

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



NUTRICIÓN EN PLANTAS DE MORINGA
(Moringa oleífera Lam.) **UTILIZANDO DIFERENTES FUENTES**
DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO, SU INFLUENCIA
EN EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO EN VIVERO.

POR:
LAHIRI MAHASAYA GARCÍA MELÉNDEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2022.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



NUTRICIÓN EN PLANTAS DE MORINGA
(Moringa oleífera Lam.) **UTILIZANDO DIFERENTES**
FUENTES DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO, SU
INFLUENCIA EN EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO EN
VIVERO.

POR:
LAHIRI MAHASAYA GARCÍA MELÉNDEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2022.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**



NUTRICIÓN EN PLANTAS DE MORINGA
(Moringa oleífera Lam.) **UTILIZANDO DIFERENTES**
FUENTES DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO, SU
INFLUENCIA EN EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO EN
VIVERO.

POR:

LAHIRI MAHASAYA GARCÍA MELÉNDEZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÓNOMO

SAN SALVADOR, CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2022.

UNIVERSIDAD DE EL SAVADOR

RECTOR:

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA:

ING. AGR. M.Sc. FIDEL ÁNGEL PARADA BERRÍOS

DOCENTES DIRECTORES:

ING. AGR. M.Sc. FIDEL ÁNGEL PARADA BERRÍOS

LIC. M.Sc. ADA YANIRA ARIAS DE LINARES

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la nutrición en plantas de Moringa (*Moringa oleífera* Lam.) utilizando diferentes fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio; y su influencia en el desarrollo y crecimiento durante la fase de vivero. Se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en San Salvador a 703 metros sobre el nivel del mar con coordenadas geográficas de 13°41'24" latitud Norte, 89°1'24.01" longitud Oeste. Se desarrolló entre los meses de julio a diciembre de 2018 en un área de 35 m². Las variables evaluadas fueron divididas en dos, variables de crecimiento: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, incremento de altura, incremento de diámetro, incremento de número de hojas. Mientras que en las variables fisiológicas: contenido de clorofila, área foliar, peso fresco hojas, peso seco hojas, peso específico hojas, volumen tallo, peso fresco tallo, peso seco tallo, peso específico tallo, longitud raíz, volumen raíz, peso fresco raíz, peso seco raíz, peso específico raíz.

Se utilizó un diseño factorial 4 x 4 en un arreglo completamente al azar, donde el factor A fueron las fuentes: testigo, 15-15-15, 16-20-0 y sulfato de amonio; el factor B, dosis: 0 g, 5 g, 15 g y 30 g. Se generaron 12 tratamientos y 3 repeticiones; cada unidad experimental con 10 plantas, totalizando 360 plantas. Al emplear el programa SAS (Statistical Analysis System) las variables de crecimiento y fisiológicas no presentaron diferencias estadísticas significativas, no obstante, en la prueba de Tukey se obtuvo para los incrementos de altura, diámetro de tallo, número de hojas: 100.02 cm (testigo), 1.02 cm (T₆ 5 g 16-20-0), 14.60 (T₄ 30 g 15-15-15) (r=0.94 entre tallo y altura). Peso específico hojas, tallo y raíz: 23.93 mg.cm² (T₈ 30 g 16-20-0), 108.9 mg.cm³ (T₆), 101.3 mg.cm³ (T₈) respectivamente.

El sustrato fue elaborado con suelo franco y estiércol bovino (1:1) con 5.42 % de materia orgánica y niveles altos en NKP. Por otra parte, en el análisis bromatológico los valores de proteína cruda para las fuentes 16-20-0, 15-15-15 y sulfato de amonio fue: 30.88 %, 31.91 % y 33.12 % respectivamente, al compararlo con el testigo que mostró solamente 29.53 %.

El tratamiento que presentó una mejor relación de costo-beneficio fue el testigo con una tasa de retorno marginal del 68%, seguido de aquellos donde se aplicó 5 g de fertilizante químico, es decir: 15-15-15 de (0.75 g de N, 0.75 P₂O₅, 0.75 K₂O), 16-20-0 (0.80 g de N, 1 P₂O₅, 0 K₂O) y sulfato de amonio (1.05 g de N, 0 P₂O₅, 0 K₂O) con una tasa de retorno marginal del 66%.

Palabras claves: Moringa, vivero, nutrición, variables de crecimiento, variables fisiológicas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Amitabha, Luz Infinita que ilumina al universo, por ser paciente y amoroso conmigo, por recordarme que se encuentra presente en todo ser.

A mi mami: Maura Meléndez, quien, a pesar de mis bastos errores, siempre ha estado ahí apoyándome y guiándome con sabiduría y amor; sembrando en mi la semilla de luz y bien.

A mi hermano: Samael Meléndez, por ser el mejor compañero que la vida pudo darme y por demostrarme que callar es otra linda forma de amar.

A mi papá: Marcos García, por haber sido el mejor padre que se me pudo haber asignado. Así como a Francisco Montano quien siempre tuvo para mí el buen consejo.

A mi abuelita: Mima, que con las palabras precisas fue motivo a que continuara con la carrera, haciéndome ver que trabajar por los agricultores que es otra linda forma de servir

A mis tías y tíos: Maura Cornejo, María Santa María, Haydee Castro, Gladys Castro, Blanca Castro, Cecy López, Oscar Cornejo, Carlos López, Manuel Rivas, Carlos García, Mario Corvera.

A mis primos: Celia, Alex, Israel, Oscarencio por ser mis como mis hermanos y compañeros de andanzas y malandanzas.

A mis amigos y confidentes: Evelyn R., Evelyn A., Yacoletti, Ricardo, Guatemala, Calderón, Kriscia, Sofia, Pepe y a todos aquellos que han evocaron en mi lágrimas y alegrías.

A mi dulce ahijada: quien se ha convertido en un pequeño y a la vez potente motor que me impulsa a seguir.

A mis muchachitos: Polasky y TwoStimpy por darme su amor, así como Heylie, Bonnie.

A mis profesores del colegio que me vio crecer, incluyendo a aquellos que no creyeron en mí.

A mi amada Facultad de Ciencias agronómicas: y a todos que la componen.

A mis catedráticos: que sin egoísmo han brindado las herramientas necesarias a diferentes generaciones de profesionales para que puedan transformar la realidad agropecuaria del país.

A Lic. Linares: quien facilitó los recursos de laboratorio y brindó la asesoría necesaria.

Al Ing. Parada: quien me orientó en la realización de esta investigación, además de brindarme su amistad.

Y a todos aquellos que contribuyeron a forjar mi carácter y disciplina. Incluyendo a los que pensaron que no culminaría la carrera de Ingeniería Agronómica.

Gracias.

DEDICATORIA

A aquellos agricultores que han formado parte de mi vida,

Y aquellos que aún faltan por conocer.

***“Yo no espero otra cosa que no sea entendimiento.
Dejar una semilla curiosa que germine con el tiempo”***

E. Juárez

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	vii - x
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii - xiii
INDICE DE ANEXOS.....	xiv
1. INTRODUCCION	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Origen y distribución.....	2
2.2 Importancia social.....	2
2.3 Importancia ambiental.....	2
2.4 importancia nutricional.....	3
2.5 Importancia económica.....	4
2.6 Requerimientos edafoclimáticos.....	4
2.7 Descripción botánica.....	5
2.7.1 Taxonomía.....	5
2.7.2 Raíz.....	6
2.7.3 Fuste o tallo	6
2.7.4 Hojas.....	6
2.7.5 Flor	6
2.7.6 Fruto	7
2.7.7 Semillas.....	7
2.8 Métodos de propagación.....	7
2.8.1 Propagación sexual.....	7
2.8.2 Propagación asexual	8
2.9 Producción de Moringa en viveros.....	9
2.9.1 Época de siembra.....	9
2.9.2 Siembra en bolsas.	9
2.9.3 Factores que afectan el crecimiento de la planta en fase de vivero.....	9
2.9.4 Composición química y valor nutritivo de la <i>Moringa oleífera</i> Lam.....	10
2.10 Nutrición en Moringa oleífera Lam.....	11
2.11 Fertilizantes.	11
2.11.1 Nitrógeno	12

2.11.2 Fósforo.....	12
2.11.3 Potasio	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Descripción del lugar de estudio.	14
3.2 Metodología de campo	14
3.2.1 Delimitación del terreno.....	14
3.2.2 Manejo agronómico en fase de vivero.....	15
3.2.2.1 Preparación del sustrato y llenado de bolsas	15
3.2.2.2 Selección de semillas.....	15
3.2.2.3 Preparación de semillas.....	16
3.2.2.4 Siembra y manejo post germinativo.....	16
3.2.2.5 Riego y fertilización	16
3.2.2.6 Control fitosanitario	17
3.3 Metodología estadística	17
3.3.1 Análisis estadístico.....	17
3.3.2 Diseño estadístico	18
3.3.3 Modelo estadístico	18
3.4 Metodología de variables a evaluar.....	18
3.4.1 Toma de datos a nivel de campo.	18
3.4.2 Metodología de campo.	19
3.4.2.1 Altura de la planta.	19
3.4.2.2 Incremento de altura de planta	19
3.4.2.3 Diámetro del tallo	19
3.4.2.4 Incremento de crecimiento del diámetro de tallo.....	19
3.4.2.5 Número de hojas	20
3.4.2.6 Incremento de número de hojas.....	20
3.4.3 Metodología de laboratorio	20
3.4.3.1 Variables fisiológicas: análisis de hoja.....	20
3.4.3.2 Variables fisiológicas: análisis de tallo.....	22
3.4.3.3 Variables fisiológicas: análisis de raíz.....	23
3.4.4 Determinación de composición química de plantas de Moringa.....	24
3.4.4.1 Determinación de cenizas.	24
3.4.4.2 Determinación de extracto etéreo (grasa).	24
3.4.4.3 Determinación de Nitrógeno Proteico por el método de micro Kjeldahl.....	24

