



Efecto de fermentados minerales e IHPLUS® BF en el crecimiento de *Morus alba* (L.) var. Yu-12 en vivero

Effect of Mineral Ferments and IHPLUS® BF on the Growth of *Morus alba* (L.) var. Yu-12 in the Nursery

Aramís Soto Díaz* <https://orcid.org/0000-0001-5850-0639>

Gertrudis Pentón Fernández <https://orcid.org/0000-0002-4253-9317>

Jesús Manuel Iglesias Gómez <https://orcid.org/0000-0002-9501-1938>

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Central España Republicana, CP 44280. Matanzas, Cuba.

*Autor de correspondencia: aramis.soto@ihatuey.cu

Recibido: 21 de febrero de 2024

Aceptado: 16 de marzo de 2024

Publicado: 3 de mayo de 2024

Resumen

Objetivo. Determinar las características de biofermentados minerales enriquecidos con IHPLUS® BF, bioproducto con base de microorganismos eficientes y su efecto en la supervivencia y características morfofisiológicas de morera *Morus alba* (L.) var. Yu-12 en vivero. **Materiales y métodos.** Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, utilizando seis tratamientos los cuales incluyeron un grupo de control y cuatro biofermentados de excretas de vaca enriquecidos con zeolita, calcio, urea, NPK, así como una mezcla de los cuatro biofermentados. Se evaluaron características fisicoquímicas de los biofermentados y morfofisiológicas de las plantas. El diseño experimental

Abstract

Objective. To determine the characteristics of mineral bioferments enriched with IHPLUS® BF and their effect on the survival and morphophysiological characteristics of mulberry *Morus alba* (L.) var. Yu-12 in a nursery. **Materials and methods.** The experiments were conducted at the Indio Hatuey Experimental Station for Pastures and Forages in Matanzas, Cuba, using six treatments of bioferments from cow excreta enriched with minerals. Physicochemical characteristics of the bioferments and morphophysiological characteristics of the plants were evaluated. The experimental design was completely randomized. Statistical analysis was performed using Infostat 2008. **Results.** The bioferments showed optimal pH values

fue completamente aleatorizado. El análisis estadístico se realizó mediante el uso de Infostat 2008. **Resultados.** Los biofermentados presentaron valores óptimos de pH (4.90-7.70) y potencial redox (6.96-9.78 mV). Las soluciones mantuvieron alta conductividad eléctrica (1.45-5.46 dS/m). El fermentado de NPK fue rico en sólidos solubles (0.03 °Bx), nitrógeno (411.29 mg/L) y potasio (636.1 mg/L). Los fermentados enriquecidos lograron niveles de supervivencia superior a 73% a los 90 días. Los biofermentados de NPK y urea indujeron una mayor biomasa aérea (22.4 g) y longitud de las raíces (19.50 cm). El tratamiento con zeolita se destacó en flavonoles (1.47). Se encontraron correlaciones significativas entre los parámetros fisicoquímicos de los biofermentados y las características morfofisiológicas de las plantas. **Conclusiones.** Los biofermentados evaluados fueron adecuados para la fertilización debido a sus características: pH, redox, nitrógeno y potasio. El biofermentado de zeolita y la mezcla mejoraron la supervivencia de las plantas, mientras que el de NPK promovió el crecimiento y desarrollo, con una mayor cantidad de metabolitos primarios y menos antocianinas. Se corroboraron relaciones entre las propiedades químicas de los biofertilizantes y el crecimiento de las plantas.

Palabras clave

Biofermentados, microorganismos, fertilizante, morera.

(4.90-7.70) and redox potential (6.96-9.78 mV). The solutions maintained high electrical conductivity (1.45-5.46 dS/m). The NPK fermentate was rich in soluble solids (0.03 °Bx), nitrogen (411.29 mg/L), and potassium (636.1 mg/L). The enriched bioferments achieved survival rates of over 73% at 90 days. The NPK and urea bioferments induced higher aboveground biomass (22.4 g) and root length (19.50 cm). The zeolite treatment stood out in terms of flavonols (1.47). Significant correlations were found between the physicochemical parameters of the bioferments and the morphophysiological characteristics of the plants. **Conclusions.** Cow excreta bioferments with IHPLUS® BF, enriched with minerals, are a viable alternative for mulberry plants in nurseries. The NPK treatments and the mixture of bioferments showed the best results in terms of survival and morphophysiological characteristics of the plants.

Keywords

Bioferments, efficient microorganisms, cow manure, fertigation.

Introducción

El uso de insumos agrícolas de base biológica se incrementó significativamente en los últimos años a nivel mundial, impulsado principalmente por las preocupaciones sobre el uso excesivo de fertilizantes químicos y la creciente dependencia de importaciones en regiones como Latinoamérica (Aramendis *et al.*, 2023; González *et al.*, 2021). En el cultivo de morera se aplican grandes cantidades de fertilizantes químicos para satisfacer las demandas productivas; sin embargo, su uso continuo puede impactar negativamente la calidad del suelo a largo plazo (Shashidhar *et al.*, 2009).

