.; Syahrir, R.; Anshori, M. F. & Ridwan, I. Yield Components and Productivity of SINHAS 1 Maize on the Application of Different Types and Spraying Frequency of Biofertilizer. *Agrotech Journal*. 1 (6):10-17.

<https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Anshori-4/publication/358222766>.

[24/5/2023], 2021.

Palma-Ramos, J. A.; Gayosso-Rodríguez, Salomé & Estrada-Botello, M. A. Rizobacterias y fertilización química en crecimiento y producción de Stevia rebaudiana Bertoni (Asteraceae) en Tabasco, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*. 8 (1). <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/322>. [27/7/2023], 2022.

Pavankumar, S.; Bali, K. & Chanotra, S. Impact of organic based nutrient management on growth and yield parameters of mulberry (Morus sp.). *International Journal of Chemical Studies*. 8 (4):1036-1039.

<https://www.chemijournal.com/archives/2020/vol8issue4/PartH/8-3-504-954.pdf>.

[21/5/2023], 2020.

Paz Narváez, I. E. & Menjivar Flores, J. C. Efecto del compost en la diversidad de bacterias rizosféricas del cultivo de morera (Morus alba). *Revista Colombiana de Biotecnología*. 21 (1):47-55. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752019000100047&script=sci_arttext. [21/5/2023], 2019.

Pedraza Luengas, A.; Pérez Trujillo, M. M.; Cortés Zambrano, I. C. & Arias Gómez, L. C. Evaluación de un Biofermento de Preparación Local para el Abonamiento Orgánico del Tomillo (Thymus vulgaris), Romero (Rosmarinus officinalis) y Orégano (Origanum vulgare). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*. 7 (1):10-31.

<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2107>. [2/11/2023],

2011.

Pentón-Fernández, Gertrudis; Martín-Martín, G. J.; Rivera-Espinosa, R. A.; Martín-Alonso, Gloria M.; González-Cañizares, P. J. & Oropeza-Casanova, Katerine.

Manejo de la nutrición y la defoliación de *Morus alba* (L.) var. tigreada para la producción de hojas. *Pastos y Forrajes*. 39:252-258.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942016000400003&script=sci_arttext.

[8/2/2024], 2017.

Pentón-Fernández, Gertrudis; Schmidt, H. P.; Milera-Rodríguez, Milagros de la C.; Martín-Martín, G. J.; Brea-Maure, Odelín & Brunet-Zulueta, J. *Empleo de fertilizantes orgánicos basados en biochar producidos a partir de residuos agropecuarios*. Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios Usos del suelo con abonos y biocharp. 54-66, 2020.

Pentón Fernández, Gertrudis *Efectos del intercalamiento de canavalia [Canavalia ensiformis (L.)] inoculada con hongos micorrízicos arbusculares complementada con fertilizantes minerales en la producción de forraje de la morera [Morus alba (L.)]*. Tesis Doctoral: Ciencias Agrarias, INCA.

[https://www.researchgate.net/profile/Gertrudis-Penton-](https://www.researchgate.net/profile/Gertrudis-Penton-Fernandez/publication/292606703)

[Fernandez/publication/292606703](https://www.researchgate.net/profile/Gertrudis-Penton-Fernandez/publication/292606703). 2015.

Pentón Fernández, Gertrudis ; Oropesa Scull, Yania Susnay ; Norda Castro, Esther B.; Pérez Reyes, Milianys & Christen, P. Evaluación fisicoquímica del suelo y características morfofisiológicas de *Morus alba* y *Sorghum bicolor*, en presencia de biocarbón enriquecido con el bioproducto IHPLUS® BF. *Avances en investigación agropecuaria*. 27 (1):ágs 119-135.

<http://ojs.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/1493>. [2/11/2023], 2023.

