

Artículo Original
Original Article

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DEL USO COMBINADO DE ABONOS VERDES Y DOSIS DE NPK EN EL CULTIVO DE YERBA MATE (*Ilex paraguariensis*)
AGRONOMIC AND ECONOMIC EVALUATION OF THE COMBINED USE OF GREEN MANURES AND NPK DOSES IN THE CULTIVATION OF YERBA MATE (*Ilex paraguariensis*)

Diego E. Gabriel Mendoza Leiva

Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agrarias. Katueté, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-2274-0660>

Miguel Bogado Cáceres

Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agrarias. Katueté, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6396-9140>

Diosnel Amarilla Mercado

Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agrarias. Katueté, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5871-9179>

Ever M. Maidana Chávez

Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agrarias. Katueté, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1389-1004>

Autor corresponsal: Miguel Bogado Cáceres: miguel.bogado@hotmail.com

Cómo citar este artículo:

Mendoza Leiva DEG, Bogado Cáceres M, Amarilla Mercado D, Maidana Chávez EM. Evaluación agronómica y económica del uso combinado de abonos verdes y dosis de NPK en el cultivo de Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*). Rev. Soc. cient. Parag. 2026;31:e3109

RESUMEN

Los nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) son fundamentales para el desarrollo de las plantas, mientras que los abonos verdes aportan beneficios al suelo. El estudio evaluó el efecto agronómico y económico de la combinación de abonos verdes y diferentes dosis de fertilizante NPK en el cultivo de yerba mate. El experimento se realizó en Francisco Caballero Álvarez, Canindeyú, en un cultivo de yerba mate con 10 años de establecimiento, utilizando un diseño de bloques completos al azar con parcelas subdivididas de 2x4. Se evaluaron tratamientos con siembra y no siembra de abonos verdes combinados con dosis de 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹ de NPK. La cantidad y longitud de brotación variaron según la dosis de NPK, mientras que la cobertura de malezas fue menor en los tratamientos con abonos verdes. El rendimiento y los beneficios económicos fueron superiores al combinar abonos verdes con la dosis de 300 kg ha⁻¹ de NPK. En conclusión, la siembra de abonos verdes reduce la cobertura de malezas, la aplicación de 300 kg ha⁻¹ de NPK favorece el desarrollo y la producción de la yerba mate, y la combinación de ambos factores maximiza los beneficios económicos obtenidos.

Palabras clave: beneficios; fertilización; nutrición; plantas de cobertura; producción.

ABSTRACT

Nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium (NPK) are essential for plant development, while green manures provide benefits to the soil. This study evaluated the agronomic and economic effects of combining green manures with different NPK fertilizer doses in yerba mate cultivation. The experiment was conducted in Francisco Caballero Álvarez, Canindeyú, in a 10-year-old yerba mate plantation, using a randomized complete block design with 2x4 subplots. Treatments with and without green manure application were evaluated, combined with NPK doses of 0, 100, 200, and 300 kg ha⁻¹. The amount and length of sprouting varied according to the NPK dose, while weed cover was lower in the green manure treatments. Yield and economic benefits were higher when green manures were combined with the 300 kg ha⁻¹ NPK dose. In conclusion, planting green manures reduces weed cover, applying 300 kg ha⁻¹ of NPK promotes the development and production of yerba mate, and combining both factors maximizes the economic benefits obtained.

Keywords: benefits; fertilization; nutrition; cover plants; production.

INTRODUCCIÓN

La yerba mate es un cultivo de gran relevancia en la producción nacional de Paraguay, destacándose como rubro generador de ingresos y de importancia económica, cultural y social ⁽¹⁾. La yerba mate como mate o tereré es culturalmente esencial en Paraguay, básica en la dieta familiar y utilizada en té, helados, repostería y golosinas. Su demanda internacional crece en alimentación, nutrición, farmacia y cosmética, exigiendo calidad e inocuidad en toda la cadena ⁽²⁾.

