



EFFECTIVIDAD DE LA EDAD DE CORTE Y FERTILIZACIÓN EN CONTENIDO NUTRIMENTAL DE *Moringa oleifera* Lam. †

[EFFECTIVENESS OF AGE OF CUTTING AND FERTILIZATION IN NUTRIMENTAL CONTENT OF *Moringa oleifera* Lam.]

Mario Alejandro Hernández-Chontal¹, Ariadna Linares-Gabriel^{1*},
Armando Guerrero-Peña², Gloria Esperanza de Dios-León³
and Nereida Rodríguez-Orozco⁴

¹Colegio de Postgraduados - Campus Veracruz, km. 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, Tepetates, Veracruz. México, Emails: hernandez.mario@colpos.mx, linares.ariadna@colpos.mx

²Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n, CP. 86500. H Cárdenas, Tabasco, México. Email: garmando@colpos.mx

³Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Email: dediosgloria@colpos.mx

⁴Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. Email: nrodriguez@uv.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. A strategy to improve the nutritional content of moringa during its different stages of growth is through efficient fertilizers management. **Objective.** To evaluate the effectiveness of cutting age and fertilization in the nutritional content of moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Methodology.** A complete randomized block design was used with split plot arrangement (A/B) and four repetitions. Factor A: cut age, 60 and 120 days after transplantation (DAT). Factor B: soil fertilization with NPK (kg ha⁻¹) in the doses 13-13-13 (T₁13), 26-26-26 (T₂26), 38-38-38 (T₃38) and control treatment without application (T₄SA). The variables evaluated were: crude protein (CP), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn) and iron (Fe) in stems and leaves. Statistical differences were found ($p \leq 0.05$) for cutting age, fertilization with NPK and the interaction between both. **Results.** The interaction age of cut - fertilization with NPK, showed statistical differences ($p \leq 0.05$); for the K in leaves and Zn in stem. According to the means test with Tukey ($p \leq 0.05$) regarding factor A, the best treatment was at 60 DDT and T₁13, T₂26 and T₃38 for fertilization with NPK. The best interaction was for the age of cut at 60 DDT with application of T₂26 and T₃38 for K in leaves and T₁13 and T₃38 for Zn in stem. **Implications.** The low doses of fertilization used in this study and the form of fertilizer distribution along the growth of moringa contribute to an efficient management of fertilizers in moringa. **Conclusions.** The age of cut at 60 DDT showed the highest values of nutritional content in leaves and stems. The fertilization doses applied significantly improved the nutritional values with respect to the control. The interaction between cutting age and fertilization with NPK promoted increases in nutritional values of K in leaves and Zn in Stems at the cut age of 60 DDT.

Keywords: efficient fertilizer management; nutritional content; leaves; stems; crude protein.

RESUMEN

Antecedentes. Una estrategia para mejorar el contenido nutrimental de moringa durante sus diferentes etapas de crecimiento, es a través el manejo eficiente de fertilizantes. **Objetivo.** Evaluar la efectividad de la edad de corte y la fertilización en el contenido nutrimental de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Metodología.** Se empleó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo de parcelas divididas (A/B) y cuatro repeticiones. Factor A: edad de corte, 60 y 120 días después del trasplante (DDT). Factor B: fertilización al suelo con NPK (kg ha⁻¹) en las dosis 13-13-13 (T₁13), 26-26-26 (T₂26), 38-38-38 (T₃38) y un tratamiento control sin aplicación (T₄SA). Las variables evaluadas fueron: proteína cruda (PC), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe) en tallos y hojas. **Resultados.** Se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para edad de corte, la fertilización con NPK y la interacción entre ambas. De acuerdo a la prueba de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) en cuanto al factor A, el mejor tratamiento fue a los 60 DDT y T₁13, T₂26 y T₃38 para la fertilización con NPK. La mejor interacción fue para la edad de corte a los 60 DDT con aplicación de T₂26 y T₃38 para K en hojas y T₁13 y

† Submitted July 2, 2019 – Accepted November 10, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

T₃38 para Zn en tallo. **Implicaciones.** Las dosis bajas de fertilización utilizadas en este estudio y la forma de distribución del fertilizante a lo largo del crecimiento de moringa contribuyen a un manejo eficiente de fertilizantes en moringa. **Conclusiones.** La edad de corte a los 60 DDT mostró los valores más altos de los contenidos nutrimentales en hojas y tallos. Las dosis de fertilización aplicadas mejoraron significativamente los valores nutrimentales respecto al control. La interacción entre edad de corte y fertilización con NPK promovió los incrementos en los valores nutrimentales de K en hojas y Zn en Tallos a la edad de corte de 60 DDT.

Palabras clave: manejo eficiente de fertilizantes; contenido nutrimental; hojas; tallos; proteína cruda.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) crece de uno a dos metros por año y alcanza hasta 12 m de altura en los primeros 3 a 4 años (Pina *et al.*, 2018). Su propagación es por semillas o plantando fragmentos de la planta (tallos, raíces o ramas), es resistente a diversos climas, sin embargo, es vulnerable en tiempos de viento y sequía (Meza-Leones *et al.*, 2018).