Pentón Fernández, Gertrudis; Milera-Rodríguez, Milagros de la C. & Schmidt, H. P. *Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes IHPLUS ®*

- BF. (Ed.: Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba. https://www.researchgate.net/publication/356873494_Manual_para_la_elaboracion_de_biochar_y_microorganismos_eficientes_IHPLUS_R_BF. [3/6/2023], 2021.
- Pentón, Gertrudis. Nuevos abonos organominerales para la fertilización y la restauración del suelo. Informe anual de proyecto. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Programa Institucional. Código 10493. Anexo 6. Informe anual de proyecto. Programa Institucional.: EEPF Indio Hatuey; 2019. p. 39.
- Pentón, Gertrudis; Martín, G. J.; Hernández, A.; González, P. J. & Rivera, R. Estudio sobre la participación del potasio del suelo en la nutrición de *Morus alba* (L.). *Caderno de Ciências Agrárias*. 8 (3):68-77. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2945>. [17/5/2023], 2016.
- Pentón, Gertrudis; Rivera, R.; Martín, G. J.; Mena, Aracelis; Alonso, F. & Medina, Aída U. Efecto de la simbiosis micorrízica, la fertilización química y su combinación, en la relación suelo-planta del cultivo de morera. *Pastos y Forrajes*. 37:399-407, 2014.
- Peña, P.; Querevalú, J.; Ochoa, Gloria & Sánchez, H. Biological silage of shrimp waste fermented with lactic acid bacteria: use as a biofertilizer in pasture crops and as feed for backyard pigs. *Scientia Agropecuaria*. 11 (4):459-471. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20210035149>. [8/1/2024], 2020.
- Pérez, Maricela ; Peña, E.; Amado, S.; Batista, Yamilé & Hechavarría, A. Producción de biol y determinación de sus características físico-químicas. *Ojeando*

la Agenda. (48):6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6105592>. [3/10/2023], 2017.

Pérez, Y.; Sosa, M.; Fuentes, Leticia; Sosa, M.; Valdivia, A. L. & Pérez, Jovana. Caracterización bioquímica e histológica de plantas aclimatizadas in vitro de *Agave fourcroydes* Lem. *Biotecnología Vegetal*. 16 (4):223-230. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/529/pdf>. [21/12/2023], 2016.

Prijambada, I.D.; Widada, J.; Kabirun, S. & Widiyanto, D. Secretion of Organic Acids by Phosphate Solubilizing Bacteria. *Journal of tropical soil*. 4 (13). <http://dx.doi.org/10.5400/jts.2009.v14i3.245-251>. [8/12/2023], 2009.

Proaño, T. & Maricela, Deysi. *Obtención de biol a partir de desechos orgánicos generados por el ganado bovino del Camal Municipal del Cantón Latacunga*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.: Facultad de ciencias. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4869>. 2015.

Quiñones, H. R. *Producción de abono líquido acelerado con heces de alpaca, lactosuero bovino y melaza de caña mediante fermentación homoláctica*. Maestría: Maestría de Producción animal, Universidad Nacional Agraria de Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2219>. 2016.

Rabade, M.; Singh, R. & Indu, T. Response of Biofertilizer and Foliar Spray of Organic Amendments on Economics and Yield Attributes of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*. 11 (4):1417-1420.

<https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue4/PartT/11-4-203-602.pdf>. [24/5/2023], 2022.

Rahman, M. S. & Islam, S. M. S. Studies on food, health and environmental perspectives in mulberry (*Morus spp.*)—A review. *Journal of Bio-Science*. 29 (1):163-179.

<https://pdfs.semanticscholar.org/75f7/a597a81714789e1da27286489db5bd3a008c.pdf>. [17/5/2023], 2021.

Ramirez Aliaga, B; Huaman Nina, Sandra Mabel ; Caro Galoc, Jeny Florivet ; Matos Zavaleta, Nataly & Prudencio Vega, G. *Evaluación de la eficiencia del compost de caballo, vaca y humus en la generación de microorganismos para la recuperación de suelos agrícolas*. eds. 6ta Jornada Científica de estudiantes-FIA. Universidad Peruana Unión.

http://eventoscientificos.upeu.edu.pe/index.php/6jornada/6jornada_fia/paper/view/99. [30/5/2023], 2017.