La producción por parte de los productores primarios de yerba mate tiene un gran impacto social, por lo que resulta esencial contar con recursos oportunos y adecuados, incluyendo una alta inversión inicial de capital para insumos, equipos y etapas desde la preparación del suelo hasta la cosecha. En este sentido, el cultivo de hojas como materia prima constituye la base fundamental de toda la cadena productiva, y su manejo correcto o inadecuado influirá de forma decisiva en la producción y la calidad del producto final ⁽²⁾⁽³⁾.

Durante el ciclo de cultivo 2018-2019, el Ministerio de Agricultura y Ganadería estimó un costo total de implantación y primer año de producción de 17.400.000 guaraníes por hectárea, reduciéndose a 7.753.472 guaraníes a partir del segundo año, donde el costo de los fertilizantes resulta considerable entre los gastos ⁽³⁾.

En plantaciones tradicionales de yerba mate, las aplicaciones de fertilizantes han sido erráticas, desalentando a productores y técnicos. Por ello, la fertilización debe integrarse como una práctica agrícola más, no la solución principal para deficiencias, considerando factores interrelacionados como manejo del suelo, plantas, trabajos culturales y control de plagas ⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

Para una producción sostenible, de calidad y cantidad, debe equilibrarse con la extracción de nutrientes por las plantas; de lo contrario, generará desequilibrios que reducirán la rentabilidad ⁽⁵⁾. La dosis se ajusta según el rendimiento esperado y análisis químico del suelo, optimizando la productividad y evitando excesos o insuficiencias ⁽⁶⁾. Estudios realizados por el INTA EEA, concluyeron que por cada 3000 kg ha⁻¹ de hoja de yerba mate cosechadas se extraen del suelo, 24,5 kg de nitrógeno, 7,5 kg de fósforo (P₂O₅) y 23 kg de potasio (K₂O) ⁽⁵⁾.

Otra práctica recomendada es la cobertura vegetal, que protege la superficie del suelo, reduce la erosión y la compactación, y aporta beneficios como el aumento de materia orgánica, la reposición de nutrientes, la retención de humedad y el control de malezas, favoreciendo la sostenibilidad y productividad del cultivo de yerba mate ⁽⁷⁾. Los abonos verdes, por su rápido crecimiento y adaptabilidad, se emplean para mejorar la estructura del suelo, aumentar su humedad y biodiversidad, controlar malezas, plagas y enfermedades, y recuperar suelos degradados ⁽⁸⁾⁽⁹⁾. Su uso, individual o combinado, antes o después de cultivos comerciales, optimiza las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, aumentando la fertilidad y productividad del sistema agrícola ⁽¹⁰⁾.

En virtud de lo expuesto, se desarrolló el presente estudio con el objetivo de evaluar el efecto agronómico y económico de la combinación de abonos verdes y dosis de NPK en el cultivo de yerba mate. Se espera observar diferencias significativas en el desarrollo y la productividad del cultivo, así como en la cobertura de malezas y los beneficios económicos, al integrar la siembra de abonos verdes y la aplicación de distintas dosis de NPK.

METODOLOGÍA

El experimento se condujo en una parcela de yerba mate establecida con 10 años de implantación, ubicada en el municipio de Francisco Caballero Álvarez, departamento de Canindeyú, entre las coordenadas geográficas 24°09'53.8" S y 54°48'52.7" W. El manejo previo del cultivo consistía únicamente en el control periódico de malezas, realizado de forma manual con azada alrededor de las plantas de yerba mate. El experimento se desarrolló durante un periodo de 12 meses, iniciando después de la cosecha en abril de 2019 y finalizando con la siguiente cosecha en abril de 2020.