3.4.4.4 Determinación de minerales Hierro y Zinc atómica.....	24
3.4.5 Análisis de suelo.....	25
3.4.5.1 Determinación de potencial hidrogeno (pH)	25
3.4.5.2 Determinación de materia orgánica.....	25
3.4.5.3 Determinación de nitrógeno.....	25
3.4.5.4 Determinación de fósforo.	25
3.4.5.5 Determinación de potasio.....	25
3.4.6 Metodología económica	25
3.4.6.1 Análisis de costos variables	26
3.4.6.2 Presupuesto parcial de beneficio neto.....	26
3.4.6.3 Análisis de dominancia	26
3.4.6.4 Análisis de tasa de retorno marginal	27
3.4.6.5 Tasa de retorno mínima.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1 Variables de crecimiento.....	28
4.1.1 Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.	28
4.2 Variables fisiológicas.....	34
4.2.1 Variables fisiológicas de la hoja: clorofila, área foliar, peso fresco hoja (PFH), peso seco hoja (PSH) y peso específico de hoja (PEH).....	34
4.2.2 Variables fisiológicas del tallo: volumen tallo, peso fresco tallo (PFT), peso seco tallo (PST) y peso específico tallo (PET).	39
4.2.3 Variables fisiológicas raíz: longitud raíz, volumen raíz, peso fresco raíz (PFR), peso seco raíz (FSR) y peso específico de raíz (PER).	43
4.3 Composición química de plantas de Moringa.	47
4.4 Análisis de suelo	51
4.5 Análisis Económico.....	54
4.5.1 Análisis de costos.	54
4.5.2 Análisis de dominancia.	54
4.5.3 Análisis de tasa de retorno marginal	55
4.5.4 Análisis de equilibrio	56
5. CONCLUSIONES	57
6. RECOMENDACIONES	58
7. BIBLIOGRAFIA.....	59
8. ANEXOS	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de tratamientos	14
Cuadro 2. Analisis de suelo del sustrato utilizado.....	15
Cuadro 3. Intervalo de dias en muestreo y fertilización a dias después de germinado...	19
Cuadro 4. Distribución de tratamientos para el análisis bromatológico.....	24
Cuadro 5. Composición química de plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	47
Cuadro 6. Analisis del sustrato empleado en las plantas de Moringa.....	51
Cuadro 7. Unidades por vender para recuperar inversión	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable altura, en cinco muestreos realizados en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	29
Figura 2. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable incremento de altura, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	29
Figura 3. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable de diámetro, en cinco muestras realizadas en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	31
Figura 4. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable incremento de diámetro, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	31
Figura 5. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable de número de hojas, en cinco muestras realizadas en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	33
Figura 6. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable incremento en el número de hojas, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	33
Figura 7. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable clorofila, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	35
Figura 8 Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable área foliar, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	36
Figura 9. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso fresco hojas, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	37
Figura 10. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso seco hojas, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	37
Figura 11 Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso específico hoja, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	38
Figura12. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable volumen de tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	39
Figura 13. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso fresco de tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	40
Figura 14. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso seco tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	41
Figura. 15. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso específico tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	42

Figura. 16. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable longitud de raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	43
Figura. 17. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable volumen de raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	44
Figura 18. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso fresco raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	45
Figura 19. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso seco raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	46
Figura 20. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso específico raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	46
Figura 21. Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido de materia seca, en muestras de Moringa.....	47
Figura 22. Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido ceniza, en muestras de Moringa.....	48
Figura 23 Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido extracto etéreo en muestras de Moringa.....	49
Figura 24 Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido nitrógeno proteico, en muestras de Moringa.....	50
Figura. 25 Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido de hierro y zinc, en muestras de Moringa.....	50
Figura 26. Contenido de pH y materia orgánica en dos muestras de sustrato empleado por plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	52
Figura 27. Contenido de nitrógeno, fosforo y potasio en dos muestras de sustrato empleado por plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	53
Figura 28. Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en plantas de Moringa durante la fase de vivero.....	54
Figura 29. Analisis de tasa de retorno marginal por tratamiento en plantas de Moringa..	55
Figura. 30 Analisis de equilibrio estadístico por tratamiento empleado en Moringa	56

INDICE DE ANEXOS

Figura A-1. Características botánicas de la Moringa:	71
Figura A-2. Manejo agronómico.....	71
Figura A-3 Distribución de tratamientos	72
Figura A-4 Muestreo de variable altura en plantas de Moringa.....	72
Figura A-5 Muestreo de variable diámetro en plantas de Moringa.....	73
Figura A-6 Muestreo de variable clorofila con	73
Figura A-7. Muestreo del área de hoja con	73
Figura A-8. variable peso fresco y peso seco en hojas.....	74
Figura A-9. Corte de tallo para variables de tallo.....	74
Figura A-10. Longitud de raíces.....	75
Figura A-11. Muestreo de variables raíz:.....	75
Figura A-12. Proceso de triturado y obtención de ceniza para las muestras de hojas, tallo y raíz de las cuatro fuentes evaluadas.....	76
Figura. A-13 Determinación de extracto etéreo en cuatro muestras de Moringa.....	76
Figura A-14. Determinación de nitrógeno proteico por el método de Kjeldhal.....	76
Figura A-15. soluciones estándares.	77
Cuadro A-1. Dosificación según los días después de germinado.....	77
Cuadro A-2 Resumen de varianza	78
Cuadro A-3 Coeficiente de correlación y nivel de significancia	78
Cuadro A-4 Resumen de promedios de variables de crecimiento.....	79
Cuadro A-5 Presupuesto parcial: costos, ingreso bruto y beneficio.....	80

1. INTRODUCCION

La *Moringa oleífera* Lam. también llamado “el árbol de vida” perteneciente a la familia *Moringácea* la cual en los últimos años se ha convertido en un cultivo de gran importancia en Centroamérica, abriéndose brecha entre otros cultivos de manera exponencial debido al potencial nutritivo en ganado bovino, porcino y aves. Además, posee múltiples propósitos como efecto coagulante, tratamiento de aguas y mejoras en la salud. También presenta un valor agregado en la agroindustria al emplear hojas, flores, corteza y raíz. (González 2014).

El crecimiento de la Moringa es acelerado, alcanzando entre los 10 a 12 metros de altura y un diámetro de 20 a 40 centímetros, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas. Se desarrolla perfectamente en climas áridos, semiáridos y húmedos en suelos de buena filtración y pH de 4.5 a 9 (Modeste 2016).

Existen diversas investigaciones relacionadas a sus propiedades nutricionales, efecto coagulante, tratamiento de aguas, alimentación humana y animal además de muchos otros beneficios. Dicha especie puede propagarse de manera sexual y asexual, siendo este último el más utilizado a nivel de vivero (González 2014).

La contribución de la Moringa en el desarrollo socio-rural radica en el aprovechamiento de todas las partes de la planta; por lo cual el establecimiento de viveros garantiza la calidad al asegurar las condiciones para su desarrollo inicial, además de conseguir las mejores características en lo que respecta a altura, diámetro de tallo y número de hojas, partiendo de la selección de semillas procedentes de los mejores árboles progenitores, esto de una manera sustentable y sin perder el enfoque de la oferta y demanda (GFU s.f).

Al someter la Moringa a diferentes dosis y fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio durante la fase de vivero; permitió conocer el efecto de las fuentes en estudio y la incidencia en las características de crecimiento y fisiológicas de la planta. Los fertilizantes evaluados fueron: fórmula 15-15-15, 16-20-0 y el sulfato de amonio; con dosis de 5 g, 15 g y 30 g gramos respectivamente, en ambos casos se estableció un testigo con 0 g. De igual manera, se determinó la rentabilidad de cada tratamiento basado en la relación costo-beneficio.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Origen y distribución.

El nombre del género *Moringa* es un vocablo español que proviene de "Murum-kay", nombre dado por el pueblo Tamil originario de la India. El epíteto específico *oleífera*, que significa "portador de aceite", hace honor a la capacidad de producción de aceite (CAJAMAR 2016).

La *Moringa* es la especie más conocida de trece especies de la familia *Moringaceae*. Tuvo un valor muy alto en el mundo antiguo; los romanos, griegos y egipcios extrajeron aceite comestible de las semillas y lo usaron para perfume y loción. En el siglo XIX, plantaciones de *Moringa* en el Caribe exportaron el aceite de la planta hacia Europa para perfumes y lubricantes para maquinaria (TLI 2005).

Cabe destacar que las zonas donde la *Moringa* se localiza actualmente coinciden con áreas de altos índices de desnutrición, lo cual la hace muy apropiada para ser explotada como recurso agronómico local. Por otro lado, la gran adaptabilidad de la planta, acompañada del rápido crecimiento y la resistencia a las podas, facilita enormemente su producción en gran cantidad, aún en condiciones desfavorables (Navarro s.f.).

2.2 Importancia social

La *Moringa* puede ser aprovechada de muchas formas, desde el consumo humano y animal hasta como una forma de purificación de agua. Es un cultivo que puede establecerse con una baja inversión de paquetes tecnológicos; por lo tanto, se convierte en una alternativa de emprendedurismo para las poblaciones más desfavorecidas. Al hacer un uso eficiente en la producción de plántulas y un posterior procesamiento de hojas, semillas o raíz las comunidades pueden verse beneficiadas al incrementar sus ingresos, lo cual conlleva a la mejora de la calidad de vida de estos (Navarro s.f.).

2.3 Importancia ambiental

Los árboles de *Moringa* sirven como sombra, barreras rompevientos y es empleado muchas veces en sistemas agroforestales; también, es una especie que destaca por el alto valor para el enriquecimiento de los suelos, tiene uso como combustible al emplear su madera como leña. Sus semillas son de mucha utilidad, usado como uno de los mejores depuradores y purificadores de aguas lluvias y aguas turbias (Moya s.f.)