Ravichandra, Y. M. Somasekhara & Thimmareddy, H. New Report of Pythium Soft Root Rot in Mulberry and its Cultural and physiological Studies. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 10 (02):1500-1510. <https://www.ijcmas.com/10-2-2021/Ravichandra,%20et%20al.pdf>. [16/5/2023], 2021.

Rayo Sánchez, Carol L. & Avellaneda-Torres, Lizeth M. Effects of Applying Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Nitrogen Cycle Microorganisms in Soils with Coffee Plantations. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 23 (3):2342. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2342. [6/12/2023], 2022.

Reddy, P. S.; Rao, Ts. S.; Venkataramana, P. B. & Suryanarayana, N. Response of mulberry varieties to VAM and azotobacter biofertilizers inoculation. *Indian*

journal of plant physiology. 8 (2):171-174.

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122648/records/64724a6753aa8c89630551c6>. [12/12/2023], 2003.

Reino Molina, J. J.; Montejo Valdés, Laura A.; Sánchez Rendón, J. A. & Martín Martín, G. J. Características seminales de cinco variedades de morera (*Morus alba* L.) cosechadas en Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes.* 40 (4):276-280. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942017000400003&script=sci_arttext&tling=en. [18/5/2023], 2017.

Ren, K.; Xu, M.; Li, R.; Zheng, L.; Wang, H.; Liu, S. *et al.* Achieving high yield and nitrogen agronomic efficiency by coupling wheat varieties with soil fertility. *Sci Total Environ.* 881:163531. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37076009/>. [22/12/2023], 2023.

Restrepo, J. *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil.* (Ed. San José Costa Rica. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6568>. [28/7/2023], 2001.

Restrepo, J. *Manual práctico el A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas.* (Ed. 1ra. Managua, Nicaragua.: SIMAS. https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Libro-de-Agricultura-Organica-GuiasPDF.Net_.pdf. [30/9/2023], 2007.

Restrepo, J. & Hensel, J. *El ABC de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra: manual práctico.* (Ed.: Feriva. https://books.google.com/books?id=-_fTnQAACAAJ. [28/7/2023], 2013.

Rivacoba, L.; Suso, M. L. & Pardo, A. Evaluación de diferentes medidas de planta para la guía de la fertilización nitrogenada de la coliflor. Ensayos en La Rioja. *Actas V Jornadas del Grupo de Fertilización, SECH.* 66:24-30. <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2066.%20V%20Jornadas%20del%20grupo%20de%20fertilizaci%C3%B3n/Sesi%C3%B3n%201.%20Cultivos%20Hort%C3%ADcolas/Evaluaci%C3%B3n%20de%20diferentes%20medidas%20de%20planta%20para%20la%20gu%C3%ADa%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20de%20la%20coliflor.%20Ensayos%20en%20La%20Rioja.pdf>.

[8/12/2023], 2014.

Robaliño, H. *Evaluación de la Actividad Biológica y Nutricional del Biol en Diferentes Formulaciones y la Respuesta a su Aplicación en Cultivos de Arroz (Oriza Sativa) y Maíz (Aae Mays), en Guayas.* Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/16917>. 2011.

Rodríguez, Mirelys; Araújo, C. W.; Muñiz, O.; Montero, A.; de Aguiar, Adriana María; Calero, B. *et al.* First national-wide survey of trace elements in Cuban urban agriculture. *Agronomy for Sustainable Development.* 37 (27):1-7. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0437-7>. [9/10/2023], 2017.

Rohela, G. K.; Jogam, P.; Shabnam, A. A.; Shukla, P.; Abbagani, S. & Ghosh, M. K. In vitro regeneration and assessment of genetic fidelity of acclimated plantlets by using ISSR markers in PPR-1 (Morus sp.): An economically important plant. *Scientiae Horticulturae.* 241:313-321.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818305120>.

[21/7/2023], 2018.