Las hojas presentan un importante valor nutricional, principalmente por su contenido de calcio, vitaminas (C y A) y proteína (Attia M. F. *et al.*, 2014; Bolarinwa *et al.*, 2019). Además, otras partes de la planta son aprovechadas debido sus propiedades alimenticias, como por ejemplo semillas y flores (Oyeyinka y Oyeyinka, 2018). Así mismo, este cultivo es aprovechado como forraje para el consumo animal, por ejemplo ovinos y bovinos (Bonafant Ruiz *et al.*, 2012; Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018a; Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018b). Por otro lado, la moringa también tiene propiedades que pueden tener aplicaciones en medicamentos y biopesticidas (Nouman *et al.*, 2013).

Los árboles de moringa por sus características generalmente crecen bien sin aplicación de cantidades altas de fertilizantes (Zaku *et al.*, 2015), sin embargo para mejorar el crecimiento y rendimiento del cultivo, moringa tiene un mejor desarrollo en suelo franco-arcilloso o arcilla, con un pH ligeramente ácido a neutro y la fertilización orgánica o mineral es necesaria para lograrlo (Isaiah, 2013; Dania *et al.*, 2014; Guzmán-Albores *et al.*, 2019). No tolera el suministro prolongado de agua, sin embargo es importante considerar las condiciones de estrés hídrico en que se cultive (Archila *et al.*, 2018).

Considerando que el suministro de nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de moringa puede ser una limitación a su crecimiento (Attia *et al.*, 2014), esencialmente nitrógeno, fósforo y potasio, ya que a pesar del enorme potencial de los árboles, la información todavía es escasa sobre el requerimiento de fertilizantes para el crecimiento adecuado y la calidad nutrimental de la planta (Isaiah, 2013).

Entre los principales macronutrientes, la importancia del nitrógeno (N) radica además de los procesos químicos y fisiológicos elementales, en mejorar la calidad y cantidad de materia seca, su deficiencia,

causa madurez temprana en algunos cultivos, lo que resulta en una reducción significativa en el rendimiento y la calidad (Gojon, 2017). Por otro lado, el fósforo (P) desempeña un papel importante en el almacenamiento y la transferencia de energía, en cuanto a la nutrición de las plantas, ayuda en el desarrollo de la raíz, la iniciación de flores y el desarrollo de semillas y frutos; la deficiencia del P, se refleja en un crecimiento lento, débil, atrofiado, desplante de hojas y tallos y retraso en la madurez (Grant *et al.*, 2005). Finalmente, el potasio (K) es vital para el crecimiento de la planta, ayuda a regular el uso del agua en la planta mediante el control de la apertura y el cierre de los estomas de las hojas; el síntoma más común es la clorosis a lo largo de los bordes de las hojas (Uchida, 2000).

En este contexto, es importante considerar que el manejo sostenible de nutrientes debe ser eficiente (la planta obtenga los nutrimentos en el momento que los necesite), esto brindará beneficios económicos, sociales y ambientales anticipados; principalmente la disminución de los altos costos de producción ocasionados por el uso de fertilizantes (Fixen *et al.*, 2015).

Este estudio, tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la edad de corte y la fertilización con NPK en el contenido nutrimental de moringa. De esta forma, es necesario generar información acerca de la altura a la que debe ser cosechada esta planta para lograr buenos rendimientos y principalmente la calidad de biomasa (Padilla *et al.*, 2014; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2015) y sobre los efectos de la temporada, la densidad de siembra y la altura de corte de la moringa en el rendimiento y la calidad del forraje (Zheng *et al.*, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se realizó en la comunidad Almagres, municipio de Sayula de Alemán, Veracruz, México; sitio con coordenadas 17° 48" N y 94° 56" O, a 40 msnm. La zona cuenta con un clima cálido subhúmedo (Aw2) de los más húmedos (García, 1998) y una precipitación y temperatura media anual de 1750 mm y 25 °C respectivamente.

Especie evaluada

El cultivo de moringa se evaluó de julio de 2016 a diciembre de 2017 comprendiendo desde la fase de germinación, trasplante, establecimiento en campo de la planta, hasta la cosecha. Para la germinación la semilla se dejó sumergida en agua durante 24 horas antes de la siembra (Padilla *et al.*, 2012) y se usaron charolas con 60 cavidades de 61.2 cm² cada una, utilizando una semilla por orificio. El trasplante se realizó a los 25 días después de la siembra (DDS) en bolsas de polietileno de tamaño de 15 cm x 25 cm. Al sustrato utilizado en la germinación y trasplante se le realizó un análisis físico químico (Tabla 1), de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002); esto se realizó en el Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Las plantas se mantuvieron en las bolsas de polietileno durante 25 días, posteriormente se realizó el trasplante a campo utilizando el sistema de plantación marco real, con un arreglo espacial de 2 x 2 m, con una densidad de población de 2,500 plantas ha⁻¹. Las características del suelo donde se establecieron las plantas de moringa, se muestran en la Tabla 2. Los análisis físico químicos se realizaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), en el Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con arreglo de parcelas divididas (A/B) y cuatro repeticiones. El factor A consistió en la edad de corte a los 60 y 120 días después del trasplante (DDT). El factor B consistió en la fertilización al suelo con NPK, los niveles de fertilización expresados en kg ha⁻¹

fueron: tratamiento uno 13-13-13 (T₁13), tratamiento dos 26-26-26 (T₂26), tratamiento tres 38-38-38 (T₃38) y el tratamiento cuatro consistió en un control sin aplicación (T₄SA). La fuente de fertilizante fue triple 17, la aplicación se realizó depositando el fertilizante a una profundidad de 5 cm a una distancia de 10 cm de la planta, distribuido en seis aplicaciones a partir del trasplante. La unidad experimental consistió en dos plantas.