Las características que hacen que la Moringa sea empleada para barreras vivas son la facilidad de adaptación al lugar y rápido crecimiento; excelente capacidad de enraizamiento y recorte; adaptación al manejo de podas periódicas, producción de leña de calidad, capacidad de fijación de nitrógeno y enriquecimiento de los suelos, además que puede ser empleado como producción de forraje. Por lo que se convierte en una buena estrategia para la producción en asocio, promoviendo la biodiversidad y sustentabilidad en el sitio (CATIE 1997)

Abdoul (2014) menciona que el extracto de Moringa posee actividad fúngica siendo capaz de inhibir el crecimiento del género *Stemphylium* agente causal de la mancha gris en las hojas de algunas *Solanáceas*, el cual puede llegar a producir defoliación y por consecuencia la muerte de la planta. De igual manera, (Sánchez y Martínez 2013) sugieren que presenta propiedades desinfectantes capaces de eliminar efectivamente microorganismos presentes en agua como coliformes fecales y totales, así como también algunas cepas patógenas de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus faecalis*, *Salmonella typhi* y *Shigella dysenteriae*.

Moya (s.f.) menciona que también se puede obtener biodiesel a partir de las semillas de Moringa debido a que posee un 35% de contenido de aceite de alta calidad. Los subproductos derivados del procesado de la semilla forman una pasta muy recomendable como fertilizante natural con un alto contenido de nitrógeno.

2.4 Importancia nutricional

La Moringa cuenta con un perfil nutritivo que tiene la capacidad de suplir los requerimientos de micronutrientes necesarios en una dieta saludable, lo que hace de ella una alternativa útil para combatir la inseguridad alimentaria cuando se debe a carencias debidas a la calidad de los alimentos (Navarro s.f.)

Geoff y Sutherland (1996), mencionan que las hojas tienen cualidades nutritivas sobresalientes, que están entre las mejores de todos los vegetales perennes. Debido al contenido nutricional, donde la proteína es del 27 % y posee cantidades significativas de calcio, hierro y fósforo, así como vitamina A y C.

El valor nutricional es particularmente importante en áreas donde la seguridad alimentaria se puede ver amenazada por períodos de sequía, afortunadamente, las hojas de Moringa poseen una excelente palatibilidad, además puede cosecharse durante las épocas secas, cuando no hay otros vegetales frescos disponibles, siendo consumidos incluso por todo tipo de animales (Sánchez y Martínez 2013).

Además, contienen aminoácidos esenciales, algo que es poco común en una planta, partiendo desde las hojas, semillas, tallos y raíces; con la excepción de la vitamina C (TLI. 2005).

2.5 Importancia económica

La Moringa, es considerada una planta muy versátil desde el nivel comunitario por las diferentes bondades que posee. Puede ser empleada para garantizar la seguridad nutricional humana y animal del sitio. Además, en la industria, al sacar provecho de subproductos como: aceite, harinas, biodiesel. También, debido al auge que tiene dicha especie, las hojas y semillas son muy comercializadas para medicina alternativa debido a que se le atribuyen varias propiedades curativas (Canett *et al.* 2014).

Navarro (s.f) asegura que entre las bondades curativas que se le atribuyen a la Moringa son todas aquellas que se encuentran ligadas a la mala alimentación como diabetes, tensión alta, colesterol, artritis, ente otras; siendo ahí donde recae su importancia económica en la medicina alternativa.

Ramos (2016) hace referencia que las hojas no solo son útiles para erradicar la mal nutrición, también recalca que es un excelente abono y fungicida. Entre la larga lista de alternativas para la agroindustria destaca que la celulosa permite la elaboración de papel de gran calidad, elaboración de condimentos a base de la raíz; además, dentro del rubro farmacéutico puede elaborarse cataplasmas a base de hojas para curar heridas y controlar el dolor de cabeza; de la raíz, se permite aliviar irritaciones cutáneas y la goma rojiza que exuda puede contrarrestar la diarrea, sin mencionar que el procesamiento adecuado de las raíces permite obtener tónicos para los pulmones con acción expectorante, diurética y tranquilizantes para la epilepsia.

Dadid (2019) menciona que en el extranjero las mil semillas de Moringa oscilan en los diez dólares americanos, esto sin considerar el costo de envío. Cabe mencionar que no se garantiza la calidad genética, porcentaje de germinación, ni de la apropiada selección de las semillas.

2.6 Requerimientos edafoclimáticos

Perozo (2013) sostiene que la Moringa por ser una planta de origen tropical, se desarrolla de forma excelente en climas húmedos, secos y áridos, en alturas comprendidas desde el nivel del mar hasta 1,500 msnm. Por otra parte, Castro (2013) señala crece también bajo precipitaciones anuales entre 250 mm y 4,000 mm, indicando que tolera varios períodos de sequía, aunque se reduzca la producción de hojas. La temperatura óptima es entre 15 ° C a

30 ° C, no obstante, puede sobrevivir los 0° C por cortos períodos de tiempo con pérdidas de brotes en crecimiento. La temperatura máxima soportada puede llegar a los 48 °C.

Requiere de suelos con pH entre 4.5 a 9; idealmente de textura arenosos o con buen drenaje tolerando suelos arcillosos, de preferencia suelos bien drenados ya que no tolera encharcamiento. Siendo perfecto el establecimiento en terrenos con un buen nivel freático, para garantizar la producción constante de hojas y semillas (CAJAMAR 2016).

Perozo (2013) estima que la Moringa en producciones intensivas requieren 280 kg de nitrógeno y 380 kg de fósforo por hectárea. Estos requerimientos están en función de las características físico y químicas del suelo donde se encuentre establecida la Moringa.

2.7 Descripción botánica

Se trata de un árbol perenne, pero poco longevo que a lo sumo puede vivir 20 años, aunque en la India se han obtenido variedades anuales, permitiendo que el cultivo sea manejado de manera mecanizada debido a su acelerado crecimiento (COOPI-ECHO 2001).

2.7.1 Taxonomía

La Moringa llamada también Marango, forma parte de las 13 especies dentro de la familia *Moringaceae*, siendo arboles de climas tropicales y subtropicales. La especie más popular es *Moringa oleífera* Lam., el nombre proviene de los nombres malabares y Tameses “Marunga, Murum-kay o Moringa”. En El Salvador se conoce como: Moringa, Marango, Morango, Arango, Teberinto. Su taxonomía es:

Reino: *Plantae*

Sub reino: *Tracheobionta*

Filo: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Dilleniidae*

Orden: *Brassicales*

Familia: *Moringaceae*

Género: *Moringa*

Especie: *Moringa oleífera*

Nombre binomial: *Moringa oleífera* Lam.

(Honduras silvestre 2017).

2.7.2 Raíz

La raíz principal del árbol de Moringa es pivotante y puede alcanzar a medir 30 metros, es blanca y carnosa en forma de rábano lo que le brinda a la planta cierta resistencia a la sequía en periodos prolongados. (COOPI-ECHO 2001).

2.7.3 Fuste o tallo

Moya (s.f) indica que la Moringa es una especie de crecimiento acelerado, por lo que alcanza de 7 a 12 m de altura y de 20 a 40 cm de diámetro. Posee una copa abierta tipo paraguas y una ramificación simpodial. Generalmente el fuste es recto, de corteza gruesa, blanquecina y de aspecto corchoso.

2.7.4 Hojas

López (2014) describe las hojas como compuestas, de unos 20 cm de largo, con hojuelas delgadas, oblongas u ovaladas de 1 a 2 cm de largo y de color verde claro. Mientras que Olson y Fahey (2011) mencionan que presenta una combinación inconfundible de hojas grandes, pinnadas, que pueden alcanzar unos 60 cm de longitud; encontrándose divididas en folios dispuestos sobre un raquis. En la articulación de cada raquis se encuentran pequeñas glándulas de 1 mm de longitud (Figura A-1).

2.7.5 Flor

Las flores son bisexuales, de color crema y estambres amarillos; muy numerosas y fragantes que miden de 1 cm a 1.5 cm de largo. Éstas se encuentran agrupadas y están compuestas por sépalos lineales a lineal-oblongo, de 9 mm a 13 mm de largo. Los pétalos son un poco más grandes que los sépalos (López 2014). En algunas regiones florece una sola vez al año, pero puede florecer dos veces al año (COOPI-ECHO 2001).

2.7.6 Fruto

López (2014), describe el fruto como una formación por tres lígulas en forma triangular y lineal, que dan la apariencia de vaina. Miden de 20 cm a 45 cm de largo y 1 a 2.5 cm de espesor o grosor. Si se corta transversalmente se observa una sección triangular con varias semillas dispuestas a lo largo. Las frutas alcanzan la madurez aproximadamente a los 3 meses después del florecimiento (Figura A-1).

2.7.7 Semillas

(COOPI-ECHO 2001) señala que las semillas son carnosas cubiertas por una cáscara fina de color café. Poseen tres alas o semillas aladas de 2.5 mm a 3.0 mm de largo, conteniendo de 12 a 25 semillas por vaina. Al quitar la cáscara se obtiene el endospermo que es blanquecino y muy oleaginoso. Cuando se almacenan las semillas por más de dos meses, disminuye su poder germinativo hasta llegar al año de almacenamiento (Figura A-1).

2.8 Métodos de propagación

Según Geoff *et al.* (1996) el cultivo de Moringa puede ser propagado mediante reproducción sexual (semillas) o por reproducción asexual (estacas), aún en suelos pobres.

2.8.1 Propagación sexual

Geoff *et al.* (1996) asegura que la propagación sexual es el método más aconsejado por su alto poder germinativo y porque elimina los posibles problemas de trasplante. Las tasas de germinación mejoran cuando el sembrado se hace a 2 cm de la superficie. La germinación tiene lugar entre 5 y 12 días. Si a los quince días esto no ha ocurrido, la semilla debe ser reemplazada. Sugiere, que deben sembrarse dos semillas en cada hoyo de plantación. Si las semillas son escasas o difíciles de conseguir puede sembrarse una semilla únicamente y resembrar los huecos libres de las semillas que no emerjan. Si las dos semillas germinaran, se retira el tallo más débil cuando alcancen los 30 cm de altura, en este caso, el raleo debe hacerse con cuidado para no dañar el sistema radicular de la planta aledaña.