Investigaciones previas demostraron que combinar fertilizantes químicos con biofertilizantes orgánicos puede contribuir a sostenibilidad del cultivo de morera (Noda

et al., 2013). También se destaca la importancia de evaluar prácticas agroecológicas de manejo de la nutrición utilizando biofertilizantes, con el fin de reducir la dependencia de altas cantidades de fertilizantes químicos en este cultivo (Pentón-Fernández et al., 2017).

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del IHPLUS® BF - un bioproducto obtenido a partir de microorganismos eficientes - mezclado con biofermentados de excreta vacuna enriquecidos con minerales, sobre las características morfológicas y fisiológicas de estacas de *Morus alba* (L.) var. Yu-12 en condiciones de vivero.

Materiales y métodos

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.

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

Los recursos fitogenéticos, orgánicos y minerales empleados fueron: estacas de morera (*Morus alba*) L. var. Yu-12; biofertilizante IHPLUS® BF; minerales: urea (U), fórmula completa (NPK), calcio (Ca) y zeolita (Z); compost; biocarbón; sustrato BioC.

Cuadro 1
Registro de las variables climáticas del periodo de investigación

Meses	Temperatura promedio del aire (°C)			Humedad relativa promedio (%)			Precipitación acumulada (mm)	Evaporación promedio (mm)			Viento promedio (km/h)
	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media		Noche	Día	24 h total	Media
Dic. - Mar.	29.9	15.0	22.6	95.5	45.5	75.8	117.9	1.1	4.2	5.4	4.1

Fuente: Instituto de Meteorología. Estación Meteorológica de Indio Hatuey, 2023. Max=Máxima, Min=Mínima

El estudio constó de dos etapas de experimentación. En la primera etapa, se caracterizaron los biofermentados minerales, mientras que en la segunda etapa se evaluó la respuesta de las plantas en vivero a la aplicación de estos biofermentados. Para ello, se fabricaron previamente compost y biocarbón que se utilizaron en la elaboración del sustrato. En la fabricación del biocarbón se utilizó la tecnología Kon-Tiki, propuesta por Schmidt y Taylor (2014), con residuos de poda de morera, y en la elaboración del compost se utilizó estiércol vacuno y restos de vegetación espontánea y jardinería. Los biofermentados minerales se elaboraron en dos etapas de fermentación utilizando ingredientes como microorganismos eficientes, leche, melaza, Z, Ca, U y NPK, 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. Después de un período de fermentación (21 días), los biofermentados se mezclaron con IHPLUS® BF y agua antes de su aplicación en las siguientes proporciones: biofermentado mineral

(6.25%), IHPLUS® BF (6.25%) y agua (87.50%). El sustrato BioC utilizado en el estudio consistió en una mezcla de biocarbón, compost y tierra tamizados a 5 mm, en proporción volumétrica de 6:1:3 respectivamente en bolsas de 2 Kg.

Se establecieron los siguientes tratamientos en el estudio:

- 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 NPK con IHPLUS® BF.
- T6 (IH+M): Mezcla de los 4 fermentados mencionados anteriormente.

Para medir el pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura, se utilizó el medidor multiparamétrico HANNA HI 9813-5. El Potencial Redox (ORP) se analizó utilizando el sensor LUTRON ELECTRONIC YK-23RP, calibrado y validado para este tipo de análisis. El contenido de sólidos solubles (°Bx) se determinó utilizando el refractómetro portátil digital ATC.

Para los análisis de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), potasio (K), nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) y ácidos orgánicos (AO), se empleó el espectrofotómetro de sobremesa HACH DR 3900. Este equipo opera en el rango visible del espectro (320 - 1100 nm) y utiliza un haz de luz dividido. Para el análisis de $\text{NH}_3\text{-N}$ se utilizó el método de salicilato según Hach (2015), con los reactivos cat 2653199 y cat 2653299. El potasio se determinó mediante el método de tetrafenilborato según Hach (2018), utilizando los reactivos Cat 1432198, Cat 1432298 y Cat 1432399. El análisis de nitrato se realizó utilizando la reacción de la muestra con ácido sulfúrico y ácido fosfórico, según Hach (2015), y el reactivo predosificado LCK339. Por último, el análisis de ácidos orgánicos se llevó a cabo utilizando el reactivo LCK365 y el método descrito por Hach (2020), que permite medir concentraciones de CH_3COOH en el rango de 50-2500 mg/L, utilizando una longitud de onda de 650 nm.

Para la evaluación morfofisiológica de la morera (*Morus alba* L. var. Yu-12), se utilizaron estacas maduras y saludables con 30 cm de largo, 3 cm de diámetro y entre 5-6 yemas sanas. Se plantaron garantizando que al menos 2 yemas quedaran por debajo del nivel del suelo. Se aplicó riego manual en días alternos y se realizó fertirrigación con los fermentados en estudio cada 7 días, a razón de 12.8 ml por planta, equivalente a 20 l/ha del producto.