Cosecha de las plantas

Dos cosechas se realizaron a los 60 y 120 DDT. Después de la cosecha, los componentes de la planta (hojas compuestas y tallos) se lavaron por separado con agua corriente y por último con agua destilada. Fueron colocados en bolsas de papel y se introdujeron en estufa de aire forzado a temperatura de 60 °C, hasta obtener peso constante; posteriormente se molieron con criba de 2 mm. Este procedimiento se realizó para las dos cosechas de plantas.

Variables evaluadas

Las variables del material vegetal tanto para hojas y tallos fueron estimadas de la siguiente manera: proteína cruda (%)=método micro Kjeldahl (%N*6.25) descrito por la AOAC (2000); fósforo (%) y potasio (%) medidos en el digestado con HNO₃/HClO₄; la cuantificación del fósforo fue con espectrofotómetro UV-visible (Marcs Perkin Elmer, Modelo LAMBDA 10) y calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), Hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) fueron cuantificados por espectrometría de absorción atómica (Perkin Elmer, Modelo 5000). Los análisis correspondientes se realizaron en el Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Tabla 1. Análisis químico y físico del sustrato utilizado para la germinación y trasplante de moringa.

pH	CE	MO	Nt	P Olsen	K	CIC	Clase textural
1:2	(dS m ⁻¹)	-----%-----		(mg kg ⁻¹)	----(cmol kg ⁻¹)----		
6.7	0.43	2.3	0.55	69.8	2.3	37.7	Arcilloso

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo disponible, K: potasio, CIC: capacidad de intercambio catiónico

Tabla 2. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Almagres, municipio de Sayula de Alemán, Veracruz, México

pH	CE	MO	Nt	P Olsen	K	CIC	Clase textural
1:2	(dS m ⁻¹)	-----%-----		(mg kg ⁻¹)	----(cmol kg ⁻¹)----		
5.8	0.047	7.3	0.40	5.07	0.99	37.2	Arcilloso

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo disponible, K: potasio, CIC: capacidad de intercambio catiónico

Análisis estadístico

Las variables evaluadas se analizaron con el programa Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS, 2014) como parcelas divididas A/B y su interacción. Las variables que resultaron con diferencia estadística significativa se hizo la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos de porcentaje se transformaron con raíz cuadrada, antes de realizar el análisis de varianza. En general, podemos decir que los datos que requieren la transformación con la raíz cuadrada no violan los supuestos del análisis de varianza debido a que los datos se hicieron más normales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Edad de corte

El factor edad de corte fue estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) para las variables proteína cruda (PC), P, K, Mg, Na, Fe en Hojas y PC, P, K, Mg, Na, Cu, Zn, Mn y Fe en tallos (Tabla 3).

Los resultados muestran que contenidos nutrimentales varían en relación con la edad de corte. En este trabajo se identificó que, la máxima concentración de

nutrimentos en hojas y tallos de moringa fue a la edad de corte 60 DDT, en relación con 120 DDT. Aun, cuando desde el punto de vista agronómico ocurre una relación lineal de la demanda nutrimental con el aumento de la biomasa, descrita como un valor constante para cada edad de la planta, proporcional a la cantidad de materia seca; resulta necesario que esa concentración sea satisfecha, si no los rendimientos posibles que pudieran alcanzarse no serán obtenidos (Etchevers Barra, 1999). En este sentido el suministro de nutrientes, tiene una estrecha relación con la edad de la planta y la eficiencia de uso de nutrimentos por la planta disminuye conforme se completa la etapa de madurez (Leghari *et al.*, 2016). Esto explica en gran medida los resultados obtenidos en esta investigación.

De acuerdo a la comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) se encontró que para los mayores contenidos de PC, P, K, Mg y Na y Fe en hojas fue a la edad de corte de 60 DDT; para el caso de Ca, Cu, Zn y Mn los contenidos fueron iguales a los 60 DDT y 120 DDT. Con respecto a los tallos, en cuanto a los contenidos de PC, P, K, Mg, Na, Cu, Zn, Mn y Fe, la comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) mostró que los mejores resultados fueron para la edad de corte a los 60 DDT (Tabla 4).

Tabla 3. Niveles de significancia de acuerdo con los análisis de varianza para las variables evaluadas en Moringa.