El suelo del sitio corresponde al orden Alfisol, subgrupo Rhodic y gran grupo Paleudalf. Presenta un paisaje con muchas lomadas, cuyo material de origen es la arenisca y cuenta con un relieve que va de 3 a 8% con buen drenaje y nula

pedregosidad y/o rocosidad ⁽¹¹⁾. Las características químicas del suelo, determinadas en la capa de 0–20 cm antes de la instalación del experimento fueron las siguientes: materia orgánica (MO): 1,24 %; pH en H₂O: 4,48; K: 0,19 cmolckg⁻¹; P: 2,97 mg kg⁻¹; Al: 2,40 cmolckg⁻¹; Ca: 2,03 cmolc kg⁻¹ y Mg: 0,25 cmolc kg⁻¹.

Las condiciones climáticas de Canindeyú, se caracteriza como cálido a templado. Según el sistema de clasificación establecido por Köppen y Geiger, este clima se clasifica como Cfa (subtropical húmedo), con precipitaciones y temperaturas medias anuales de 1579 mm y 22,7 °C, respectivamente ⁽¹²⁾. La Figura 1 muestra los datos de precipitación y temperatura media registrados durante el desarrollo del experimento.

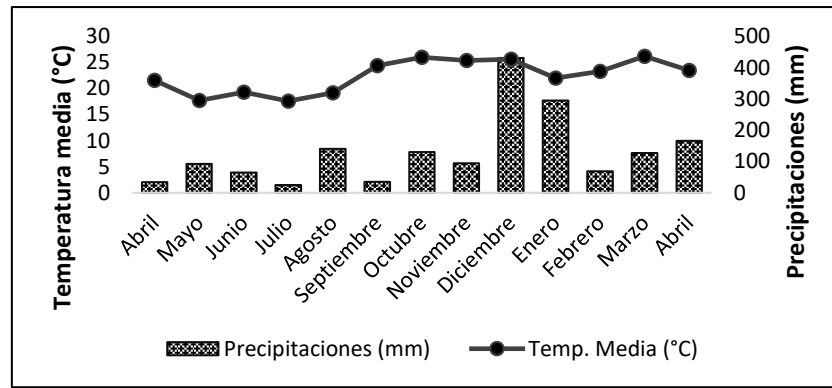


Figura 1. Datos de precipitaciones y temperatura media mensual registrada en el año 2019-2020 proveído por la Estación Experimental del IPTA – Yhovy Dto. Canindeyú. Katueté. 2021.

El experimento se desarrolló en una superficie total de 2.880 m², con dimensiones de 60 m de largo por 48 m de ancho, dividida en 24 unidades experimentales. Cada unidad tenía un área de 120 m², con 12 m de largo por 10 m de ancho, y contenía 4 hileras de cultivo separadas por 3 m entre sí y 2 m entre plantas, lo que corresponde a una población de 1.667 plantas por hectárea.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con parcelas subdivididas 2x4. En las parcelas principales se realizaron los tratamientos de integración y no integración de abonos verdes, mientras que en las subparcelas se probaron cuatro dosis de NPK (0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹). Así, el experimento contó con 8 tratamientos y 3 repeticiones, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos. Katueté. 2021.

Tratamientos	Abonos verdes	Dosis de NPK (kg ha ⁻¹)	Composición de la dosis (kg ha ⁻¹)		
			N	P	K
T1	Sin abono verde	0	0	0	0
T2		100	15	15	15
T3		200	30	30	30
T4		300	45	45	45
T5	Con abono verde	0	0	0	0
T6		100	15	15	15
T7		200	30	30	30
T8		300	45	45	45

El fertilizante NPK con formulación 15-15-15 se aplicó mediante la apertura de tres pequeños hoyos a una profundidad de 15 a 20 cm, ubicados a 50 cm alrededor de cada planta de yerba mate. Entre las hileras se sembraron los abonos verdes: avena blanca (*Avena sativa* L.) durante el invierno y mucuna ceniza (*Stizolobium cinereum*) en verano. Las semillas de avena se esparcieron al voleo y se manejaron mediante cortes antes de la maduración para mantenerla como cobertura. La mucuna ceniza se sembró en surcos y su crecimiento se controló con cortes realizados cada tres semanas para evitar que trepara sobre el cultivo de yerba mate.