El diseño fue completamente aleatorizado con 15 repeticiones/bolsas por tratamiento. Las evaluaciones se llevaron a cabo a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra, se realizaron conteos visuales para determinar el número promedio de brotes con hojas por estaca y el número de hojas por planta, expresados en unidades. A los 90 días, se midió la altura apical de la planta utilizando una cinta métrica (cm).

Además, al final del período experimental, se extrajeron las plantas de las bolsas y se cuantificaron visualmente las plantas vivas con ramas y con raíces, expresando los

resultados en valor relativo (%). Se determinó la longitud de las raíces (cm), producción de biomasa aérea y radical en una balanza modelo KERN CXB 15K1.

La respuesta fisiológica se evaluó a los 60 días con el empleo del sensor de clip de hojas Dualix diseñado para estudios de estrés abiótico (Cerovic *et al.*, 2012), con el que se midió el contenido de clorofila ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), contenido de nitrógeno relativo NBI® mediante el cociente Clorofila/Flavonoles, flavonoles (absorbancia relativa) y antocianinas. Este equipo utiliza una técnica no destructiva que mide la cantidad de fluorescencia emitida por la hoja en respuesta al láser, lo cual está relacionado directamente con la cantidad de metabolito presente.

Procesamiento estadístico: se realizaron pruebas estadísticas para verificar la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos, así como análisis descriptivos de diversas variables relacionadas con los fermentados minerales y las soluciones preparadas. Además, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey, con un nivel de significación de $P \leq 0,05$, utilizando el programa estadístico Infostat 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Resultados

Caracterización fisicoquímica de los biofermentados minerales, del IHPLUS® BF y de las soluciones preparadas

Los biofermentados minerales presentaron altos niveles de conductividad (cuadro 2), especialmente aquellos con NPK, urea y calcio; los valores de pH variaron desde ácido hasta neutro, mientras que el potencial redox fue alto en todos los casos, observándose los mayores contenidos de nitrógeno amoniacal en el fermentado de urea y los mayores niveles de ácidos orgánicos y potasio en los fermentados con la fórmula NPK y la mezcla de minerales.

Cuadro 2
Características fisicoquímicas evaluadas en los biofermentados minerales

Tratamientos	CE (dS/m)	pH	Eh (pH7)/ (mV)	SS (°Bx)	AO	N-NH ₄ ⁺ K ⁺	
						mg/L	
Fermentado de zeolita	6.96	4.90	293.09	3.01	12298	43.98	322.4
Fermentado de calcio	9.03	5.30	258.69	5.02	16172	2762.0	644.4
Fermentado de urea	9.09	7.70	457.29	5.02	13190	6226.9	413.6
Fermentado de NPK	9.78	4.80	365.19	7.03	22406	6208.6	3322.0
Mezcla de los 4 fermentados	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, Bx: contenido de sólidos solubles; AO: ácidos orgánicos, N-NH₄⁺: nitrógeno amoniacal, K: potasio.

Las soluciones preparadas mostraron tendencias similares a los biofermentados en cuanto a la conductividad eléctrica, aunque con valores más bajos. Los mayores contenidos absolutos correspondieron a los tratamientos con fórmula completa de nitrógeno, fósforo y potasio; seguido por urea y calcio (cuadro 3). La solución del fermentado con fórmula completa NPK presentó los valores más altos de sólidos solubles, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico y potasio; en contraste con la solución de IHPLUS® BF. El fermentado enriquecido con zeolita tuvo las menores concentraciones de nitrógeno amoniacal y potasio.

Cuadro 3

Características fisicoquímicas evaluadas en las soluciones de los fermentados con IHPLUS® BF

Tratamientos	CE (dS/m)	pH	Eh (pH7) (mV)	SS (°Bx)	NO ₃	N-NH ₄ ⁺	K ⁺
					mg/L		
Fermentado de zeolita con IHPLUS® BF	1.45	5.10	379.71	0.01	28.10	5.54	87.1
Fermentado de calcio con IHPLUS® BF	2.90	5.10	405.71	0.00	21.80	185.12	342.7
Fermentado de urea con IHPLUS® BF	3.03	6.40	407.41	0.01	28.80	381.1	243.9
Fermentado de NPK con IHPLUS® BF	5.46	4.80	383.01	0.03	38.10	411.29	636.1
Mezcla de los 4 fermentados	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.

Evaluación morfofisiológica de la morera *Morus alba* (L.) var. Yu-12

Emisión de brotes

Al analizar los resultados que se muestran en el cuadro 4, se puede observar que el número de brotes con hojas en los tratamientos presenta valores similares, sin diferencias significativas entre ellos, con un rango de 1.40 a 1.93.

En relación con el número de hojas, los tratamientos variaron entre 11.27 y 15.27 sin encontrarse diferencias significativas entre ellos.