Variables	Edad de corte	Fertilización al suelo	Edad de corte x Fertilización al suelo
----- Hojas -----			
PC	0.0076*	0.3874	0.5931
P	0.0001	0.0037	0.3896
K	0.0001	0.0118	0.0497
Ca	0.4295	0.8334	0.2939
Mg	0.0001	0.9168	0.9399
Na	0.0002	0.1773	0.6208
Cu	0.7558	0.4867	0.9941
Zn	0.2732	0.1351	0.4708
Mn	0.0676	0.7977	0.6639
Fe	0.0006	0.4409	0.9711
----- Tallo -----			
PC	0.0002	0.4150	0.9415
P	0.0079	0.5147	0.0514
K	0.0006	0.1157	0.2208
Ca	0.2859	0.3662	0.2446
Mg	0.0236	0.7650	0.3604
Na	0.0183	0.2075	0.7742
Cu	0.0001	0.0498	0.0867
Zn	0.0001	0.2093	0.0152
Mn	0.0067	0.8204	0.4034
Fe	0.0049	0.1851	0.4761

* $p \geq 0.05$, no significativo.

Tabla 4. Comparación de medias para los nutrientes evaluados en moringa.

Tratamiento	Variables									
	PC	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Fe
	----- % -----									
	Hojas									
60 DDT	22.86 ^a	0.29 ^a	2.24 ^a	1.51 ^a	0.22 ^a	0.0168 ^a	13.35 ^a	17.56 ^a	42.76 ^a	74.2 ^a
120 DDT	18.91 ^b	0.24 ^b	1.97 ^b	1.65 ^a	0.10 ^b	0.0093 ^b	12.73 ^a	15.80 ^a	50.74 ^a	53.8 ^b
	Tallo									
60 DDT	8.34 ^a	0.25 ^a	2.07 ^a	0.34 ^a	0.21 ^a	0.021 ^a	7.85 ^a	18.44 ^a	14.37 ^a	54.9 ^a
120 DDT	6.05 ^b	0.15 ^b	1.89 ^a	0.36 ^a	0.18 ^b	0.015 ^b	4.00 ^b	9.54 ^b	11.91 ^b	23.2 ^b

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

En algunas evaluaciones en cuanto a proteína cruda, los resultados han contribuido al manejo del cultivo de moringa, ya que de acuerdo al interés de uso se evidencian las diferencias en los contenidos. En algunos casos la mezcla de hojas de diferentes tamaños muestran valores bajos de nutrientes y muestras comerciales contienen un valor alto; el contenido de proteína de las hojas de los árboles de 100 cm es mayor (24.7%) que el de los árboles de 25 cm (21.1%) y 250 cm (22.3%) y menor al de una muestra comercial de Oaxaca, México (29.3%) lo cual tiene relación con la edad de corte (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2015). Con respecto al efecto de la altura de corte (10, 20 y 30 cm), algunos autores mencionan que también puede notarse en períodos lluviosos, los cuales muestran menor contenido de fósforo ($p < 0.01$) cuando se cosecha a 30 cm de altura; por ello, resulta necesario investigaciones que combinen alturas de corte y frecuencia de corte para optimizar la producción de forraje (Padilla *et al.*, 2014). Por otro lado se ha asociado el efecto de la edad de corte con las épocas climáticas, ya que es relevante tener en cuenta que la edad de corte no logra un efecto en los contenidos de PC, sin embargo el contenido es mayor en la temporada de lluvias (235.3-257.6 g kg⁻¹) que en la estación seca (224.1-232.8 g kg⁻¹) y se vio afectado por la densidad de siembra en la temporada de lluvias (Zheng *et al.*, 2016). Resultados contrarios a este estudio, muestran que el contenido de proteína no se ve influenciado por las alturas de corte, los meses de cosecha o sus interacciones y que la altura de corte no alteró el contenido mineral (K, Ca, Mg y P) de las hojas de moringa (Nouman *et al.*, 2013).

Fertilización al suelo

El factor fertilización al suelo fue estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) para las variables P, K en hojas y Cu en tallos. De acuerdo a la comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) los contenidos de P en hojas fueron mayores con la aplicación de los tratamientos T₁13 (13-13-13) y T₃38 (38-38-38) y para K los tratamientos T₁13 (13-13-13), T₂26 (26-26-26) y T₃38 (38-38-38) en relación con T₄SA (sin aplicación). Para el caso de los contenidos de Cu en tallos los mayores contenidos fueron con los tratamientos T₁13 (13-13-

13), T₂26 (26-26-26) y T₃38 (38-38-38). Las demás variables tanto para hojas y tallos no mostraron diferencias entre tratamientos (Tabla 5).

Los resultados encontrados muestran una relación directa de la aplicación de fertilizante con los valores más altos de nutrientes. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas en cuanto a PC, los valores más altos se asociaron a la aplicación de fertilizante donde el nitrógeno juega un papel importante. Dos factores importantes a destacar son: que el fertilizante se fraccionó en seis aplicaciones y que se aplicó posterior al trasplante a campo. Esto debido a que una práctica común es la aplicación de N ocurre en la fase inicial de crecimiento (germinación y desarrollo de plántulas) donde la planta no tiene un sistema de raíces bien desarrollado con raíces cortas y la planta no puede absorber el N del suelo; así que conforme ocurre el crecimiento aumenta la utilización de N (Leghari *et al.*, 2016). Una dosis mayor de N pudo mejorar significativamente los contenidos de PC. En cuanto al P y K los valores mejoraron significativamente con la aplicación del fertilizante, en el caso de P el suministro mejoró el crecimiento de las raíces, la morfología y la distribución de los sistemas de raíces en el suelo (Lynch *et al.*, 2012), lo que favoreció su contenido en la biomasa. A nivel fisiológico, el suministro de NPK se relaciona con el incremento de las concentraciones endógenas de fitohormonas, que regulan las relaciones fuente-sumidero y que son un factor esencial para el crecimiento y el rendimiento (Engels *et al.*, 2012).