El manejo de plantas dañinas en las parcelas con abono verde se realizó manualmente con azada, mientras que en las parcelas sin abono verde se usó una desmalezadora, en ambos casos se realizaron según la necesidad. Para el control de insectos, específicamente del rulo de la yerba mate (*Gyropsylla spegazziniana*), se emplearon aplicaciones de imidacloprid 70% cuando fue requerido.

A los 8 meses de aplicaciones de los tratamientos, se evaluó la cantidad de nuevos brotes tomando 5 plantas por unidad experimental y promediando los conteos en unidad de brotes por planta. Para determinar la longitud de brotación, se midieron las plantas al inicio y a los 12 meses del experimento desde la base del tallo, calculando la diferencia entre ambas medidas.

Para evaluar el rendimiento por planta, se realizó la cosecha manual con tijeras de poda, dejando ramas banderolas; el material se pesó y el rendimiento se expresó en kilogramos por planta.

El porcentaje de cobertura de malezas se toma 20 días después de la cosecha usando la aplicación CANOPEO⁽¹³⁾, que calcula la cobertura verde a partir de fotos tomadas desde arriba en cada unidad experimental.

La relación costo-beneficio se calculó considerando los costos fijos y variables para obtener el costo total por tratamiento, y multiplicando el rendimiento total por el precio de mercado del momento (1.700 gs/kg) para obtener el ingreso, todo en base a 1 ha. Luego se aplicó la siguiente fórmula para obtener dicha relación: $C/B = \frac{\text{Ingresos totales}}{\text{Costos totales}}$

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante análisis de varianza (ANAVA). Los tratamientos que revelaron diferencias significativas fueron sometidos a la prueba de Tukey al 5% de nivel de significancia para la separación de medias. Estos procedimientos se ejecutaron utilizando el paquete estadístico AgroStat⁽¹⁴⁾.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza muestran que no se detectan efectos de interacción entre factores para las variables estudiadas. Sin embargo, el rendimiento por planta, la cobertura de malezas y la relación costo-beneficio presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la parcela principal, correspondiente a la siembra o no de abonos verdes en el cultivo de yerba mate. En contraste, las variables número y longitud de brotes no mostraron diferencias significativas en esta parcela. En las subparcelas, que correspondieron a las diferentes dosis de NPK, todas las variables presentaron diferencias significativas, excepto la cobertura de malezas.

En cuanto a la cantidad y longitud de brotes (Tabla 2), ambas variables presentaron una tendencia similar. La siembra de abonos verdes generó un promedio de 15,77 brotes con una longitud de 45,25 cm, mientras que sin abono verde los valores fueron de 14,38 brotes y 39,00 cm, sin diferencias significativas. Respecto a las dosis de NPK, la respuesta fue estadísticamente diferente, destacando la dosis de 300 kg ha⁻¹ con 20,45 brotes y 70,33 cm, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, seguida por 200 kg ha⁻¹ (16,50 brotes y 45,66 cm), 100 kg ha⁻¹ (13,03 brotes y 33,50 cm) y el testigo sin aplicación (10,33 brotes y 19 cm).

La mayor respuesta en número y longitud de brotes se observó con la dosis más alta de NPK (300 kg ha⁻¹), presumiendo que esta fertilización proporcionó mayor energía para la brotación y crecimiento postpoda, especialmente por el aporte de nitrógeno y fósforo, como señala Skromeda⁽¹⁵⁾. Estos resultados coinciden con Calderón Centurión⁽¹⁶⁾, quien reportó diferencias significativas en el número de brotes en yerba mate asociados a dosis progresivas de NPK. Por el contrario, Lourenço et al.⁽¹⁷⁾ no observaron diferencias significativas. Por su parte, Hernández Vásquez et al.⁽¹⁸⁾, en otra especie arbórea, reportaron diferencias significativas en la longitud de brotes desde los 100 kg ha⁻¹ de NPK.