Evaluación fisiológica de las plantas

La clorofila y el nitrógeno relativo indicaron diferencias significativas a favor del tratamiento con NPK en comparación con el control y el biofermentado de urea (cuadro 5). La zeolita presentó los niveles más altos de metabolitos secundarios, sin mostrar diferencias estadísticas respecto al control para los flavonoles, ni respecto al tratamiento con calcio para las antocianinas.

Cuadro 4

Efecto de los tratamientos de fermentados con IHPLUS® BF en la emisión de número de brotes con hojas y número de 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	1.60	14.00
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	1.40	14.80
EE±	0.03	0.14
P	0.5731	0.8675

Cuadro 5

Efecto de los tratamientos de fermentados con IHPLUS® BF en las características fisiológicas de las plantas de morera *Morus alba* (L.)

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

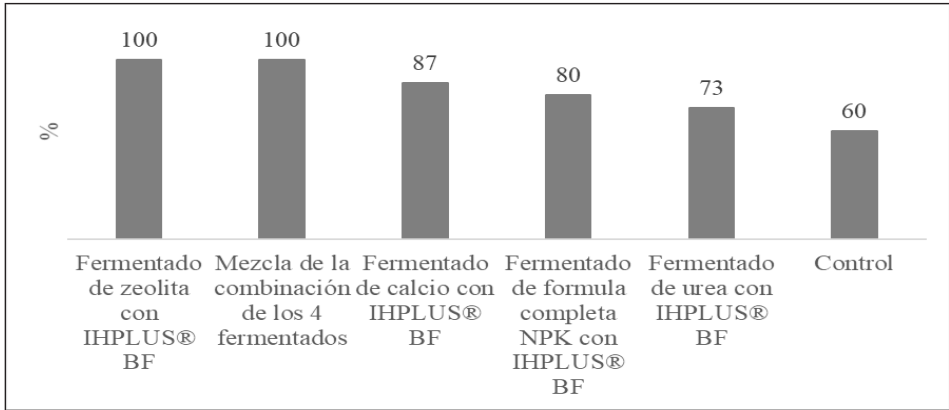
Chl-Clorofila; NBI-nitrógeno relativo; Flav-flavonoles; Anth- antocianinas.

Evaluación de la supervivencia

Con respecto a la supervivencia de las plantas, expresada a través del número de plantas vivas, se observó que, a los 90 días de haber sido sembradas, los tratamientos que mostraron mejores resultados fueron los siguientes: biofermentado con zeolita, mezcla de minerales, calcio y la fórmula completa NPK, como se muestra en la figura 3. Estos tratamientos superaron el 80% de plantas vivas con ramas. El control resultó ser el que presentó el menor número de plantas vivas, con un valor del 60%, seguido del tratamiento con urea, que tuvo una supervivencia del 73%.

Figura 3

Supervivencia de las plantas de morera *Morus alba* (L.) a los 90 días de sembradas



Evaluación morfológica

El crecimiento apical de las plantas a los 90 días (cuadro 6) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el fermentado de urea generó la mayor producción de biomasa aérea, superando a los fermentados de zeolita y calcio. Además, este tratamiento también produjo la mayor biomasa radical, significativamente mayor al resto. Por otro lado, el fermentado de NPK exhibió la mayor longitud de raíces, superando de manera significativa al grupo control y al tratamiento con fermentado de zeolita.

Cuadro 6

Efecto de los tratamientos de fermentados con IHPLUS® BF en las características morfológica de las plantas de morera *M. alba* (L.)

Indicadores/tratamientos	Altura apical (cm)	Biomasa aérea (g)	Biomasa radical (g)	Longitud de raíces (cm)
Control	36.06	19.23ab	18.16b	17.20bc
Fermentado de zeolita con IHPLUS® BF	32.90	8.96c	8.16c	13.71c
Fermentado de calcio con IHPLUS® BF	38.04	16.76b	11.24bc	14.50bc
Fermentado de urea con IHPLUS® BF	43.36	24.68a	28.23a	19.14ab
Fermentado de NPK con IHPLUS® BF	37.08	22.40ab	10.25c	19.50a
Mezcla de los 4 fermentados	39.50	20.47ab	13.14bc	17.00bc
EE±	1.51	1.01	1.41	0.67
P≤0.05	0.4858	0.0001	0.0001	0.05

Evaluación de las correlaciones química de los fermentados y sus disoluciones, con algunas características morfológicas de las plantas

Las correlaciones entre los indicadores químicos de biofermentados y sus disoluciones con determinadas características morfológicas en las plantas de morera se muestran en el cuadro 7. Donde se observa que la altura de las plantas se relacionó positivamente con la biomasa aérea y el pH de los biofermentados y negativas con flavonoides. La biomasa aérea también mostró una correlación positiva significativa con la longitud de la raíz, la emisión de hojas a los 90 días y el contenido de nitrógeno amoniacal en los biofermentados y soluciones; además tuvo una correlación negativa con los flavonoles en las hojas. La biomasa radical se asoció de forma positiva con el pH tanto de los biofermentados como de la solución para riego. Además, la longitud de las raíces presentó una correlación positiva y significativa con la emisión de hojas y el nitrógeno amoniacal en biofermentados y soluciones.