La ausencia de diferencias significativas de Ca en moringa, puede atribuirse a la capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica (retención de cationes) del suelo donde se estableció moringa. Los contenidos pueden considerarse adecuados en concentraciones de 1-5%, las raíces extraen el calcio de la solución del suelo y lo envían a través del xilema, por lo que el flujo de Ca hacia el xilema es alto, encontrándose mayormente en hojas en comparación con el tallo (White y Broadley, 2003). En cuanto al Zn, los bajos contenidos de materia orgánica en los suelos dan lugar a una deficiencia de Zn lo que no ocurrió en el estudio realizado, puede considerarse que los

contenidos de Zn aumentaron con el aumento de la materia orgánica en el suelo y la aplicación de NPK. Las diferencias que se muestran en los resultados en cuanto a los contenidos de Zn en tallos, pudo estar relacionada con la inhibición de la absorción ocasionada por la interacción de Ca, Mg o K (Hafeez *et al.*, 2013). Los contenidos de Cu en moringa y su variación en el contenido en hojas y tallos, estas relacionados con los contenidos de Cu en el suelo, ya que la planta de ahí lo adquiere y de ello depende su variación, el contenido es regulado por las células y orgánulos de la planta (Yrueala, 2005), aunque se sugiere considerar en otros estudios las variaciones de los contenidos de Zn en el suelo y en las plantas en sus diferentes etapas fenológicas.

Considerando que se utilizaron dosis bajas de fertilización, se logró obtener valores altos de proteína y de los demás nutrimentos en relación con el tratamiento sin aplicación. Investigaciones que han aplicado distintos niveles de fertilización (0, 30, 60, 90 y 120 kg NPK ha⁻¹) al analizar la composición de nutrimentos de las hojas de *Moringa oleifera*, el nivel más alto de fertilizante produjo la mayor cantidad de proteínas (19.01%) y el nivel de 60 kg NPK ha⁻¹, favoreció la acumulación de fósforo en las hojas (Isaiah, 2013), estos resultados difieren de los encontrados en el estudio realizado, debido a que con un nivel de fertilización de 38 kg ha⁻¹ de NPK se obtienen valores similares de proteína y fósforo. Los efectos de fertilizante NPK (10 y 50% de 120 kg ha⁻¹), encontraron efectos significativos en los contenidos de proteína, donde los valores más altos fue en la planta que se trató con 120 kg ha⁻¹ de NPK con valores de 28.89 ± 0.75 mg g⁻¹, mientras que el valor más bajo de proteínas fue de 19.77 ± 0.68 mg g⁻¹ en la planta de control (Sarwar *et al.*, 2018). Cuando se ha combinado el abono de aves de corral y NPK, los contenidos de fósforo, potasio, sodio y manganeso en hojas de moringa fue significativamente mayor con la aplicación de estiércol de aves de corral en comparación con otros tratamientos y la aplicación de

NPK aumentó los valores de contenido de Cu (8.3 mg kg⁻¹) y Fe (198 mg kg⁻¹) en las hojas (Dania *et al.*, 2014). Estos valores de Cu y Fe son menores a los encontrados en este estudio.

Edad de corte y fertilización al suelo

La interacción edad de corte y fertilización al suelo mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los contenidos de K en hojas y en los contenidos de Zn en tallo a los 60 DDT respectivamente. Con base en las pruebas de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) los mayores contenidos de K fueron a través de los tratamientos T₂26 y T₃38. En cuanto a los mayores contenidos de Zn, se consiguieron con los tratamientos T₁13 y T₃38 (Tabla 6). La producción de biomasa depende de la actividad fotosintética de las hojas y su crecimiento, directamente de los nutrientes. Estos actúan como componentes integrales del aparato fotosintético y su suministro controla indirectamente la fotosíntesis (Engels *et al.*, 2012). En las edades de corte evaluadas la planta aun necesitó un suministro suficiente de NPK, principalmente de N, por lo que la interacción no mejoró significativamente los contenidos de nutrimentos de la mayoría de los elementos minerales. Y es que desde el punto de vista fisiológico la edad de la planta es un factor que influye en la eficiencia de los nutrientes, aun cuando no se consideran en ninguna disciplina agrícola, solo desde el punto de vista genético (Leghari *et al.*, 2016). Conforme la planta crece el requerimiento de nutrientes es mayor, debido al crecimiento de las raíces, la morfología y su distribución de los sistemas de raíces en el suelo (Lynch *et al.*, 2012). Lo anterior es indispensable considerar ya que las plantas toman elementos minerales principalmente nitrógeno, fósforo los cuales contribuyen en la construcción del cuerpo de la planta, las reacciones bioquímicas y el control del crecimiento (Brukhin y Morozova, 2011).