UNA-PROMARANGO (2018), describe que la semilla de Moringa presenta un tipo de germinación hipogea, lo que significa que durante el proceso los cotiledones permanecen enterrados en el suelo envueltos en la cubierta seminal y el tallo blanquecino que se observa por encima de la superficie del suelo es una yema apical (provocada por el alargamiento del epicótelos) que contiene hojas verdaderas y no cotiledones, lo que da una ventaja adaptativa de crecimiento a la planta por la capacidad de realizar fotosíntesis desde un inicio.

Navarro (s.f) no aconseja el re-trasplante por su baja tasa de supervivencia. Mencionando que la presencia del tegumento seminal contiene sustancias inhibitoras de la germinación, a lo que recomienda emplear algún tratamiento de presiembra como:

1. La inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas previo a la siembra para aumentar la permeabilidad de la testa.
2. Romper el tegumen antes de la siembra.
3. Retirar el tegumen y plantar los núcleos únicamente.

Barraza (2017) sugiere que, la propagación del cultivo de Moringa con semillas tiene ventaja sobre la propagación vegetativa con estacas debido a la rapidez en la fase de semillero, facilidad en el transplante, economía en las labores y mejor anclaje definitivo; sin embargo, se ha reportado que las semillas maduras presentan bajo porcentaje de germinación.

Navarro (s.f) estima que en un kilogramo hay aproximadamente 4,000 semillas; mientras que González (2014) menciona que hay aproximadamente 3000 semillas de Moringa por kilogramo; esto dependerá de las características de las semillas obtenidas de los árboles reproductores. La viabilidad en general depende del grado de fertilidad de los árboles productores, el poder germinativo es del 99.5% y la vigorosidad es del 99.0%. Las cuales se van perdiendo a medida avanza el tiempo, por lo cual, si se desconoce la fecha de cosecha de las semillas que se emplearan para la siembra directa es necesario realizar previamente una prueba de germinación, esta consiste en seleccionar al azar 100 semillas de las que se van a sembrar. Estas deben de ser depositadas en un cantero de tierra húmeda a una profundidad de 2 cm y en pequeños surcos. Luego regar en días alternos durante 15 días con una dosis de un litro de agua por m², aunque la semilla normalmente germina entre los primeros cinco y siete días después de la siembra. A los 15 días, se deben de contar cuantas semillas geminaron de las 100 sembradas y multiplicar por 100, ese es el porcentaje de germinación del lote de las semillas que se van a sembrar.

2.8.2 Propagación asexual (estacas)

Navarro (s.f) describe en sus estudios realizados por la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua, donde se evaluaron estacas de Moringa que fueron cortadas a finales de la época seca y presentaron un enraizamiento del 95 % y un 90 % de sobrevivencia. Considerando que, para la obtención de estos porcentajes altos, las estacas se dejaron enraizar con sus propias reservas y posteriormente fueron trasladadas al terreno definitivo. Las estacas leñosas seleccionadas tenían un diámetro entre 5 cm a 10 cm y 45 cm a 10 cm de largo las cuales fueron sembradas directamente después del enraizamiento. Cabe mencionar que se realizó un corte diagonal y posteriormente se sembró en un sustrato de cascajo blanco, donde se aplicó directo al tallo hormonas de enraizamiento, es decir, una fórmula alta en fósforo. En

ambos casos, un tercio del largo de la estaca fue introducida en el sustrato. Además, se consideró que dado a que las plantas cultivadas a partir de esquejes no tienen un sistema de raíces profundas estas tienden a ser susceptibles al viento y la sequía, por lo cual los esquejes plantados en el vivero se trasplantaron a suelo tras 2 a 3 meses de desarrollo.

2.9 Producción de Moringa en viveros

González (2014) señala que la producción de Moringa en viveros se convierte en un reto relacionado al manejo y la obtención de plantas con calidad morfológica que conlleven no solo alcanzar altos niveles de sobrevivencia sino un buen crecimiento y rendimiento en semillas. Así mismo, destaca que un factor relevante en la producción a nivel de vivero es el tipo de sustrato empleado ya que este tiene una relación directa con la calidad de las plantas, generalmente se emplean mezclas como: estiércol bovino y suelo franco a una relación de 1:1.

2.9.1 Época de siembra

La época óptima varía de acuerdo con la localidad y de la disponibilidad de agua. En términos generales, la siembra debe realizarse al inicio de la época lluviosa y estar seguro de que las lluvias estén bien establecidas, ya que al tener un riego interrumpido después de iniciada la germinación las plántulas mueren al deshidratarse por la falta de humedad y las altas temperaturas (González 2014).

2.9.2 Siembra en bolsas.

González (2014) sugiere que las semillas sembradas en pequeñas bolsas de polietileno deben de permanecer en un vivero hasta que las plantas alcancen unos 30 cm de altura, para luego ser trasplantadas al campo. Esto se encontrará en función de las dimensiones de la bolsa de polietileno y el desarrollo radicular que la planta presente. Hay que considerar también las necesidades del mercado en lo que respecta a los requerimientos de altura y diámetro de las plantas.

2.9.3 Factores que afectan el crecimiento de la planta en fase de vivero

La Moringa es susceptible a los vientos, el exceso de humedad y bajas temperaturas. Las constantes lluvias y la velocidad del aire afectan considerablemente el desarrollo de la planta, provocando el amarillamiento de las hojas bajas y en algunos casos defoliación. Las semillas en los árboles son atacadas por hormigas arrieras o zompopos y por pequeños gorgojos que

se alimentan de ellas y se anidan dentro de las vainas. Entre el conjunto de prácticas agronómicas recomendadas se encuentra el monitoreo y control oportuno de las malezas e insectos plagas, además de la correcta fertilización y podas COOPI-ECHO (2011).

Las plagas, como en cualquier otro cultivo generan muchos problemas fitosanitarios que causan una drástica reducción en el retorno de la plantación. la incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo de Moringa es muy variable, sin embargo, las principales plagas en vivero son: zompopos (*Atta* spp), langosta medidora (*Mocis latipes*), babosas (*Ariolimax columbianus*), escamas (*Coccus* spp), y en el menor de los casos acaros (*Aceria sbeldoni*) siendo este último común en la siembra directa con altas poblaciones. Además de los diferentes insectos con hábitos masticadores.

Con respecto a las enfermedades, la Moringa es muy susceptible sobre todo en la fase de vivero, principalmente cuando las condiciones de humedad son altas y puede generar pudrición en la raíz causada por la presencia de hongos no benéficos.

A los 22 días después de germinados pueden presentar una enfermedad causada por *Collectotrichum demathium*, donde los síntomas son: manchas más o menos redondas, centro pardo claro, borde pardo oscuro o marrón rodeado de un micelio grisáceo en las hojas más viejas (haz y envés), secamiento y amarilleo, marchitez, clorosis y secamiento total del follaje. Otra enfermedad que se presenta tiene como agente causal al *Fusarium* spp, manifestando los síntomas como: manchas hundidas de color blaquecino parduzco en el tallo; adelgazamiento del tallo en la inserción de las primeras ramas. Disminución del número de raíces secundarias y sus pelos absorbentes. La presencia de estos hongos está influenciada por lluvias continuas y riego no adecuado que provoca un encharcamiento constante que las plantas no toleran; además de que contribuye notablemente a mantener la fuente de inóculo y con ello la enfermedad. Siendo una forma de controlar, e manejar un sustrato con excelente porosidad, que permita una buena capacidad de campo.

2.9.4 Composición química y valor nutritivo de la *Moringa oleífera* Lam.

Perozo (2013) manifestó que en Venezuela se realizaron investigaciones bajo condiciones de bosque subhúmedo (1200 mm), mostrando resultados interesantes en su composición química, tales como el valor nutritivo de las diversas partes de la Moringa (hojas, vainas y semillas) que mostraron un alto porcentaje de proteína del 20.5 %, grasa 27.2 %, carbohidratos energía (207 Kcal) y minerales como potasio (27.5 mg).

2.10 Nutrición en *Moringa oleífera* Lam.

Nicolas y Roche-Hamon, citados por Parada-Berríos (1999) sostienen que la fertilización tiene como fin procurar una alimentación equilibrada en el cultivo. En el vivero se distingue por las siguientes particularidades: a) las plantas permanecen mucho más tiempo en el mismo lugar, b) las plantas de vivero no restituyen más que pequeños restos de vegetales, c) las extracciones de los nutrimentos de las plantas de vivero son poco conocidas, d) la carencia de nutrimento puede suplementarse con aspersiones foliares. Hager, citado de igual manera por Parada-Berrios (1999), argumenta que las plantas en la etapa de vivero presentan respuestas de crecimiento; si a los 14 días después de la siembra se aplican los nutrimentos, dicho fenómeno ocurre tres días después de cada aplicación, esto indica que la reserva interna de los cotiledones se agota y antes de que aparezcan síntomas visuales de deficiencia es necesaria realizar la primera aplicación del fertilizante. Las respuestas dependerán del método y cantidad de nutrimentos aplicados, efectos de nutrimentos solos o combinados, factores estacionales y ambientales.

COOPI-ECHO (2011) expresa que debido a que el árbol de Moringa crece sin necesidad de fertilizantes, no hay recomendaciones exactas sobre la fertilización durante la fase de vivero. Mientras que la FAO (s.f) menciona que es necesario considerar el uso de fertilizantes para asegurar la productividad que se espera obtener del cultivo, sea follaje o semillas; esto implica una alta extracción de nutrientes del suelo, por lo que en cultivo intensivo debe ser contemplada la fertilización, siendo necesario determinar los requerimientos nutricionales de la planta durante la primera etapa de desarrollo, en este caso la fase de vivero.