Rohela, Gulab Khan; Shukla, Pawan; Muttanna; Kumar, Rajesh & Chowdhury, Sukhen Roy. Mulberry (*Morus* spp.): An ideal plant for sustainable development. *Trees, Forests and People*. 2:100011.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266671932030011X>.

[26/7/2023], 2020.

Ruiz-Solsol, H. & Mesén, F. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agron. Costarricense*. 34 (2):269-285. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242010000200011. [18/2/2024], 2010.

Samuthiravelu, P.; Sangeetha, B. M.; Sakthivel, N.; Ravikumar, J.; Isaiarasu, L.; Balakrish, R. *et al.* Impact of organic nutrients on the incidence of major pests , leaf productivity in mulberry and food consumption and utilization of *Bombyx mori*. *Journal of Biopesticides*. 5:228-232.

[https://www.researchgate.net/profile/Ravikumar-](https://www.researchgate.net/profile/Ravikumar-Jayachandran/publication/216603589)

[Jayachandran/publication/216603589](https://www.researchgate.net/profile/Ravikumar-Jayachandran/publication/216603589). [21/5/2023], 2012.

Schmidt, H. P. & Taylor, P. Kon-Tiki flame curtain pyrolysis for the democratization of biochar production. *Biochar J*. 1:338-348.

[https://www.researchgate.net/publication/275097537_Kon-](https://www.researchgate.net/publication/275097537_Kon-Tiki_flame_cap_pyrolysis_for_the_democratization_of_biochar_production)

[Tiki flame cap pyrolysis for the democratization of biochar production](https://www.researchgate.net/publication/275097537_Kon-Tiki_flame_cap_pyrolysis_for_the_democratization_of_biochar_production).

[1/6/2023], 2014.

Setua, G. C.; Das, N. K.; Banerjee, N.; Sengupta, Tanushri; Sudhakar, P.; Sen, S. *et al.* Effect of integrated nutrient management on quality leaf production in mulberry (*Morus alba*) under rainfed, alluvial soil conditions. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 75 (8):474-478.

<https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/issue/view/52>. [21/7/2023], 2005.

Setua, G. C.; Kar, R.; Ghosh, J. K.; Das, N. K. & Saratchandra, M. Response of direct inoculation of VAM on growth, leaf yield and phosphorus uptake in mulberry (*Morus alba*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 69 (6).

<https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/article/view/26810>. [22/5/2023], 2013.

Setua, G. C.; Setua, M.; Ghosh, Abhisek; Debnath, S.; Dutta, Animesh; Banerjee, Nirmalya *et al.* Effect of integrated nutrient management on sustainable quality leaf production in mulberry (*Morus alba*) under irrigated, alluvial soil conditions. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 75 (8):474-478.

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122648/records/6474734d2d3f560f80ab7faa>. [7/12/2023], 2005.

Sharma, P.; Bano, A.; Singh, S. P.; Srivastava, S. K.; Singh, S. P.; Iqbal, H. M. N. *et al.* Different stages of microbial community during the anaerobic digestion of food waste. *J Food Sci Technol*. 60 (8):2079-2091.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37273563/>. [8/10/2023], 2023.

Shashidhar, K. R.; Narayanaswamy, T. K.; Bhaskar, R. N.; Jagadish, B. R.; Mahesh, M. & Krishna, K. S. Influence of organic based nutrients on soil health and mulberry (*Morus indica* L.) production. *J. Biol. Sci.* 1 (1):94-100.

<https://scholar.google.com/scholar?cluster=10380467296088506018&hl=en&oi=scholar>. [8/2/2024], 2009.

Shenggao, L. U. Role of Organic Matter in Formation and Stability of Aggregates in Mulberry Plantation Soils. *Pedosphere*. 11 (2):185-188.

https://www.researchgate.net/publication/289089326_Role_of_organic_matter_in_formation_and_stability_of_aggregates_in_mulberry_plantation_soils. [21/5/2023], 2001.