Cuadro 7

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	NH ₄ f	K f	CE d	pH d	EH d	SS d	NO ₃ d	NH ₄ 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	-0.80	-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	0.40	-0.84	-0.03	-0.62	-0.05	0.20														
EH f	0.75	0.76	0.75	0.80	0.61	-0.43	0.28	-0.76	-0.54	0.36	0.80													
SS f	0.31	0.69	0.11	0.73	0.80	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	-0.10	-0.42	0.62	-0.51	-0.23	0.88*											
NH ₄ f	0.74	0.95**	0.61	0.95**	0.93*	-0.03	0.70	-0.84	-0.69	0.89*	0.45	0.66	0.83	0.50										
K f	-0.02	0.45	-0.32	0.58	0.62	0.76	0.84	-0.49	-0.94*	0.59	-0.30	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	0.80	0.49	0.95**	0.36	0.25	-0.92*	-0.21	-0.46	0.13	0.06	0.98**	0.73	-0.20	-0.53	0.36	-0.46	-0.27							
EH d	0.66	0.39	0.66	0.11	0.29	-0.60	-0.01	-0.30	0.32	0.38	0.53	0.06	0.20	0.03	0.37	-0.52	0.03	0.56						
SS d	-0.18	0.25	-0.10	0.58	0.33	0.52	0.33	-0.06	-0.49	0.36	-0.35	0.14	0.69	0.79	0.50	0.58	0.77	-0.33	-0.31					
NO ₃ d	-0.08	0.37	-0.06	0.70	0.43	0.50	0.44	-0.24	-0.70	0.36	-0.20	0.39	0.61	0.60	0.54	0.74	0.73	-0.23	-0.49	0.93*				
NH ₄ 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	0.50	-0.12	0.58	0.66	0.63	0.76	-0.37	-0.62	0.80	-0.34	-0.03	0.97**	0.96**	0.67	0.68	0.97**	-0.42	0.07	0.74	0.62	0.70		

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 emisión de hojas a los 90 días mostró 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 de riego. El NBI además mostró una correlación positiva alta con la conductividad eléctrica de los biofermentados. Por otro lado, la correlación entre los flavonoles en las hojas y características como la altura, biomasa aérea y emisión de hojas fue negativa.

Adicionalmente, se observaron correlaciones positivas significativas entre varios parámetros de los biofertilizantes y las soluciones. La conductividad eléctrica mostró una fuerte correlación positiva con los sólidos solubles y el nitrógeno amoniacal en los biofermentados. Asimismo, se encontró una correlación muy significativa entre el pH del biofermentado y el pH de la disolución. El potencial redox de los biofermentados también presentó una correlación positiva alta con el pH de los fermentados. Por otro lado, los sólidos solubles del biofermentado mostraron una correlación significativa con la conductividad eléctrica y el potasio de la disolución, así como con los ácidos orgánicos de los biofermentados. Además, el nitrógeno amoniacal de los biofermentados se correlacionó positivamente de manera muy significativa con el nitrógeno amoniacal de la disolución.

Discusión

Los valores elevados de conductividad eléctrica coinciden con procesos que implican altas concentraciones de sustancias minerales y orgánicas, siendo comparables con hallazgos previos en biofermentos de estiércol bovino junto a efluentes cerveceros por Leiva Trujillo (2018). Las mediciones de conductividad entre 3.56 y 9.78 dS/m ubican a los biofertilizantes en un rango cercano a estudios anteriores (López *et al.*, 2023), indicando elevada salinidad, abundancia de sólidos disueltos en forma iónica y la necesidad de diluirlos antes de su aplicación para riego.

Los valores de potencial redox en los biofermentados con NPK, urea y la mezcla de minerales superaron el rango reportado por Várnero (2011) quien plantea que el valor óptimo para este tipo de producto debe oscilar entre 220 mV y 350 mV, a un pH de 7.0, 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.

Los grados Brix como medida de sólidos disueltos, pueden dar indicios de la calidad y eficiencia del proceso, contrastando en este caso con estudios previos (Yono *et al.*, 2010). El nitrógeno amoniacal se produce principalmente por descomposición de residuos orgánicos, explicándose sus mayores niveles en urea y NPK por el contenido de nitrógeno, especialmente en urea cuya liberación de amoniaco depende del pH (Bleizgys y Naujokienė, 2023).

La dinámica de emisión de brotes con hojas de la morera sugirió que las características de los biofertilizantes no impactaron significativamente la capacidad de rebrote de las estacas plantadas sobre el sustrato utilizado. Otros estudios encontraron que el uso de biofertilizantes y extractos vegetales puede garantizar mayor emisión de brotes en esta especie, con incrementos entre 11-15% reportados por Boschini y Rodríguez (2002)

y efectos positivos en variables como el número de brotes reportados por Jaramillo *et al.* (2023).