2.11 Fertilizantes.

Villareal *et al.* (2015) sugiere que la calidad de las plántulas depende del tipo de sustrato y la aplicación de fertilizantes, donde se desarrollan, en particular de sus características fisicoquímicas, ya que el desarrollo y el funcionamiento de las raíces están directamente ligados a las condiciones de la aireación, contenido de agua, además de tener influencia directa sobre la disponibilidad de los nutrientes. La aplicación de los fertilizantes nitrógeno, fósforo y potasio busca cubrir las necesidades específicas del cultivo.

González (2014) con base a las investigaciones realizadas, recomienda que las necesidades de aplicación de fertilizante en Moringa siempre deben de depender de los análisis previos del suelo, pero se puede manejar una aplicación base de dos quintales de urea de manera

fraccionada por hectárea, es decir, la primera aplicación (presiembr) y la segunda aplicación (después de la poda) dependiendo claramente de la densidad de siembra.

Por otra parte, Latsague *et al.* (2014) dice que al aportar nitrógeno, fósforo y potasio se observa la influencia que tienen dichos elementos sobre el contenido bioquímico foliar como: carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos, además la relación con la calidad de las plantas y su crecimiento vegetativo.

González (2014) recomienda establecer una estrategia de fertilización; por ejemplo, al emplear 30 g de nitrógeno, fósforo y potasio por planta al momento de la siembra y debería de realizarse otra aplicación con la misma cantidad a los seis meses del establecimiento, con objetivo de beneficiar el diámetro del tallo y la altura de la planta. Sin embargo, CCT - Concicet Mendoza (2011), hace hincapié en que el uso indiscriminado y las altas concentraciones a la hora de suministrar fertilizantes, provoca efectos negativos como toxicidad que pueden desencadenar síntomas como amarillamiento, requemo, pérdida de hojas, es por ello por lo que se hace necesario aplicar a la plántula una fuente y dosis conocidas.

2.11.1 Nitrógeno

El nitrógeno es un macronutriente esencial para los organismos vegetales, su disponibilidad afecta el crecimiento y el desarrollo vegetal (Vega 2015). Según Latsague *et al.* (2004) el contenido de nitrógeno además de ser el nutriente requerido en mayor cantidad posee estrecha relación con la síntesis de proteínas, producción de semillas, contenido foliar y aumento de tasa fotosintética, aumentando por ende el contenido de carbohidratos solubles que favorecen la síntesis de clorofila debido a que mejora la absorción de Magnesio.

2.11.2 Fósforo

El fósforo es un macroelemento esencial para el crecimiento de las plantas; además, forma parte de moléculas de carácter energético como puede ser el adenosín trifosfato (ATP) o la nicotinamida adenina en su forma reducida (NADH). Realiza una función clave en la fotosíntesis, respiración celular y todo el metabolismo energético. También tiene un papel estructural como enlace entre los ácidos nucleicos y los fosfolípidos, teniendo una función metabólica en la regulación de la síntesis y transporte de hidratos de carbono (UAM s.f.).

Barrera *et al.* (2007) evidenció que el fósforo se acumula generalmente en las partes de la planta que están en crecimiento y en las semillas, volviéndose determinante para el desarrollo

de las raíces y de los tejidos meristemáticos. Las plantas que sufren deficiencia muestran un retardo en el desarrollo y crecimiento apical que causan retrasos en la maduración de la planta y aumenta la dormancia de semillas.

2.11.3 Potasio

Sela (s.f.) afirma que el potasio es conocido como el “nutriente de calidad” debido a que afecta la forma, tamaño, color y sabor de la planta y a otras medidas atribuidas a la calidad del producto. El potasio desencadena la activación de enzimas y es esencial para la producción de adenosina trifosfato (ATP), que es una fuente de energía importante para muchos procesos químicos que tienen lugar en las células de la planta. Desempeña un rol importante en la regulación del agua en las plantas (osmorregulación) es decir, la absorción de agua a través de raíces de la planta y su pérdida a través de las estomas permite que la planta presente tolerancia al estrés hídrico. Es necesario mencionar la estrecha relación con la síntesis de proteínas y síntesis de carbohidratos. De igual manera, el potasio influye en el aumento de contenido de clorofila, ya que activa las enzimas involucradas en esta área, de este modo se obtiene un mayor rendimiento fotosintético (Latsague *et al.* 2004)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del lugar de estudio.

La investigación se desarrolló entre los meses de julio a diciembre 2018 en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en San Salvador a 700 metros sobre el nivel del mar con coordenadas geográficas de 13°41'24" latitud Norte, 89°1'24.01" longitud Oeste. La temperatura promedio anual de la zona es superior a los 24°C, registrándose la más alta entre los meses de marzo y abril (mayores a 33°C) y las mínimas de 19 °C entre los meses de noviembre a enero. La humedad relativa media del aire es de 72.0 % y precipitaciones acumuladas de 1,797.6 mm al año (MARN 2013).

3.2 Metodología de campo

Se desarrolló en un periodo de cinco meses en un área de 35 m². Consistió en:

3.2.1 Delimitación del terreno

Se establecieron tres repeticiones con un distanciamiento de 1.0 m entre ellas (Cuadro 1)(Figura A-2).

Cuadro 1. Distribución de tratamientos con diferentes dosis de fertilizante según la fuente de nutriente.

Tratamiento	Fertilizante Fuente (Factor "A")	Dosis (Factor "B")
T ₁	Testigo (sin fertilizante)	0 gramos
T ₂	15-15-15 (una sola aplicación) (0.75 g de N, 0.75 g de P ₂ O ₅ , 0.75 g de K ₂ O)	5 gramos
T ₃	15-15-15 (tres aplicaciones) (2.25 g de N, 2.25 g de P ₂ O ₅ , 2.25 g de K ₂ O)	15 gramos
T ₄	15-15-15 (4 aplicaciones) (4.5 g de N, 4.5 g de P ₂ O ₅ , 4.5 g de K ₂ O)	30 gramos
T ₅	Testigo (sin fertilizante)	0 gramos
T ₆	16-20-0 (una sola aplicación) (0.80 g de N, 1 g de P ₂ O ₅ , 0 g de K ₂ O)	5 gramos
T ₇	16-20-0 (tres aplicaciones) (2.4 g de N, 3 g de P ₂ O ₅ , 0 g de K ₂ O)	15 gramos
T ₈	16-20-0 (4 aplicaciones) (4.8 g de N, 6 g de P ₂ O ₅ , 0 g de K ₂ O)	30 gramos
T ₉	Testigo (sin fertilizante)	0 gramos
T ₁₀	Sulfato de amonio (una sola aplicación) (1.05 g de N, 0 g de P ₂ O ₅ , 0 g de K ₂ O)	5 gramos
T ₁₁	Sulfato de amonio (tres aplicaciones) (3.15 g de N, 0 g de P ₂ O ₅ , 0 g de K ₂ O)	15 gramos
T ₁₂	Sulfato de amonio (4 aplicaciones) (6.3 g de N, 0 g de P ₂ O ₅ , 0 g de K ₂ O)	30 gramos

3.2.2 Manejo agronómico en fase de vivero

El manejo del vivero inició con la preparación del sustrato, el correcto llenado de bolsas, recolección y manejo de semillas, fertilización, así como el riego de los semilleros.

3.2.2.1 Preparación del sustrato y llenado de bolsas

El suelo que se utilizó fue de textura franco, tamizado previamente para eliminar cualquier material extraño como piedras, raíces y otros que interfieran con el libre crecimiento de las raíces (Figura A-2). Previamente se desinfectó todo el sustrato con agua hirviendo y luego se sometió al método de solarización. En este último, el sustrato se expuso al sol en una era de 1.0 m de ancho por 10.0 m de largo y 0.27 m de alto, luego se regó para proporcionar la humedad necesaria para que hubiera difusión homogénea del agua hirviendo, después se cubrió con un plástico con dimensión es proporcionalmente mayores a las de la era con el fin de asegurar que quedara debidamente sellado y no se escapara el calor; así como para la protección de precipitaciones y para elevar la temperatura con el fin de evitar la proliferación de hongos fitopatógenos. Se destinó un área de terreno para establecer el vivero de 35.0 m² donde, se consideró el 10% de pérdida por mortalidad de plantas, sumando 40 bolsas de las 360 que se necesitaban en el diseño; haciendo un total de 400 bolsas de polietileno de 8x14" x 1200 geish; para lo cual se utilizó 2.70 m³ de tierra, agregando 0.005 m³. bolsa⁻¹.

El sustrato se compuso por una mezcla de 50% suelo y 50% de estiércol de bovino tratado, es decir en proporción de 1:1. Se tomo una muestra del sustrato para someterlo a un análisis de suelo previo, con el fin de determinar la cantidad de nutrientes presentes como: nitrógeno, fósforo, potasio, pH, materia orgánica. Al finalizar el estudio se volvió a realizar otro análisis de suelo con el fin de cotejar los resultados iniciales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Analisis de suelo del sustrato utilizado

Muestra	pH	Porcentaje de Materia Orgánica	Porcentaje de Nitrógeno	Porcentaje de Potasio	Porcentaje de Fósforo
1 (al inicio del estudio)	4.45	5.42	0.45	0.11	0.10
2 (al final del estudio)	6.11	3.48	0.30	0.15	0.11

3.2.2.2 Selección de semillas

Se seleccionaron las semillas de Moringa recolectadas de árboles en plena cosecha, traídas de la hacienda Vaquerano de Santa Cruz Porrillo, San Vicente. Las semillas se clasificaron en base a cuatro criterios: a) vainas de mayor tamaño, b) semilla proveniente de la parte central de la vaina (las cuales son generalmente las semillas grandes), c) brillo de la semilla, d)

selección de semillas que no presentaran daños por enfermedades o insectos, con el fin de obtener plantas desarrolladas uniformemente (Figura A-2).

3.2.2.3 Preparación de semillas

Para la imbibición de la semilla se empleó la técnica de escarificación de remojo en agua durante 24 horas previo a la siembra, con el fin de modificar las cubiertas duras de las mismas y remover los inhibidores, ablandando así, las semillas y reduciendo a su vez el tiempo de germinación (Figura A-2).