Shi, S. M.; Chen, K.; Gao, Y.; Liu, B.; Yang, X. H.; Huang, X. Z. *et al.* Arbuscular Mycorrhizal Fungus Species Dependency Governs Better Plant Physiological Characteristics and Leaf Quality of Mulberry (*Morus alba* L.) Seedlings. *Front Microbiol.* 7:1030. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4923160/>. [8/12/2023], 2016.

Shi, S.; Qiu, Y.; Wen, M.; Xu, X.; Dong, X.; Xu, C. *et al.* Daytime, Not Nighttime, Elevated Atmospheric Carbon Dioxide Exposure Improves Plant Growth and Leaf Quality of Mulberry (*Morus alba* L.) Seedlings. *Front Plant Sci.* 11:609031. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.609031/full>. [17/5/2023], 2020.

Smardz, P.; Sieradzan, A. K. & Krupa, P. Mechanical Stability of Ribonuclease A Heavily Depends on the Redox Environment. *The journal of physical chemistry.* 126 (33):6240-6249. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9421896/>. [10/12/2023], 2022.

Sosa, D.; Quintero, J. J.; Rojas A., Y. J.; Rodríguez, M.; Rea, R. & Miranda, M. Chemical evaluation and anti-radical activity of varieties of *Morus alba* L. (morera,

moraceae) from Venezuela. *Bionatura*. 6 (1):1579-1585.

<https://www.revistabionatura.com/files/2021.06.01.21.pdf>. [27/4/2023], 2021.

Sosedova, M. A. L. & Novikov, E. Titov. Impact of metal nanoparticles on the ecology of soil biocenosis (literature review). *Hygiene and sanitation*. 99 (10):1061-1066. <https://www.rjhas.ru/jour/article/view/1065>. [7/10/2023], 2020.

Sourati, Reza; Sharifi, P.; Poorghasemi, Mohammadreza; Alves Vieira, E.; Seidavi, Alireza; Anjum, N. A. *et al.* Effects of Naphthaleneacetic Acid, Indole-3-Butyric Acid and Zinc Sulfate on the Rooting and Growth of Mulberry Cuttings. *International Journal of Plant Biology*. 13 (3):245-256. <https://www.mdpi.com/2037-0164/13/3/21>. [4/5/2023], 2022.

Sudhakar, P.; Chattopadhyay, G. N.; Gangwar, S. K. & Ghosh, J. K. Effect of foliar application of Azotobacter, Azospirillum and Beijerinckia on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). *The Journal of Agricultural Science*. 134 (2):227-234. <https://doi.org/10.1017/S0021859699007376>. [12/12/2023], 2000.

Sudhakar, P.; Hanumantharayappa, S. K.; Sudhakar Rao, P.; Jalaja, S. Kumar & Sivaprasad, V. Influence of tree mulberry (*Morus alba* L.) in varied geometries on mulberry leaf and silkworm rearing. *Int. J. Cur. Res. In Life Sci*. 7 (3):1381-1386. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:212520555>. [6/8/2023], 2018.

Sugiyama, Mari; Katsube, Takuya; Koyama, A. T. & Itamura, Hiroyuki. Effect of solar radiation on the functional components of mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Journal of the science of food and agriculture*. 96 (11):3915-3921. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26756109/>. [22/7/2023], 2016.