Los mayores índices de emisión de hojas en los tratamientos con urea, NPK y la mezcla de minerales se explican porque estos biofertilizantes proporcionaron una fuente rica en nitrógeno y potasio, nutrientes esenciales para los procesos fisiológicos como la fotosíntesis y formación de tejidos vegetales. Resultados que concuerdan con un estudio que encontró que diferentes fórmulaciones con base de orina de vaca presentaron un mayor número de hojas por planta (Kumari *et al.*, 2018).

Los resultados en la supervivencia concuerdan con investigaciones previas sobre el uso de promotores del crecimiento, tales como el ácido indolbutírico (IBA) y el orgafol un promotor del crecimiento orgánico empleados en la mejora de la morfogénesis de raíces y la supervivencia de esquejes de plantas de morera (Hawramee *et al.*, 2019; Bharathi *et al.*, 2020). La diferencia entre los tratamientos de los biofermentados y el control se explica por los mayores niveles de nutrientes como nitrógeno, potasio, fósforo y materia orgánica presentes en las soluciones; lo cual pudo favorecer un inicio más rápido de la actividad radical gracias al estado nutricional proporcionado (Domínguez *et al.*, 2010). En particular, el calcio fortalece las paredes y los tejidos celulares, facilitando la movilización de carbohidratos necesaria para el establecimiento de la planta (Feng *et al.*, 2023).

Es conocido que algunas especies con baja capacidad de propagación responden positivamente a sustancias o fitohormonas que determinan no solo la tasa de enraizamiento, sino también la calidad del sistema radical formado; garantizando así la supervivencia y desarrollo de la planta (Ruiz-Solsol y Mesén, 2010). Investigaciones previas reportan rangos de supervivencia del 60.0-85.6% en esquejes de morera, dependiendo del método, ambiente, sustrato y concentración de IBA utilizada (Hawramee *et al.*, 2019; Chanotra *et al.*, 2022); por lo que los resultados superiores al 73.0% obtenidos se encuentran dentro de los rangos reportados e incluso los superan para este tipo de planta. Estos resultados sugieren que los fermentados podrían mejorar la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo y crear condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Peniwiratri y Afany, 2021; Tammam *et al.*, 2022). No obstante, es importante seguir investigando con muestras de mayor tamaño, durante períodos más prolongados.

Los valores bajos a medios de clorofila, nitrógeno relativo, flavonoles y antocianinas en las plantas contrasta con lo encontrado en otros estudios, donde se reportaron valores superiores para estos indicadores: en trigo, entre 34.52 y 40.89% para clorofila (Cabello, 2019); en morera, de 30 a 60% de clorofila y un NBI entre 10 a 25 (Cerovic *et al.*, 2012); y en acelga, 45 a 52 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de clorofila y NBI de 28 a 38 (Rivacoba *et al.*, 2014). Según Lüscher (2014), las respuestas de las plantas son dinámicas y pueden variar entre especies o variedades debido a factores genéticos y ambientales. Las diferencias en los niveles de estos parámetros en este estudio pueden atribuirse a factores como el diseño experimental, la genética de la planta y las interacciones entre el tratamiento y la fisiología vegetal.

No obstante, el tratamiento NPK obtuvo los mejores valores de clorofila y NBI, contrastado con los menores niveles de metabolitos secundarios flavonoles y antocianinas.

Lo que evidencia que este tratamiento garantizó una óptima nutrición para el crecimiento vegetal, sin causar estrés que indujera una mayor producción de compuestos fenólicos. Otros trabajos concordaron que condiciones óptimas de fertilidad en la morera derivan en mayores niveles de clorofila y menores contenidos de ácido clorogénico y flavonoles (Del Pozo *et al.*, 2016; Sugiyama *et al.*, 2016).

El nitrógeno presente en los biofermentados de urea y fórmula completa NPK constituye un elemento que las plantas requieren en cantidades adecuadas para sus procesos de crecimiento y desarrollo. Una absorción eficiente estimula la biomasa aérea y radical, así como una mayor longitud de las raíces (Gastal y Lemaire, 2002), lo cual ocurrió en menor intensidad en los demás tratamientos. Además, Kumari *et al.* (2018) observó que el uso de orina de vaca como abono proporcionó mayor altura de las plantas, ancho de hoja y área foliar y a combinación de estiércol de vaca, harina y tierra forestal garantizó una mayor longitud de las raíces, similar a los resultados obtenidos con el biofermentado de urea. 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.

Las asociaciones establecidas entre algunas características de los biofermentados, las disoluciones y las características morfofisiológicas de las plantas, explican la efectividad de los tratamientos evaluados, y puede explicarse por el efecto combinado de la microbiota y los metabolitos presentes en el IHPLUS® BF (Díaz-Solares *et al.*, 2020), en el sustrato fermentado de estiércol de vaca y los minerales naturales incorporados (Nazar *et al.*, 2019), con un efecto directo en la disponibilidad de nutrientes para la planta y que se refleja en un mayor índice de nitrógeno en las hojas (Bécquer *et al.*, 2021). Estudios previos demostraron que el uso de biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y *Azotobacter* aumentan 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. También 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-microrganismos.