3.2.2.4 Siembra y manejo post germinativo.

Se sembró una semilla por postura, la cual fue introducida directamente en el centro de la bolsa teniendo el cuidado de no sembrarla a más de 2 cm de profundidad; luego, se procedió a cubrir con aserrín para guardar humedad. El control de maleza se realizó de manera manual cada 3 días hasta finalizar el ensayo o cuando fue necesario (Figura A-2).

3.2.2.5 Riego y fertilización

El riego se realizó inmediatamente después de la siembra de Moringa, posteriormente se regó cada día, en horas de la mañana o por la tarde, considerando la humedad presente en el suelo, con el objetivo de que la Moringa pasara por el menor estrés hídrico posible, además de evitar la presencia de hongos por exceso de agua. El área de drenaje fue cercano a los 9 m²; donde a cada planta se le suministró aproximadamente 2 litros de agua en cada riego, bajo el método de riego por aspersión.

Las fuentes químicas empleadas para la fertilización de los tratamientos fueron las fórmulas: 15-15-15, 16-20-0, sulfato de amonio y testigo (sin fertilizante) (Figura A-2). Previo a la aplicación se pesó cada fuente de manera individual en una balanza semianalítica en dosis de 5 g. La primera aplicación fue a los 15 ddg, siendo 10 días más de lo recomendado por Hager citado por Parada-Berrios (1999). La segunda aplicación fue a los 36 ddg con dosis de 5 g, la tercera a los 57 ddg con dosis de 5 g y 10 g (según el tratamiento) y una cuarta a los 78 ddg con dosis de 10 g (Cuadro A-1).

3.2.2.6 Control fitosanitario

Los métodos y técnicas empleadas para la prevención, control y eliminación de plagas y enfermedades partieron desde el tratamiento adecuado del sustrato, posteriormente se optó por el control de malezas de forma manual. La plaga que afectó el desarrollo de las plantas de Moringa fue la babosa (*Vaginulus plebeius* sp.) la cual provocó daños con el aparato bucal masticador. Ante esto, se colocaron dos tipos de trampas, una con Metaldehído (1 %) el cual actúa por ingestión o por contacto gracias a su efecto molusquicida; su método de acción es efecto irritante e induce a la producción de grandes cantidades de liga, lo que deriva en la deshidratación de la babosa, al mismo tiempo que afecta el sistema nervioso (Keith 1985). El segundo tipo de trampa que se empleó se cataloga como trampa orgánica; la cual buscaba causar la muerte de las babosas por ahogamiento, el cebo empleado fue la malta de la cerveza, la cual se colocó a una distancia de 1.5 m alrededor de cada repetición en recipientes enterrados hasta el nivel del suelo y cubierto por tejas, ya que el comportamiento de las babosas durante el día hace que estas busquen la oscuridad y humedad por lo que se ocultan bajo de troncos, hojarasca del suelo y otro material.

3.3 Metodología estadística

3.3.1 Análisis estadístico:

se reflejó la interacción entre las fuentes y dosis mediante el ANVA ($p \geq 0.05$) y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey; además, el coeficiente de correlación de Pearson. El análisis estadístico de las variables se realizó mediante el empleo del programa SAS 9.1 (Statistical Analysis System), para Windows, versión Demo (Cuadro A-2 y Cuadro A-3).

3.3.2 Diseño estadístico

El diseño estadístico fue completamente al azar en arreglo factorial de 4 x 4 donde se evaluaron la interacción de los dos factores en estudio; Factor "A" (fuente): testigo fórmulas: 15-15-15, 16-20-0 y sulfato de amonio; el Factor "B" fueron las dosis 0 g, 5 g, 15 g y 30 g. Se establecieron tres repeticiones, con 12 unidades experimentales, cada uno compuesto por 10 plantas, haciendo un total de 120 plantas por repetición y 360 plantas en total (Figura A-3).

3.3.3 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + B_j + (A*B)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \epsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$$

Donde:

a = Número de niveles del factor A

b = Número de niveles del factor B r = Número de bloques

i = 1, 2, 3...a j = 1, 2, 3...b k = 1, 2, 3...r

Y_{ijk} = Respuesta obtenida en la K-esima repetición del i-esimo nivel del factor A y el j-esimo del factor B; lo que es lo mismo que la variable respuesta observada en la ijk-esima unidad experimental. μ = Es la media del experimento sobre la cual giran las observaciones β_k = Efecto atribuido al k-esimo repetición A_i = Efecto atribuido al i-esimo nivel del tipo de fertilizante B_j = Efecto atribuido al j-esimo nivel de la dosis (A*B) ij = Efecto atribuido a la interacción entre el i-esimo nivel del factor A y el j-esimo nivel del factor B ϵ_{ijk} = termino de error aleatorio, donde los ϵ_{ijk} tienen una distribución normal e independientes con media 0 y varianza (σ^2), sin correlación entre sí. Es decir, el error experimental asociado a la ijk-esima unidad experimental.

3.4 Metodología de variables a evaluar

Fue dividida en dos tipos: de crecimiento (metodología de campo) y fisiológicas (metodología de laboratorio) (Cuadro A-4). Dentro de la variable crecimiento se evaluaron: altura de la planta, diámetro de planta, número de hojas por planta y sus incrementos. Las variables fisiológicas se midieron los procesos metabólicos: en hojas: clorofila, área foliar, peso fresco, seco, peso específico; en tallo y raíz: volumen, peso fresco, peso seco, peso específico, además de la longitud de raíz. Las variables de crecimiento se tomaron a nivel de campo cada 21 días haciendo un total de cinco recolecciones de datos, mientras que las fisiológicas se tomaron en laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador al finalizar la fase de camp. o haciendo muestreos destructivos (exceptuando la variable de clorofila, cual fue tomada a nivel de campo).

3.4.1 Toma de datos a nivel de campo.

La toma de datos se efectuó cada 21 días, iniciando con primera a los 14 ddg (Cuadro 3).

Cuadro 3. Intervalo de días en muestreo y fertilización a días después de germinado (ddg)

Numero de toma de datos	Dias después de germinado	Número de fertilizaciones	Dias después de germinado
Primer muestreo	14ddg	Primera fertilización	15ddg
Segundo muestreo	26ddg	Segunda fertilización	36ddg
Tercer muestreo	46ddg	Tercera fertilización	57ddg
Cuarto muestreo	67ddg	Cuarta fertilización	78ddg
Quinto muestreo	88ddg		

- Intervalo entre toma de datos 21 días -Intervalo entre fertilizaciones 21 días- Intervalo entre toma de datos y fertilización 12 días

3.4.2 Metodología de campo.

Variables de crecimiento: la toma de datos se realizó a las diez plantas que conformaron cada unidad experimental por cada uno de los tratamientos y sus tres repeticiones. Realizando 360 muestreos por variable en cada toma de datos.

3.4.2.1 Altura de la planta.

La altura de plantas se comenzó a evaluar a partir de los 14 ddg, se tomó desde la base del cuello de la raíz de la planta, ubicada a nivel del suelo hasta el meristemo apical. Se empleó una cinta métrica; las unidades de medida usadas fueron centímetros. Las demás mediciones se realizaron a los 26 ddg, 46 ddg, 67 ddg y 88 ddg (Figura A-4).

3.4.2.2 Incremento de altura de planta

Fue la diferencia del último muestreo de altura con respecto a la primera toma de datos.

3.4.2.3 Diámetro del tallo

Para medir el diámetro de la planta, se realizó la lectura inicial a los 14 ddg a 1.0 cm de altura tomando como punto de referencia el nivel de suelo. Se utilizó un pie de rey y las unidades de medida empleadas fueron centímetros (Figura A-5). Las demás mediciones se realizaron a los 26 ddg, 46 ddg, 67 ddg y 88 ddg.

3.4.2.4 Incremento de crecimiento del diámetro de tallo

Fue la diferencia del último muestreo de diámetro de tallo con respecto al inicial.

3.4.2.5 Número de hojas

Se realizó por conteo directo de forma manual del total de hojas pinnadas presentes en cada planta; el muestreo inicial fue a los 14 ddg, los demás conteos se tomaron a los 26 ddg, 46 ddg, 67 ddg y 88 ddg.

3.4.2.6 Incremento de número de hojas

Se tomo la diferencia del último muestreo de número de hojas pinnadas con respecto al primero.

3.4.3 Metodología de laboratorio

Después de concluir la fase de campo, a los 90 ddg se realizó los análisis de variables fisiológicas (a excepción de la estimación de clorofila, la cual se determinó durante la fase de campo). Dicha metodología incluyó el análisis de hojas, tallo y raíz, por lo que se sacrificaron dos plantas por cada tratamiento considerando las tres repeticiones, es decir que se destruyeron y analizaron un total de 72 plantas de las 360 en estudio. Se realizó en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

3.4.3.1 Variables fisiológicas: análisis de hoja.

Las variables que se analizaron en el follaje fueron: a) estimación de clorofila, b) área foliar, c) peso fresco (PFH) y peso seco (PSH) y d) peso específico (PEH).

Estimación de clorofila: con el fin de estimar la clorofila se escogieron tres hojas por planta situadas cada una en la parte baja, media y alta. Con ayuda del Chlorophyll Meter SPAD-502, Minolta C. Ltd., se logró estimar la cantidad de clorofila presente en tres hojas por planta en unidades SPAD (Figura A-6). Finalmente, con el dato obtenido por planta se promedió las 10 plantas de cada tratamiento. Es decir, que se realizaron 360 muestreos por cada repetición considerando para el análisis de datos solo los obtenidos en el último muestreo realizado a los 88ddg.