Respecto al rendimiento, la siembra de abonos verdes produjo un promedio estadísticamente superior de 6,35 kg por planta, en comparación con los 5,63 kg obtenidos sin abonos (Tabla 2). Esta diferencia podría atribuirse a la cobertura y aporte de materia orgánica, la mejora en la infiltración del agua al evitar la erosión, así como a una mayor retención y disponibilidad de nutrientes para la yerba mate^{(8) (9)}. Además de las propiedades físicas y químicas, contribuye a

mejorar las propiedades biológicas del suelo ⁽¹⁰⁾. Por tanto, se puede suponer que las prácticas culturales en el manejo de las plantaciones ejercen un impacto significativo sobre la diversidad del suelo, lo que a su vez influye directamente en la productividad de las mismas ⁽¹⁹⁾.

En relación con las dosis de NPK, el rendimiento promedio por planta aumentó progresivamente a medida que se incrementó la dosis, destacando los 7,20 kg obtenidos con 300 kg ha⁻¹, valor significativamente superior a los demás tratamientos. El rendimiento más bajo se registró en el testigo sin aplicación de NPK, con 4,90 kg. Estos resultados reflejan una clara relación con el número y la longitud de las brotaciones, apuntando que la mayor dosis proporcionó más energía a las plantas de yerba mate ⁽¹⁵⁾, evidenciando así su buena respuesta a la fertilización y su potencial para incrementar la materia verde por planta ⁽¹⁶⁾. Por tanto, estos resultados son consistentes con estudios que reportan aumentos significativos en el rendimiento por planta tras la aplicación de NPK ^(6,17).

En la cobertura de malezas 20 días después de la cosecha, se encontró diferencia significativa entre parcelas con y sin abonos verdes, pero no entre dosis de NPK. Las parcelas con abonos verdes presentaron menor cobertura (9,60%) en comparación con las parcelas sin abono (20,06%) (Tabla 2). Esto demuestra que especies como avena blanca y mucuna ceniza cubren el suelo eficientemente durante su crecimiento o tras manejo, limitando el desarrollo de malezas por competencia y alelopatía además de otros beneficios ^(6,10).

En la relación costo-beneficio (C/B), se detectaron diferencias significativas en ambos factores (Tabla 2). La siembra de abonos verdes generó una relación C/B promedio de 1,38, superior a 1,24 sin abono. Esto indica un retorno más alto por unidad monetaria invertida. Así mismo, la dosis más alta de NPK (300 kg ha⁻¹) mostró el C/B más alto (1,44), aunque estadísticamente similar a las otras dosis, mientras que el testigo presentó valor inferior (1,16) pero similar con la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de NPK.

Tabla 2. Medias de número de brotes (NB), longitud de brotes (LB), rendimiento por planta (RP), cobertura de malezas (CM) y costo beneficio (C/B), en función a la aplicación de dosis de NPK con y sin integración de abonos verdes. Katueté. 2021.
*Valores con la misma letra, no difieren estadísticamente entre sí según el test Tukey al 5% de probabilidad de error.

Siembra y no siembra de abonos verdes					
Abonos verdes	NB (Ud.)	LB (cm)	RP (Kg pl ⁻¹)	CM (%)	CB (C/B)
Con	15,77 a*	45,25 a	6,35 a	9,60 b	1,38 a
Sin	14,38 a	39,00 a	5,83 b	20,06 a	1,24 b
DMS (5%)	3,07	12,73	0,18	9,14	0,09
CV (%)	11,62	17,22	1,77	35,11	4,02
Dosis de NPK					
NPK (kg ha ⁻¹)	NB (Ud.)	LB (cm)	RP (Kg pl ⁻¹)	CM (%)	CB (C/B)
0	10,33 d*	19,00 d	4,90 d	14,24 a	1,16 b
100	13,03 c	33,50 c	5,86 c	16,57 a	1,29 ab
200	16,50 b	45,66 b	6,40 b	14,12 a	1,35 a
300	20,45 a	70,33 a	7,20 a	14,41 a	1,44 a
DMS (5%)	0,99	6,86	0,5	4,45	0,15
CV (%)	3,83	9,50	4,87	17,52	6,85

En un análisis más detallado de la relación C/B, se calculó el porcentaje de beneficio neto según la aplicación de NPK, con y sin la integración de abonos verdes (Figura 2). Este porcentaje se obtuvo restando el costo total al ingreso total de cada tratamiento, multiplicando la diferencia por 100 y dividiendo el resultado entre el ingreso total, lo que permitió expresar el beneficio neto en términos porcentuales.