Conclusiones

Los biofermentados de excretas de vaca con IHPLUS® BF, enriquecidos con minerales, mostraron características típicas de este tipo de proceso; y se distinguieron por presentar valores adecuados de pH y potencial redox para su uso en la fertilización, alta conductividad eléctrica y contenidos elevados de nitrógeno amoniacal y potasio.

El biofermentado de zeolita y la mezcla fueron los tratamientos que mejor determinaron la supervivencia.

La fertilización con biofermentados de NPK mejoró los metabolitos primarios en comparación con el resto de los tratamientos y mostró los menores valores absolutos de antocianinas.

Los resultados indican una relación estrecha entre las propiedades químicas de los biofertilizantes y sus soluciones, y el crecimiento y desarrollo de las plantas de morera.

Literatura citada

- Aramendis, R.H.; Mondaini, A.O. y Rodríguez, A.G. (2023). Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe. 119 p.
- Baqual, M.F. (2013). Economics of using biofertilisers and their influence on certain quantitative traits of mulberry. *African Journal of Agricultural Research*. 6(27): 3628-3631.
- Bécquer, C.J.; Puentes, A.B.; Cabrera, A.; Hernández, M. y Sánchez, A. (2021). Efecto de la inoculación con microorganismos benéficos en variables agroproductivas de *Morus alba*. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 55(2): 15.
- Bharathi, S.; Shanmugam, R.P.; Tilak, M. y Ka, M. (2020). 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.
- Bizzozero, F. (2006). Biofertilizantes nutriendo cultivos sanos. *Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas. Uruguay*. 36 p.
- Bleizgys, R. y Naujokienė, V. (2023). Ammonia Emissions from Cattle Manure under Variable Moisture Exchange between the Manure and the Environment. *Agronomy*. 13(6): 1555.
- Boschini, C. y Rodríguez, A.M. (2002). Inducción del crecimiento en estacas de morera (*Morus alba*), con ácido indol butírico (AIB). *Agronomy Mesoamerican*, 13(1): 19-24.
- Cabello, M.J. (2019). *Caracterización morfo-anatómica de la hoja bandera de distintos genotipos de trigo (Triticum aestivum L.)* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.) 58 p.
- Cano, M.; Bennet, A.; Silva, E.; Robles, S.; Sainos, U. y Castorena, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*. 50(4): 471-479.
- Cerovic, Z.G.; Masdoumier, G.; Ghozlen, N.B. y Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiol Plant*. 146(3): 251-260.
- Chanotra, S.; Muskan; Bhat, M.D.A.; Angotra, J.; Verma, G.R.; Langer, S. y Aziz, A. (2022). 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.
- Del Pozo, A.; Yáñez, A.; Matus, I.A.; Tapia, G.; Castillo, D.; Sanchez-Jardón, L. y Araus, J.L. (2016). Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water-stress in a Mediterranean environment. *Front Plant Sci* 7: 987.
- Díaz-Solares, M.; Martín-Martín, G.J.; Miranda-Tortoló, T.; Fonte-Carballo, L.; Lamela-López, L.; Montejo-Sierra, I. L.; Contino-Esqujerosa, Y.; Ojeda-García, F.; Medina-Salas, R.; Ramírez-Suárez, W.M.; Lezcano-Fleires, J.C.; Pentón-Fernández, G.; Peter-Schmith, H.; Alonso-Amaro, O.; Catalá-Barranco, R. y de la Caridad Milera-Rodríguez, M. (2020). Obtención y utilización de microorganismos nativos: el bioproducto IHPLUS®. *Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar*. EEPF Indio Hatuey. Matanzas, Cuba. 19 p.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.R.C.W. y Robledo, C.W. (2008). InfoStat, versión 2008. *Grupo infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. 115 p.