Tabla 5. Comparación de medias para los tratamientos del factor fertilización al suelo.

Tratamiento	Variables									
	PC	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Fe
	-----%						----- mg kg ⁻¹ -----			
	Hojas									
T ₁ 13	21.30a	0.29ab	2.04ab	1.64a	0.16a	0.0137a	14.27a	17.85a	46.75a	62.2a
T ₂ 26	21.45a	0.24c	2.16a	1.65a	0.16a	0.0112a	11.68a	14.59a	45.99a	63.7a
T ₃ 38	21.66a	0.29a	2.21ab	1.54a	0.17a	0.0150a	14.91a	19.27a	49.98a	70.5a
T ₄ SA	19.13a	0.24bc	2.00b	1.50a	0.16a	0.0125a	11.31a	15.01a	44.27a	59.4a
	Tallo									
T ₁ 13	7.42a	0.18a	1.94a	0.34a	0.19a	0.017a	5.7ab	14.02a	12.69a	26.0a
T ₂ 26	7.68a	0.17a	2.04a	0.32a	0.20a	0.015a	7.3a	14.40a	13.61a	43.1a
T ₃ 38	7.10a	0.21a	2.04a	0.38a	0.20a	0.021a	6.0ab	15.32a	13.44a	31.4a
T ₄ SA	6.57a	0.26a	1.91a	0.34a	0.19a	0.021a	4.5b	12.22a	12.84a	55.8a

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

Algunos autores evaluaron la aplicación de vermicompost (150 kg N ha⁻¹), roca de fosfato (96 kg P ha⁻¹), urea (150 kg N ha⁻¹) y su interacción con dos fechas de corte, encontraron que las fuentes de nutrientes no afectaron significativamente los valores de proteína en hojas, con valores en un rango de 22.9-24 a los 45 DDE (días después de la emergencia) y 4-4.2 a los 90 DDE (Guzmán-Albores *et al.*, 2019). Los datos encontrados por estos autores coinciden con este estudio, donde los cambios significativos están determinados por la edad de corte. Diversas investigaciones muestran que se obtienen valores altos de nutrimentos en moringa, estas se enfocan al estudio de material vegetal proveniente de distintos sitios y de diferentes zonas agroecológicas. Encontrando que hojas provenientes de una colecta en campo, ecotipo sudafricano, tenían los siguientes contenidos minerales: calcio (3.65%), fósforo (0.3%), magnesio (0.5%), potasio (1.5%), sodio (0.16%), azufre (0.63%), zinc (13 mg kg⁻¹), cobre (8.25%), manganeso (86.8 mg kg⁻¹) y hierro (490 mg kg⁻¹) (Moyo *et al.*, 2011), estos valores son parecidos a los encontrados en el estudio realizado. Aunque en el caso de proteína encontraron valores superiores que corresponden al 30.3%. Otro estudio encontró que las hojas de Moringa mostraron valores de 733.32 ± 0.05 mg mL⁻¹ de proteína (Nalamwar *et al.*, 2017). Para argumentar que es necesario considerar la edad de corte y fertilización, estudios realizados en diferentes zonas agroecológicas,

no encontraron diferencias significativas en los niveles de proteína (25.6-26.5%), aunque los valores fueron más altos a los encontrados en el estudio realizado (Asante *et al.*, 2014). Otra investigación realizada en dos áreas del este de Nigeria: Anambra y Enugu, obtuvieron un contenido de proteína de 10.7% y 6.1% para ambos sitios respectivamente (Mbah *et al.*, 2012). Estos valores son inferiores a los encontrados en este estudio en cuanto al contenido en hojas, pero los resultados son similares comparados con los contenidos en los tallos. Lo que demuestra que tanto las condiciones de manejo y edafoclimáticas provocan variaciones en los contenidos de PC y nutrientes tanto en hojas y tallos de *Moringa Oleifera* Lam.

CONCLUSIONES

La edad de corte a los 60 DDT mostró los valores más altos de los contenidos nutrimentales en hojas y tallos. Las dosis de fertilización aplicadas mejoraron significativamente los valores nutrimentales respecto al control. La interacción entre edad de corte y fertilización con NPK promovió los incrementos en los valores nutrimentales de K en hojas y Zn en Tallos a la edad de corte de 60 DDT. Las dosis bajas de fertilización utilizadas en este estudio y la forma de distribución del fertilizante a lo largo del crecimiento de moringa contribuyen a un manejo eficiente de fertilizantes en moringa.

Tabla 6. Medias de la interacción edad de corte x fertilización al suelo.