De manera general, todos los tratamientos, incluidos los testigos generaron beneficios, y a partir de la aplicación de NPK, los márgenes aumentaron conforme se incrementaron las dosis. Como se observa previamente, la inclusión de

abonos verdes mejora la relación C/B en comparación con su ausencia (Tabla 2). Este resultado se confirma al analizar los márgenes de beneficios, con un promedio de 27,95% para los tratamientos con abonos verdes, frente al 18,35% en aquellos sin abonos (Figura 2). Esta diferencia podría estar relacionada con la reducción de costos, debido a la menor demanda de mano de obra para limpieza y manejo en las parcelas con abonos verdes, gracias a la cobertura que estos proporcionan y al mayor control sobre el desarrollo de malezas ⁽⁶⁾.

Por otro lado, aunque las distintas dosis de NPK ofrecieron C/B similares entre sí y solo se diferenciaron estadísticamente del testigo sin aplicación (Tabla 2), el análisis del porcentaje de beneficios muestra un margen mayor con la dosis más alta aplicada (300 kg ha⁻¹). Este margen aumentó aún más cuando se combinó con la siembra de abonos verdes, alcanzando un 32,7%, frente al 28,7% sin abonos. Estos hallazgos evidencian el buen potencial de la yerba mate para responder a la fertilización con NPK ⁽¹⁶⁾, incrementando la producción de materia verde ⁽⁶⁾ y, por ende, favoreciendo los beneficios económicos al optimizar el manejo de las plantaciones ⁽¹⁹⁾.

Es importante destacar que, aunque los fertilizantes representan un costo significativo, su aplicación en la producción de yerba mate resulta rentable, con márgenes de beneficio que aumentan progresivamente al incrementar las dosis. Según proyecciones del MAG ⁽³⁾, la tasa interna de retorno (TIR) alcanza el 28% en un período de 15 años con 200 kg ha⁻¹ de NPK anual (sin abonos verdes); sin embargo, el presente trabajo supera este valor con solo 100 kg ha⁻¹ de NPK combinado con abonos verdes, logrando un 29%. De manera similar, un estudio en otro cultivo ⁽²⁰⁾ reportó que la aplicación de NPK elevó los costos en un 37% respecto al testigo, pero incrementó el beneficio neto en un 377% y la relación beneficio/costo en un 248%.

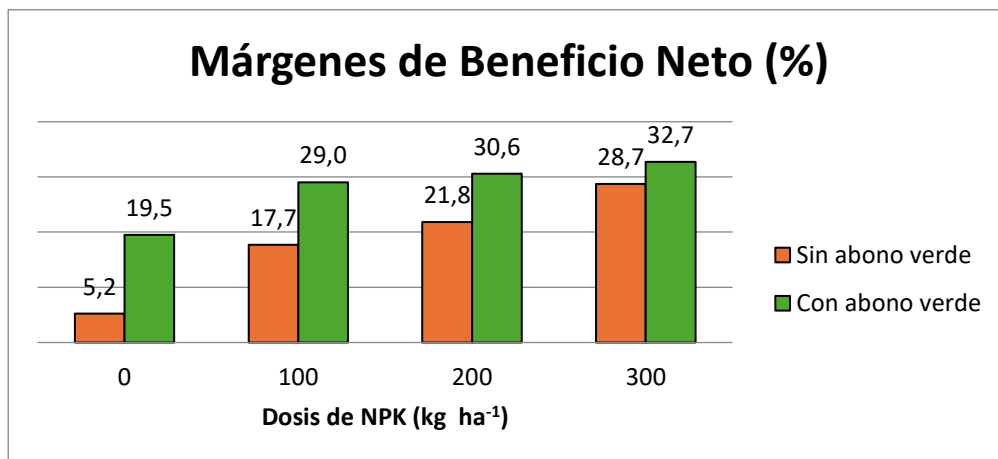


Figura 2. Márgenes de beneficio neto en porcentaje con aplicación de dosis de NPK combinado con y sin integración de abonos verdes en el cultivo de la yerba mate. Katueté. 2021.