Área foliar: para determinar el área foliar, se seleccionaron 5 plantas por tratamiento, a las cuales se cortaron tres hojas pinnadas obtenidas de la parte baja, media y alta, dando un total de 15 muestras por tratamiento en cada repetición (540 muestras por repetición). El equipo empleado fue el Integrador de Área Foliar Model LI-3100 Área meter Li-Cor (Figura A-7). Para tener el menor margen de error se procedió a calibrar el lector a cero según fuera necesario;

luego se colocaron las hojas pinnadas de Moringa entre dos pliegos de acetato transparente para que fuera deslizada entre las placas del lector, dando como resultado el área foliar de las 3 hojas muestras por planta expresado en cm². Para obtener el promedio de área foliar por planta se consideró el número de yemas axilares que tenía la planta.

$$\text{Área foliar cm}^2 \text{ por planta (AFP)} = \frac{(\text{AF}_{3 \text{ hojas pinnadas}} \times \text{número de yemas axilares planta})}{\text{planta}}$$

$$\text{Área foliar cm}^2 \text{ por unidad experimental (AFUE)} = (\Sigma \text{AFP} / \text{número de plantas muestreadas})$$

$$\text{Promedio área foliar cm}^2 \text{ por tratamiento (PAFT)} = ((\text{AFUE}_{R1} + \text{AFUE}_{R2} + \text{AFUE}_{R3}) / 3 \text{ repeticiones})$$

Peso fresco de hojas (PFH) y peso seco de hojas (PSH): se procedió a defoliar completamente las dos plantas, luego se pesó en una balanza semi analítica para obtener la estimación de biomasa expresada en gramos, es decir, el peso fresco de hojas por tratamiento. Posteriormente, las hojas se colocaron dentro de bolsas de papel de 5 libras previamente etiquetadas y pesadas (las etiquetas de la bolsa contenían la información siguiente: fecha de recolección, nombre de muestra, número de repetición, número de tratamiento, peso bolsa vacía, peso bolsa vacía más muestra, peso seco y el código de la muestra). Seguidamente, para el peso seco de hojas se empleó el método de volatilización para determinar de humedad; donde las muestras sufrieron una pérdida de peso cuando fueron sometidas a una temperatura entre los 60 °C y 70 °C por un periodo de 24 horas en una estufa de aire reforzado (para este análisis se empleó la misma muestra donde se obtuvo el peso fresco de hoja) (Figura A-8). Posterior al secado las muestras se colocaron en un desecador para llegar a un equilibrio con respecto a la humedad ambiente; fue nuevamente pesado en la misma balanza semi analítica obteniendo el peso seco de la muestra de hojas, luego por cada tratamiento se procedió a realizar el siguiente cálculo matemático:

$$\text{Peso de muestra} = \text{Peso de la bolsa más muestra} - \text{peso de bolsa vacía}$$

$$\text{Pérdida de peso} = \text{Peso de bolsa más muestra antes de secar} - \text{peso de bolsa más muestra después de secar}$$

Peso específico de hojas (PEH): es la relación entre el peso seco de la hoja entre el área foliar de la misma; los datos siempre fueron por cada tratamiento. Se empleó la fórmula siguiente:

$$\text{PEH} = (\text{peso seco de hojas g} / \text{área foliar cm}^2) \times 1000$$

3.4.3.2 Variables fisiológicas: análisis de tallo:

Para estos estudios se tomó el tallo de las plantas sacrificadas en el análisis anterior con el fin de determinar las variables siguientes: e) volumen de tallo, f) peso fresco de tallo (PFT), g) peso seco de tallo (PST) y h) peso específico de tallo (PET).

Volumen de tallo: posterior a la toma del PFT se midió el volumen de los tallos. Para ello fue necesario emplear una probeta graduada a 1,000 cc, llenada previamente hasta los 500 cc con agua destilada, luego se introdujeron los tallos cortados y el desplazamiento del agua destilada fue tomado como el volumen del tallo.

Peso fresco de tallo (PFT)

Los tallos fueron cortados a 10 cm de longitud y depositados en una bolsa de papel de 5 libras (previamente identificadas tal como lo detalla la determinación de PFH), posteriormente fueron pesadas las muestras en la balanza semi analítica, apuntado el resultado como peso fresco de tallo en gramos (Figura A-9).

Peso seco del tallo (PST) : se empleó el método de volatilización para la determinación de humedad, ocupando las muestras del PFT. Con el fin de facilitar la pérdida de humedad, las muestras tuvieron que ser llevadas a un tamaño menor e introducidas durante un periodo de 24 horas a la estufa de aire reforzado a una temperatura entre los 60 °C y 70 °C. Tras perder la humedad de manera homogénea las muestras fueron colocadas en un desecador para obtener equilibrio con respecto a la humedad ambiente. Finalmente fueron pesadas en una balanza semi analítica. Para posteriormente realizar los siguientes cálculos matemáticos:

Peso de muestra = Peso de la bolsa más muestra - peso de bolsa vacía

Pérdida de peso = Peso de bolsa más muestra antes de secar – peso de bolsa más muestra después de secar

Peso específico del tallo (PET): es la relación entre peso seco y volumen en los tallos. Se empleó la siguiente formula:

$$PET = (\text{peso seco del tallo g} / \text{volumen de tallo cm}^3)$$

3.4.3.3 Variables fisiológicas: análisis de raíz.:

Se utilizaron las raíces de las mismas plantas de los análisis anteriores. Las variables en estudio fueron: i) longitud de raíz, j) volumen de raíz, k) peso fresco de raíz (PFR), l) peso seco de raíz (PSR) y m) peso específico de raíz (PER).

Longitud de raíz: las mismas plantas destruidas en los análisis anteriores se midió la longitud de raíz partiendo desde del cuello de la raíz hasta la cofia (Figura A-10). (Dicha variable conforma parte de las variables de crecimiento, sin embargo, se muestreó junto a las variables fisiológicas a nivel de laboratorio).

Volumen de raíz: se obtuvo el volumen por medio de una probeta graduada a 1,000 cc, que fue llenada con agua destilada dejándola hasta 500 cc. Luego se introdujeron las raíces y se consideró el desplazamiento del agua destilada como el volumen de raíz (Figura A-11).

Peso fresco de raíz (PFR): La muestra de la raíz partió del cuello de la raíz hasta la cofia la cual se pesó en una balanza semi analítica empleando unidades en gramos (Figura A-11).

Peso seco raíz (PSR): con las mismas raíces del PFR se le realizaron cortes delgados (Figura A-11), para que la pérdida de humedad mediante el método de volatilización fuera homogénea. Preliminarmente las bolsas de papel con capacidad de 5 libras se etiquetaron tal como en el análisis de PFH. Las muestras fueron llevadas a una temperatura entre 60 °C a 70 °C durante un periodo de 24 horas en estufa de aire reforzado; y fueron colocadas a un desecador para llevar a un equilibrio con la humedad ambiente; al finalizar este proceso, las muestras se pesaron en balanza semi analítica para posteriormente desarrollar los siguientes cálculos matemáticos:

peso de muestra = Peso de la bolsa más muestra - peso de bolsa vacía

pérdida de peso = Peso de bolsa más muestra antes de seca -
peso de bolsa más muestra después de secar

Peso específico de raíz (PER): Basados en los datos de raíz obtenidos previamente, se calculó con la siguiente formula:

$$PER = (\text{peso seco g} / \text{volumen de raíz cm}^3)$$

3.4.4 Determinación de composición química de plantas de Moringa

Se determinó la composición y propiedades nutricionales de la *Moringa oleífera* Lam., para evaluar cuál de las fuentes químicas 15-15-15, 16-20-0, sulfato de amonio y testigo presentó una mejor respuesta con respecto a la asimilación de nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio. Para ello se utilizó 100 gramos compuestos por hojas, tallos y raíz, obtenida de la mezcla de los tratamientos y sus respectivas fuentes. (Cuadro 4). Se determinó el porcentaje de ceniza, porcentaje de extracto etéreo (grasa), porcentaje de proteína, hierro y zinc en ppm. Dichos análisis se realizaron en los Laboratorios de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Cuadro 4.. Distribución de tratamientos para el análisis bromatológico

Numero de muestra	Fuente	Tratamientos
1	Formula 15-15-15	T ₂ , T ₃ , T ₄
2	Formula 16-20-0	T ₆ , T ₇ , T ₈
3	Sulfato de Amonio	T ₁₀ , T ₁₁ , T ₁₂
4	Testigo	T ₁ , T ₅ , T ₉

3.4.4.1 Determinación de cenizas.

Consistió en la calcinación de la materia orgánica a una temperatura de 550 °C hasta la obtención de material inorgánico conocido como ceniza (Figura A-12), esto bajo el principio de gravimetría recomendado por AOAC (1990).

3.4.4.2 Determinación de extracto etéreo (grasa).

El extracto etéreo de las muestras de Moringa se determinó mediante el método de Soxhlet recomendado por la AOAC (1990) (Figura A-13).

3.4.4.3 Determinación de Nitrógeno Proteico por el método de micro Kjeldahl.

Con el fin de estimar el contenido de proteínas en las muestras de Moringa, se empleó el método de Kjeldahl citado por AOAC (1990) (Figura A-14).

3.4.4.4 Determinación de minerales Hierro y Zinc por medio del equipo de absorción atómica.

Los elementos presentes en la Moringa como hierro y zinc fueron determinados en el espectrofotómetro de absorción atómica y el software WizAArd (Albuja 2012) (Figura A- 15).

3.4.5 Análisis de suelo

Se realizó dos análisis del sustrato, uno fue previo a la siembra y el otro al finalizar la fase de campo. Esto con el fin de tener una base para determinar la disposición de nutrientes presentes en el sustrato. Los elementos analizados fueron: potencial hidrogeno (pH), materia orgánica, % de nitrógeno, % de potasio y % fósforo.

3.4.5.1 Determinación de potencial hidrogeno (pH)

Mediante la implementación de un pH metro tal como lo indica la AOAC (1990) se tomó lectura de las muestras.

3.4.5.2 Determinación de materia orgánica

El fundamento consistió en la oxidación de la materia orgánica presente en las muestras de suelo, empleando además el factor de conversión de Van Bemmelen recomendado por la AOAC (1990).

3.4.5.3 Determinación de nitrógeno

Se realizó siguiendo el método de Kjeldahl (AOAC 1990).