- Sugiyama, Mari; Takahashi, M.; Katsube, T.; Koyama, A. T. & Itamura, H. Effects of applied nitrogen amounts on the functional components of mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *J Agric Food Chem.* 64 (37):6923-6929. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.6b01922>. [21/5/2023], 2016.
- Sun, M.; Chen, S. & Kurle, J. E. Interactive effects of soybean cyst nematode, arbuscular-mycorrhizal fungi, and soil pH on chlorophyll content and plant growth of soybean. *Phytobiomes Journal.* 6 (1):95-105. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PBIOMES-03-21-0024-R>. [21/5/2023], 2022.
- Suriyaprom, S.; Kaewkod, T.; Promputtha, I.; Desvaux, M. & Tragoolpua, Y. Evaluation of Antioxidant and Antibacterial Activities of White Mulberry (*Morus alba* L.) Fruit Extracts. *Plants.* 10 (12):2736. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8703457/>. [17/5/2023], 2021.
- Taha, H. S.; Ghazy, U. M. M.; Gabr, Ahmed M M; El-Kazzaz, A.; Ahmed, Eman A. & Haggag, Karima Mohamed. Optimization of in vitro culture conditions affecting propagation of mulberry plant. *Bulletin of the National Research Centre.* 44 (60):1-9. <https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-020-00314-y>. [4/8/2023], 2020.
- Tewari, R.; Kumar, P. & Sharma, P. Magnesium deficiency induced oxidative stress and antioxidant responses in mulberry plants. *Scientia Horticulturae.* 108 (1):7-14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423805003742>. [22/5/2023], 2006.

- Tran, M. T.; Vu, T. K. V.; Sommer, S. G. & Jensen, L. S. Nitrogen turnover and loss during storage of slurry and composting of solid manure under typical Vietnamese farming conditions. *The Journal of Agricultural Science*. 149 (3):285-296. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/nitrogen-turnover-and-loss-during-storage-of-slurry-and-composting-of-solid-manure-under-typical-vietnamese-farming-conditions/95B21502198B011C74D31641334A47D0>. [3/10/2023], 2011.
- Uliarte, E. M.; Ferrari, Florencia N.; Melgarejo, Laura Elizabeth ; Dagatti, Carla Vanina; Ambrogetti, A. O. & Montoya, M. A. Estrategias de manejo para la transición hacia viñedos sostenibles en Mendoza = Management strategies for the transition to sustainable vineyards in Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 51 (2):105-124. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652019000200009&script=sci_abstract&tlng=en. [30/5/2023], 2019.
- Uribe, L.; Guerrero, H.; Soto, G. & Descamps, P. *Determinación de la inocuidad de biofermentos a partir de boñiga, suero de leche y melaza*. E. d. Norte, ed.^eds. Encuentro Mesoamericano y del Caribe; Encuentro Costarricense de Agricultores Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica1; 325-27 Ago 2003Alajuela (Costa Rica). p. 132. <http://web.catie.ac.cr/informacion/RMIP/rev71/Boletin%20PITTA.pdf?CodSeccion=48>. [22/10/2023], 2004.
- Vargas, M. Camayo; Rojas, Consuelo Montes & Rojas, María del Socorro Anaya Florez. Efecto del abono orgánico líquido mineralizado en la producción y

- composición de forrajes para pastoreo. *RIAA*. 19 (1):230-243. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7494306>. [27/7/2023], 2020.
- Varnero, María Teresa. *Manual de biogas* (Ed. Santiago de Chile. https://www.academia.edu/12570607/1_FAO_guia_biogas. [3/10/2023], 2011.
- Vega, S. Efectos de dos enmiendas orgánicas sobre suelos altamente intemperizados del trópico a diferentes niveles de pH. *Investigación Agraria*. 1 (1):3-19. <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/161>. [21/5/2023], 2013.
- Verma, H.; Kumar, D.; Kumar, V.; Kumari, M.; Singh, S. K.; Sharma, V. K. *et al.* The Potential Application of Endophytes in Management of Stress from Drought and Salinity in Crop Plants. *Microorganisms*. 9 (8):1729. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8398416/>. [8/1/2024], 2021.
- Vijayan, K.; Tikader, A. & Silva, J. T. Application of Tissue Culture Techniques for Propagation and Crop Improvement in Mulberry (*Morus* spp.). *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. (1):1-13. [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2011/TFSB_5\(SI1\)/TFSB_5\(SI1\)1-13o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2011/TFSB_5(SI1)/TFSB_5(SI1)1-13o.pdf). [25/9/2023], 2011.
- Villalta-Zúñiga, O. N.; Elizondo-Salazar, J. A. & Russo, R. O. Propagación de estacas de morera (*Morus alba* L.) en condiciones de invernadero: comunicación / Vegetative propagation of mulberry cuttings (*Morus alba* L.), in greenhouse conditions: communication. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 5 (2):2474–2483.