CONCLUSIONES

La aplicación de 300 kg ha⁻¹ de NPK favorece el desarrollo de la yerba mate, mientras que la inclusión de abonos verdes regula la cobertura de malezas. La combinación de ambos factores influye positivamente en el rendimiento y genera mayores beneficios económicos.

Declaración de financiamiento:	La presente investigación se llevó a cabo con financiación propia.
Declaración de conflicto de intereses:	Los autores declaran no tener conflictos de intereses.
Declaración de autores:	Los autores aprueban la versión final del artículo.
Contribución de autores:	Conceptualización: Diego E. Gabriel Mendoza Leiva; Investigación: Diego E. Gabriel Mendoza Leiva; Metodología: Diego E. Gabriel Mendoza Leiva, Ever M. Maidana Chavez; Curación de los datos: Miguel Bogado Cáceres; Análisis formal: Miguel Bogado Cáceres, Diosnel Amarilla Mercado; Administración del proyecto: Diego E. Gabriel Mendoza Leiva; Supervisión: Miguel Bogado Cáceres; Validación: Miguel Bogado Cáceres; Redacción y Borrador original: Miguel Bogado Cáceres, Ever M. Maidana Chavez; Análisis económicos: Diosnel Amarilla Mercado.

Agradecimientos:	A la Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agrarias.
Revisión por pares:	Este artículo fue evaluado mediante un proceso de revisión por pares anónimos, conforme al procedimiento de transparencia editorial de la revista. Las observaciones y sugerencias de los revisores fueron consideradas por los autores hasta alcanzar la versión final publicada, garantizando la integridad científica del trabajo y la confidencialidad de los evaluadores.
Disponibilidad de datos:	Los datos están disponibles previa solicitud al autor corresponsal.