- Domínguez, J.; Lazcano, C. y Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas: Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta zoológica mexicana*. 26(SPE2): 359-371.
- Feng, D.; Wang, X.; Gao, J.; Zhang, C.; Liu, H.; Liu, P. y Sun, X. (2023). Exogenous calcium: Its mechanisms and research advances involved in plant stress tolerance. *Front Plant Sci*, 14: 1143963.
- Gastal, F. y Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J Exp Bot*. 53(370): 789-799.
- González, K.T.; Vásquez Ponce, P.J.; Sánchez Gómez, K.B.; Tejada Asencio, J.M. y Aguirre Castro, C.A. (2021). 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.
- Hach Company. (2015). Nitrogen, ammonia salicylate method (Método 8155) [Instrucciones de prueba]. DOC316.53.01077. Loveland, Colorado, Estados Unidos. 6 p.
- Hach Company. (2018). Potassium, tetraphenylborate method (Method 8049) [Instrucciones de prueba]. DOC316.53.01127. Loveland, Colorado, Estados Unidos. 8p.
- Hach Company. (2020). LCK365 Organic acid (fatty acid) / Butanoic acid [Instrucciones de prueba]. DOC312.53.94057. Loveland, Colorado, Estados Unidos. 3 p.
- Hawramee, O.A.; Aziz, R.R. y Hassan, D.A. (2019). Propagation of white mulberry *Morus alba* L. fruitless cultivar using different cutting times and IBA. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 388(1): p012069. IOP Publishing.
- Husson, O. (2012). Redox potential (Eh) and pH as indicators of soil conditions: possible application in design and management of conservation agriculture cropping systems. The 3rd International Conference, Hanoi 2012. Pp. 138.
- Jaramillo, F.L.A.; Guillen, Á.R.F. y Buitrón, K.T.G. (2023). 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.
- Kumari, A.; Devi, S.; Thakur, I.; Suman, K. y Sankhayan, N. (2018). Effect of organic formulations on growth of mulberry (*Morus alba* L.) at nursery stage. *International Journal of Chemical Studies*. 6(6): 974-978.
- Leiva-Trujillo, B.F. (2018). *Elaboración de biofertilizante a partir de estiércol de ganado vacuno y efluente del proceso de fermentación cervecera mediante fermentación homoláctica* (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Repositorio Institucional URL. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3740>.
- López, J.M.; Estévez, K.J.; Mejía, E.; Romero, E.A. y Díaz, F.A. (2023). Caracterización Química de Biofertilizantes Inoculados con Microorganismos de Montaña, en el Departamento De Copán, Honduras. *Bionatura*. 8(2): 39.
- Lüscher, J.M. (2014). Effects of UV-B radiation on grapevine (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) leaf physiology and berry composition, framed within the climate change scenario (water deficit, elevated CO₂ and elevated temperature). (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux; Universidad de Navarra).
- Nazar, A.; Kalarani, M.K.; Jeyakumar, P.; Kalaiselvi, T.; Arulmozhiselvan, K. y Manimekalai, S. (2019). 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.
- Noda, Y.; Martín, G.J.; Matos, W. y Pentón, G. (2013). Efecto de la fertilización química y biológica en el rendimiento morfoagronómico de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 36(2): 190-196.
- Pavankumar, S.; Bali, K. y Chanotra, S. (2020). Impact of organic based nutrient management on growth and yield parameters of mulberry (*Morus* sp.). *International Journal of Chemical Studies*. 8(4):1036-1039.
- Peniwiratri, L. y Afany, M.R. (2021). Potential of Paitan (*Tithonia diversifolia*) and Cow Manure For Available Nutrients Supply On Sandy Beach Soil. *RSF Conference Series: Engineering and Technology*. 1(1): 521-526
- Pentón-Fernández, G.; Martín-Martín, G.J.; Rivera-Espinosa, R.A.; Martín-Alonso, G.M.; González-Cañazares, P.J. y Oropeza-Casanova, K. (2017). Manejo de la nutrición y la defoliación de *Morus alba* (L.) var. tigreada para la producción de hojas. *Pastos y Forrajes*. 39: 252-258.

- Reddy, P.S.; Rao, T.S.; Venkataramana, P.B. y Suryanarayana, N. (2003). Response of mulberry varieties to VAM and azotobacter biofertilizers inoculation. *Indian Journal of Plant Physiology*. 8(2): 171-174.
- Restrepo, R.J. (2013). Manual práctico: *El ABC de la Agricultura Orgánica, fosfitos y panes de piedra*. Impresión Feriva SA Santiago de Cali, Colombia. 262 p.
- Rivacoba, L.; Suso, M.L. y Pardo, A. (2014). 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.
- Ruiz-Solsol, H. y Mesén, F. (2010). Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agron. Costarricense*, 34(2): 269-285.
- Schmidt, H.P. y Taylor, P. (2014). Kon-Tiki flame curtain pyrolysis for the democratization of biochar production. *Biochar J*. 1: 338-348.
- Shashidhar, K.R.; Narayanaswamy, T.K.; Bhaskar, R.N.; Jagadish, B.R.; Mahesh, M. y Krishna, K.S. (2009). Influence of organic based nutrients on soil health and mulberry (*Morus indica* L.) production. *J. Biol. Sci.* 1(1): 94-100.
- Sugiyama, M.; Katsube, T.; Koyama, A.T. y Itamura, H. (2016). 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.
- Tammam, A.A.; Rabei Abdel Moez Shehata, M.; Pessarakli, M. y El-Aggan, W.H. (2022). Vermicompost and its role in alleviation of salt stress in plants – I. Impact of vermicompost on growth and nutrient uptake of salt-stressed plants. *Journal of Plant Nutrition*. 46: 1446 - 1457.
- Varnero, M.T. (2011). *Manual de biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ministerio de Energía de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, y Global Environment Facility. 119 p.
- Yono, B.; Widiasa, I.; Seno, J. y Sunarso, S. (2010). The influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using fluid rumen inoculum. *Energy Research Journal*. 1(1): 6-11.