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/49702>.

[19/7/2023], 2022.

Vitti, Antonella; Elshafie, H. S.; Logozzo, Giuseppina; Marzario, Stefania; Scopa, A.; Camele, I. *et al.* Physico-Chemical Characterization and Biological Activities of a Digestate and a More Stabilized Digestate-Derived Compost from Agro-Waste.

Plants. 10 (2):386. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7922375/>.

[30/5/2023], 2021.

White, P. J. & Broadley, M. R. Calcium in plants. *Ann Bot.* 92 (4):487-511.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4243668/>. [22/5/2023], 2003.

Wong Arguelles, Cynthia ; Acosta Pintor, Dulce Carolina ; Mojica Mesinas, C.;

Márquez, H. L. & Vidal Becerra, E. . Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica*

Multidisciplinar.

7

(1):5241-5258.

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4827>. [28/7/2023], 2023.

Xu, D. Q.; Cheng, Shu-Yan; Zhang, J. Q.; Lin, H. F.; Chen, Y. Y.; Yue, S. J. *et al.*

Morus alba L. Leaves–Integration of Their Transcriptome and Metabolomics

Dataset: Investigating Potential Genes Involved in Flavonoid Biosynthesis at

Different Harvest Times. *Front Plant Sci.* 12:2452.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.736332/full>. [17/5/2023],

2021.

Xu, H.; Cai, A.; Wu, D.; Liang, G.; Xiao, J. & Xu, M. Effects of biochar application

on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential

controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil Tillage*

Res. 213:105125.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198721001987>.

[22/12/2023], 2021.

Yadav, V. K.; Padhan, D.; Sobhana, V.; Sen, S.; Josepha, M.; Santha, P. C. *et al.* Effect of Organic vis-à-vis Conventional Cultivation Practices on Growth and Yield of Mulberry (*Morus alba* L.). *Chem Sci Rev Lett.* 9 (34):571-577.

https://chesci.com/wp-content/uploads/2020/07/45_CS3120501201_p571-577.pdf.

[21/5/2023], 2020.

Yamashita, T. & Hikasa, S. Changes in photosynthesis and content of ribulose biphosphate carboxylase and other cellular constituents depending on the level of potassium supplied to mulberry (*Morus alba* L.). *Soil Science and Plant Nutrition.*

34 (4):627-631. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=7332090>. [21/5/2023],

1988.

Yono, B.; Widiasta, I.; Seno, J. & Sunarso, S. The influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using fluid rumen inoculum. *Energy Research Journal.* 1 (1):6-11. <http://eprints.undip.ac.id/36530/>. [9/10/2023], 2010.

Zagoya, J.; Ocampo, J.; Ocampo, I.; Macías, A. & Peñaloza, Patricia De La Rosa. Caracterización fisicoquímica de biofermentados elaborados artesanalmente/physicochemical characterization of handmade bioferments.

Biotechnia. 17 (1):14-19.

<http://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/9>. [3/10/2023], 2015.

Zapatier Santillan, D. A.; Meza Bone, C. J.; Avellaneda Cevallos, J. H.; Meza Castro, Melanie Tahis; Vivas Arturo, W. F. & Meza Bone, G. A. Evaluación agronómica y valor nutricional de la Morera (*Morus alba*). *Ciencia y Tecnología*. 14 (1):85-93. <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/447/501>. [21/7/2023], 2021.

Zhang, W.; Li, Y. X.; Niu, Y.; Zhang, F.; Li, Y. B. & Zeng, R. J. Two-stage enrichment of hydrogen-oxidizing bacteria as biofertilizers. *Chemosphere*. 266:128932. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520331295>. [27/7/2023], 2021.

Zink Pohlhammer, R. A. *Diseño de una planta industrial de compostaje de pilas estáticas aireadas con recuperación de calor*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186171>. 2022.