Factores	Niveles	PC	P	K	Variables			Cu	Zn	Mn	Fe
					Ca	Mg	Na				
		-----%			-----			----- mg kg ⁻¹ -----			
Hojas											
60 DDT	T ₁ 13	22.20	0.30	2.13b	1.52	0.22	0.0100	14.44	19.09	41.97	74.1
	T ₂ 26	24.22	0.28	2.27ab	1.36	0.23	0.0075	11.81	16.61	38.09	74.4
	T ₃ 38	24.40	0.32	2.32a	1.54	0.23	0.0100	15.70	18.02	48.47	80.1
	T ₄ SA	20.62	0.28	2.23b	1.62	0.22	0.0100	11.47	16.52	42.51	68.1
120 DDT	T ₁ 13	20.40	0.27	1.96bc	1.76	0.10	0.0175	14.10	16.61	51.54	50.3
	T ₂ 26	18.67	0.21	2.15b	1.94	0.10	0.0150	11.54	12.58	53.90	53.1
	T ₃ 38	18.92	0.27	2.00b	1.53	0.11	0.0200	14.12	20.52	51.49	61.0
	T ₄ SA	17.65	0.21	1.77c	1.37	0.09	0.0150	11.16	13.51	46.04	50.6
Tallo											
60 DDT	T ₁ 13	8.75	0.19	2.06	0.34	0.20	0.022	8.54	19.30ab	13.91	32.7
	T ₂ 26	8.67	0.16	2.10	0.31	0.19	0.017	7.81	17.26b	13.99	64.9
	T ₃ 38	8.27	0.25	2.07	0.33	0.22	0.025	7.97	22.43a	15.77	40.8
	T ₄ SA	7.67	0.39	2.07	0.36	0.21	0.022	7.06	14.79c	13.83	81.4
120 DDT	T ₁ 13	6.10	0.16	1.82	0.35	0.18	0.012	2.94	8.74e	11.48	19.2
	T ₂ 26	6.70	0.18	1.97	0.34	0.20	0.012	6.95	11.55cd	13.22	21.3
	T ₃ 38	5.92	0.16	2.01	0.43	0.18	0.017	4.21	8.22e	11.10	22.0
	T ₄ SA	5.47	0.12	1.75	0.33	0.16	0.020	1.93	9.66d	11.86	30.2

Financiamiento. No se obtuvieron fondos de ningún tipo para llevar a cabo este estudio.

Conflicto de interés. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses relacionados con esta publicación.

Cumplimientos de normas éticas. El trabajo de investigación no involucro sujetos humanos.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor por correspondencia (linares.ariadna@colpos.mx), con previa solicitud.

REFERENCIAS

- AOAC 2000. *Official Methods of Analysis*. Arlington, Texas: Association of Official Analytical Chemists, International.
- Archila A, K Espinosa-Arrijoja A, González-Soto T, F Gutiérrez-Oliva V, Ruíz-Valdiviezo V, Gonzalez-mendoza D, Rodríguez-Hernández L and Gutiérrez-Miceli F. 2018. Growth and biochemical responses of moringa (*Moringa oleifera* L.) to vermicompost and phosphate rock under water stress conditions. *Phyton* 87: 209-215.
- Asante WJ, Nasare IL, Tom-Dery D, Ochire-Boadu K and Kentil KB. 2014. Nutrient composition of *Moringa oleifera* leaves from two agro ecological zones in Ghana. *African Journal of Plant Science* 8(1): 65-71.
- Attia M. F., Shahin MFM, Merwad M.A., El-Hady ES and Haggag LF. 2014. Effect of mineral, organic and bio-fertilization on productivity of *Moringa* plant under saline conditions at North Sinai. *Middle East Journal of Applied Sciences* 4: 825-832.
- Attia MF, Shahin MFM, Merwad MA, Eman SE-H and Laila FH. 2014. Effect of mineral, organic and bio-fertilization on productivity of *Moringa* plant under saline conditions at North Sinai. *Middle East Journal of Applied Sciences* 4: 825-832.
- Bolarinwa IF, Aruna TE and Raji AO. 2019. Nutritive value and acceptability of bread fortified with moringa seed powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18(2): 195-200.
- Bonal Ruiz R, Rivera Odio RM and Bolívar Carrión ME. 2012. *Moringa oleifera*: una opción saludable para el bienestar. *Medisan* 16(10): 1596-1599.
- Brukhin V and Morozova N. 2011. Plant Growth and Development - Basic Knowledge and Current Views. *Math. Model. Nat. Phenom.* 6(2): 1-53.
- Dania SO, Akpansubi P and Eghagara OO. 2014. Comparative Effects of Different Fertilizer Sources on the Growth and Nutrient Content of *Moringa* (*Moringa oleifera*) Seedling in a Greenhouse Trial. *Advances in Agriculture* 2014: 1-6.
- Engels C, Kirkby E and White P 2012. Chapter 5 - Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships. In: Marschner P (ed) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, pp.85-133.
- Etchevers Barra JD. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3): 209-219.
- Fixen P, Brentrup F, Bruulsema T, Garcia F, Norton R and Zingore S 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: IFA I, IPNI and IPI (ed) *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. pp.1-30.
- García E 1998 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Report, México
- Gojon A. 2017. Nitrogen nutrition in plants: rapid progress and new challenges. *Journal of Experimental Botany* 68(10): 2457-2462.
- Grant C, Bittman S, Montreal M, Plenchette C, Morel C, Bittman C and Montreal S. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Canadian Journal of Plant Science* 85(1): 3-14.
- Guzmán-Albores MJ, Ramírez-Merchant ML, Interiano-Santos EC, Manzano-Gómez LA, Castañón-González JH, Winkler R, Abud-Archila M, Montes-Molina J, Antonio Gutiérrez-Miceli F and Ruíz-Valdiviezo V. 2019. Metabolomic and Proteomic Analysis of *Moringa oleifera* Cultivated with Vermicompost and Phosphate Rock under Water Stress Conditions. *International Journal Of Agriculture & Biology* 21: 786-794.
- Guzmán-Maldonado SH, Zamarripa-Colmenares A and Hernández-Duran LG. 2015. Calidad nutrimental y nutraceutica de hoja de moringa proveniente de árboles de diferente altura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 6(2): 317-330.
- Hafeez B, Khanif Y and Saleem M. 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. *American journal of experimental Agriculture* 3(2): 374.
- Isaiah MA. 2013. Effects of inorganic fertilizer on the growth and nutrient composition of *Moringa*