REFERENCIAS

1. Acosta VMM. Evaluación de técnicas de plantación de Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* S.H), cultivadas a campo en el municipio de Natalio, Paraguay. Estudios e Investigaciones del Saber Académico. 2015;(9):78–81. Disponible en: <https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa/es/article/view/147/135>
2. Zelada N, Mendoza L, Echeverría P. Caracterización de la yerba mate elaborada y envasada en el territorio nacional en relación a especies micotoxigénicas determinación de aflatoxinas. Paraguay: CONACYT – SEMIT – ID; 2016. Disponible en: https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u294/caracterizacion-yerba-mate-aflatoxinas.pdf
3. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costo de producción agrícola 2019. Paraguay: Dirección General de Planificación; 2019. Disponible en: https://informacionpublica.paraguay.gov.py/public/2025/1738175362_2_Costosdeproduccion2019.pdf
4. Burtnik DO. Yerba mate: Manual de producción. INTA – Agencia de Extensión Rural Santo Tomé – Corrientes; 2006. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-del-nordeste/cultivos-ii/manual-de-produccion-de-yerba-mate-oscar-burtnik-2006/125655530>
5. Capellari PL, Burgos AM, Cabrera MG, Dalurzo HC, Dávalos M, Dirchwolf P, et al. Yerba mate: reseña histórica y estadística: producción e industrialización en el siglo XXI. 1. ed. Corrientes, Argentina: Consejo Federal de Inversiones; 2017. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/512484508/2021-4-05-Instituto-Agrotecnico-Victor-Navajas-Centeno-Cultivos-Industriales-YERBAMATE#page=162>
6. Zelada Cardozo NJ, González Villalba JD. Guía técnica cultivo de yerba mate. San Lorenzo: FCA- UNA; 2019. Disponible en: https://www.iica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_07.pdf
7. Zelada C, N. Manejo de suelos en yerba mate. Enlace Agrario. 2015;1(1):24-25. Disponible en: https://www.agr.una.py/Difusion/imagen/enlace_agrario/agrario_nro1.pdf
8. Proyecto para el Apoyo a Pequeños Agricultores en la Zona Oriental (PROPA-Oriente). Abonos verdes. Guía Técnica 11. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Disponible en: https://www.iica.go.jp/Resource/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_11.pdf
9. Guzmán Casado GI, Alonso Mielgo AM. Buenas prácticas en producción ecológica - Uso de abonos verdes. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; 2008. Disponible en: https://agricultura.gencat.cat/web/.content/03-agricultura/pae/publicacions-material-referencia/produccions-agricoles/adobat/uso_abonos_verdes.pdf
10. García AG. Los abonos verdes. AgroCabillo. 2012;1–8. Disponible en: https://www.agrocabillo.org/publica/Publicaciones/agec_454_abonos_verdes.pdf
11. López Gorostiaga O, González Erico E, De Llamas G. PA, Molinas M. AS, Franco S, ES, García SS, et al. Mapa de reconocimiento de suelos de la región oriental. Proyecto de racionalización del uso de la tierra. Asunción: Williamz & Heintz Map Corporation; 1995. Disponible en: <https://imagoteca.com.py/republica-del-paraguay-mapa-de-reconocimiento-de-suelos-de-la-region-oriental/>
12. Climate-data.org. Cima Canindeyú. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/paraguay/canindeyu-1264/>
13. Universidad Estatal de Oklahoma. Calcula el porcentaje de cubierta vegetal con Canopeo; 2015. Disponible en: <https://www.greenappsandweb.com/android/calcula-el-porcentaje-de-cubierta-vegetal-con-canopeo/>
14. Barbosa JC, Maldonado WJr. AgroEstat - Sistema para Análisis Estadísticos de Ensaio Agrônomicos. Versión 1.1.0.712. Jaboticabal, FCAV – UNESP; 2014.
15. Skromeda M. Evaluación de la brotación en yerba mate bajo distintos niveles nutricionales. Balcarce: Universidad de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias; 2019. Disponible en: https://www.academia.edu/90950654/Evaluaci%C3%B3n_de_la_brotaci%C3%B3n_en_yerba_mate_bajo_distintos_niveles_nutricionales
16. Calderón Centurión J. Efecto de diferentes dosis de NPK en el cultivo de la yerba mate (*Ilex paraguariensis*). Paraguay: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Canindeyú; 2019. Disponible en: <https://fcaunican.edu.py/repositorio/items/show/39>
17. Lourenço RS, Sales Medrado MJ, Mosele SH, Waczuk A. Efeito do adubo NPK 20-5-20 na produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Áurea, RS. II. Brasília, DF: Embrapa; 1998;(64):1-3. Disponible en: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/290897/1/pesqandam64.PDF>
18. Hernández Vásquez R, Cruz Cruz E, Díaz Zorrilla GO, Pérez León MI, Lozano Trejo S, Velasco Velasco VA. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. Rev Mex Cienc Agrícolas. 2013;6:1119-28. Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1276/1125>

19. Ferreira MI, Salas-Dueñas DA. Valor estratégico de la yerba mate en la Reserva de Biosfera del Bosque Mbaracayú, Paraguay. Rev Soc Cient Parag. 2019;24(1):204-217. Disponible en:
<https://sociedadcientifica.org.py/ojs/index.php/rscopy/article/view/66/68>
20. Zegbe JA, Sánchez-Toledano BI, Mena-Covarrubias ASJ. Análisis económico de la aplicación de fertilizantes minerales en el rendimiento del nopal tunero. Rev Mex Cienc Agríc. 2014;5(3):449–61. Disponible en:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n3/v5n3a9.pdf>