- (Moringa oleifera). *J. Emerg. Trends Eng. Appl. Sci* 4(2): 341-343.
- Ledeza-Rodríguez JL, Alonso GR, Benítez-Jiménez DG, Crucito-Arias R, Ray-Ramírez JV, Nuviola-Pérez Y and Reyes-Pérez JJ. 2018a. Rendimiento forrajero y sus componentes según la frecuencia de corte de Moringa oleifera, variedad Criolla. *Agronomía Mesoamericana* 29: 425-431.
- Ledeza-Rodríguez JL, Rosell-Alonso G, Benítez-Jiménez DG, Arias-Pérez RC, Ray-Ramírez JV and Reyes-Pérez JJ. 2018b. Producción de semillas de variedades de Moringa oleifera Lam en el Valle del Cauto. *Agronomía Mesoamericana* 29(2): 415-423.
- Laghari SJ, Wahocho NA, Laghari GM, HafeezLaghari A, MustafaBhabhan G, HussainTalpur K, Bhutto TA, Wahocho SA and Lashari AA. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology* 10(9): 209-219.
- Lynch J, Marschner P and Rengel Z 2012. Chapter 13 - Effect of Internal and External Factors on Root Growth and Development. In: Marschner P (ed) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, pp.331-346.
- Mbah B, Eme P and Paul A. 2012. Effect of drying techniques on the proximate and other nutrient composition of Moringa oleifera leaves from two areas in Eastern Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition* 11(11): 1044-1048.
- Meza-Leones M, Riaños-Donado K, Mercado-Martínez I, Olivero-Verbel R and Jurado-Eraso M. 2018. Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleifera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías* 17(2): 95-103.
- Moyo B, Masika PJ, Hugo A and Muchenje V. 2011. Nutritional characterization of Moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology* 10(60): 12925-12933.
- Nalamwar RR, Raut SD, Khan ND, Khan ZH and Mular S. 2017. Nutritional assessment of Moringa oleifera leaves. *International Journal of Applied Research* 3(3): 411-413.
- Nouman W, Siddiqui MT, Basra SMA, Farooq H, Zubair M and Gull T. 2013. Biomass production and nutritional quality of Moringa oleifera as a field crop. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37(4): 410-419.
- Oyeyinka AT and Oyeyinka SA. 2018. Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17(2): 127-136.
- Padilla C, Fraga N, Scull I, Tuero R and Sarduy L. 2014. Efecto de la altura de corte en indicadores de la producción de forraje de Moringa oleifera vc. Plain. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48(4): 405-409.
- Padilla C, Fraga N and Suárez M. 2012. Efecto del tiempo de remojo de las semillas de moringa (Moringa oleifera) en el comportamiento de la germinación y en indicadores del crecimiento de la planta. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(4): 419-421.
- Pina JC, Oliveira AKMd, Matias R and Silva Fd. 2018. INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SUBSTRATOS NA PRODUÇÃO DE FITOCONSTITUINTES DE Moringa oleifera Lam. CULTIVADA A PLENO SOL. *Ciência Florestal* 28: 1076-1087.
- Sarwar M, Patra JK and Jihui B. 2018. Comparative effects of compost and NPK fertilizer on vegetative growth, protein, and carbohydrate of Moringa oleifera lam hybrid PKM-1. *Journal of Plant Nutrition* 41(12): 1587-1596.
- SAS. 2014. Statistical Analysis System In: Institute S (ed) *SAS User's Guide: Version 9.4*. Cary, N.C. USA.
- SEMARNAT. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 85-85.
- Uchida R. 2000. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. *Plant nutrient management in Hawaii's soils*. 31-55.
- White PJ and Broadley MR. 2003. Calcium in Plants. *Annals of Botany* 92(4): 487-511.
- Yruela I. 2005. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 145-156.
- Zaku S, Emmanuel S, Tukur A and Kabir A. 2015. Moringa oleifera: An underutilized tree in Nigeria with amazing versatility: A review. *African Journal of Food Science* 9(9): 456-461.

Zheng Y, Zhang Y and Wu J. 2016. Yield and quality of *Moringa oleifera* under different planting densities and cutting heights in southwest

China. *Industrial Crops and Products* 91(Supplement C): 88-96.