3.4.5.4 Determinación de fósforo.

Se empleó el método de colorimétrico, sugerido por AOAC (1990).

3.4.5.5 Determinación de potasio.

Se desarrolló por el método de Fotómetro de llama. Utilizando un Modelo Sherwood 410 indicado por la AOAC (1990).

3.4.6 Metodología económica

PASSOLAC (1999), citado por CENTA (2018) menciona que el objetivo del análisis económico es tener suficiente evidencia sobre las opciones tecnológicas propuestas, determinando si son factibles económicamente de acuerdo con el dominio de recomendación y en términos de generación de beneficio directos e indirectos, medidos en unidades monetarias. Por ello se aplicó el análisis de presupuesto parcial acompañando del análisis marginal, tal como lo recomienda CIMMYT (1988), identificando los efectos económicos de los diferentes tratamientos que bajo en estudio.

3.4.6.1 Análisis de costos variables

En el análisis de costos se incluyeron aspectos como la preparación del sustrato, labores del cultivo e insumos. Los costes fueron en dólares americanos para el año 2019. Tomando como base un precio promedio por planta de \$0.85. En el análisis se consideró el costo y los beneficios en la fase de vivero para cada tratamiento considerando sus tres repeticiones (30 plantas) así como el costo unitario.

Costos Variables: fueron todos aquellos costos relacionados con los insumos o factores de producción que promovieron la variación de un tratamiento a otro. En este caso, la cantidad de fertilizante suministrado a cada unidad experimental de los tratamientos evaluados.

Total de costos que varían = Σ costos de los insumos utilizados en cada tratamiento

Ingreso bruto: se obtuvo al multiplicar las unidades experimentales que comprendieron cada tratamiento considerando las repeticiones, por un precio promedio de venta a nivel de mercado, aun cuando la planta de Moringa sobrepasó los criterios de venta como la altura.

Ingreso bruto = rendimiento ajustado x precio de venta de la producción

Beneficio neto: fue la diferencia entre ingresos bruto y los gastos incurridos desde el establecimiento hasta finalizar la toma de datos, es decir hasta los 88 ddg.

Beneficio neto = Ingreso bruto – total de costos que varían.

3.4.6.2 Presupuesto parcial de beneficio neto

También conocido como presupuesto parcial ya que no incluye los costos fijos, sino solo aquellos que son diferentes, en este caso, se consideraron los costos de las fuentes en estudio con el fin de evaluar cual los 12 tratamientos presentó un mejor beneficio neto, determinando así, el de éxito o fracaso en términos económicos ya que permite desglosar los indicadores económicos básicos para el análisis económico (Cuadro A-5).

3.4.6.3 Análisis de dominancia

Se ordenaron los tratamientos de menores a mayores totales de costos que varían, considerando como tratamientos dominados aquellos arrojaron beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

3.4.6.4 Análisis de tasa de retorno marginal

Con el fin de establecer cual tratamiento reflejó el mayor retorno, se calculó las tasas de retorno marginal (mediante el retorno de inversión económica realizada, más los ingresos adicionales) entre los tratamientos no dominados (comenzando con el tratamiento de menor costo y procediendo paso a paso al siguiente en escala ascendente), comprándose así las tasas de retorno mínima aceptable por el viverista.

3.4.6.5 Tasa de retorno mínima

Permitió establecer un techo mínimo de la inversión por parte del viverista considerando los factores en estudio, es decir fuente y dosis de cada tratamiento, para ello se estimó la tasa de retorno mínimo aceptable, a fin de recomendación y estimación de que, por cada dólar invertidos, se recupera una cantidad, esto expresado en porcentaje.

Se consideró como equilibrio el punto donde se interceptaron el beneficio neto y la línea de regresión del costo de producción, siendo esto la representación de cuales tratamientos se encuentran por encima del costo de producción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables de crecimiento

Para realizar el análisis de crecimiento fueron necesarios cinco muestreos durante la fase de vivero, evaluando las variables: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas (Cuadro A-4).

4.1.1 Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.

Al analizar las variables de crecimiento se demostró que no existieron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los cinco muestreos realizados. Sin embargo, al analizar los promedios de las alturas encontramos que el tratamiento Testigo, fue el que presentó mayor incremento a partir del tercer muestreo, es decir a los 46 ddg (días después de germinado), comportamiento seguido por el T₁₀ (5 g sulfato de amonio) a los 88 ddg, ambos tuvieron en común las mejores alturas con respecto a los demás tratamientos (Figura 1).

Al realizar el análisis en la variable de crecimiento absoluto, es decir, el incremento de altura (Figura 2), se tuvieron resultados muy similares indicando que cuando no se aplica ningún tipo fertilizante al sustrato como fue el caso del tratamiento Testigo, se puede llegar a obtener un promedio de 100.02 cm de altura, mientras que el T₁₀ el valor de la altura fue de 94.43 cm; estos dos tratamientos fueron los que reportaron valores mayores que los registrados por Duarte (2015) en su estudio sobre la evaluación de Moringa en fase de vivero, quien obtuvo una media de 70 cm de altura a los 70 ddg al emplear un sustrato compuesto en su totalidad por tierra. Por otra parte, se verificó la influencia del estiércol bovino al hacer referencia a la investigación realizada por Gonzales y Rodríguez (s.f.) en su estudio sobre el efecto que produce la aplicación de nitrógeno y de estiércol en las plantas; este último a pesar de variar en los porcentajes de elementos, es favorable ya que enriquece el suelo y lo mantiene en buenas condiciones, también favorece la facultad de absorber y retener la humedad. Menciona, que al emplear sustrato con estiércol bovino se puede obtener plantas con una aceptable tasa de crecimiento en lo que respecta a la altura.

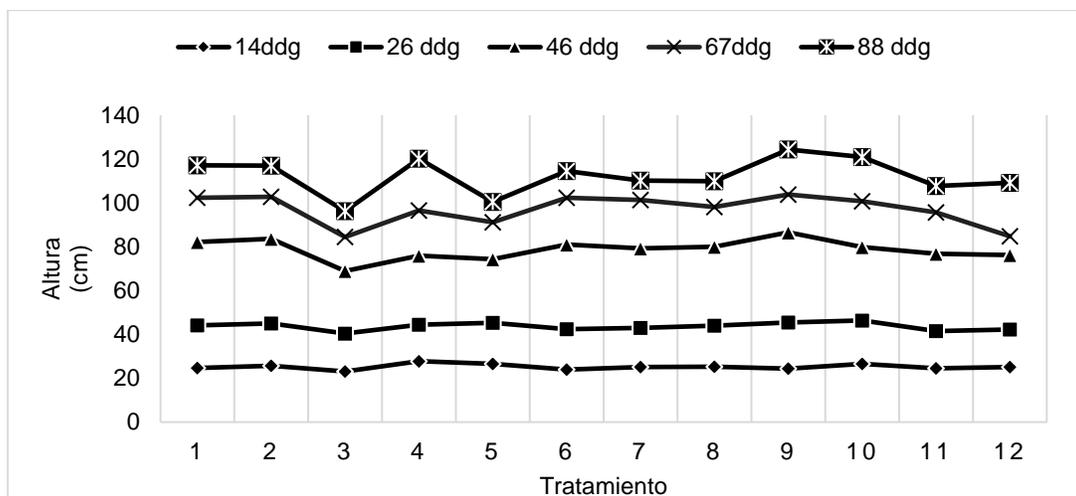


Figura 1. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable altura, en cinco muestreos realizados en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

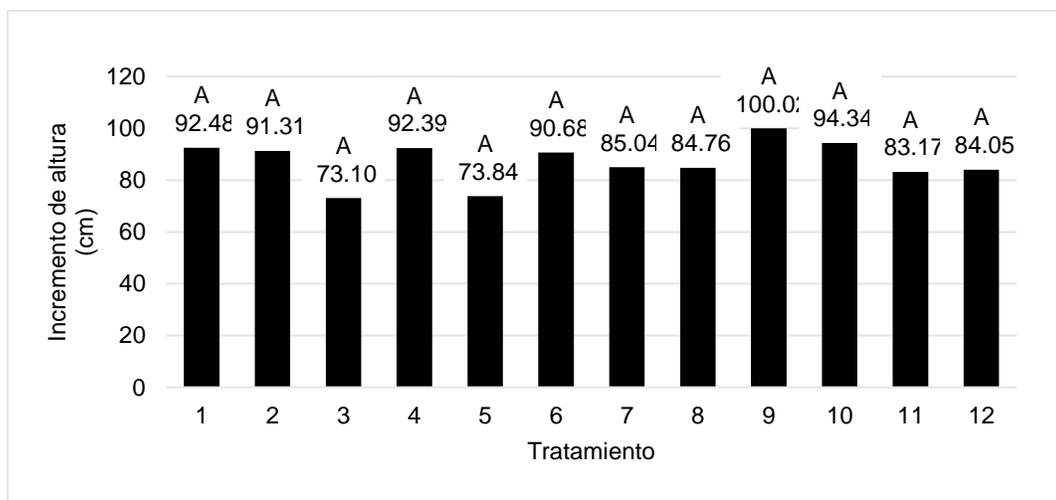


Figura 2. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable incremento de altura, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

La variable diámetro de tallo, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, al observar los promedios, el tratamiento que presentó el valor mayor fue el T₁₀ el cual reflejó un incremento a los 88 ddg con un valor de 1.49 cm de diámetro, el Testigo fue el segundo mejor tratamiento que los 67 ddg tuvo 1.17 cm de diámetro; el T₃ (15 g 15-15-15) registró 0.97 cm siendo este el de menor crecimiento del diámetro con respecto al resto de los tratamientos (Figura 3). Mientras que los datos reflejados por Diaz (2010) quien obtuvo diferencias estadísticas significativas en su estudio sobre el efecto de la fertilización nitrogenada y la densidad de siembra sobre la producción de biomasa y composición química de la Moringa, y que reportó a los 45 ddg un aumento del diámetro en aquellas plantas donde se aplicó un fertilizante alto en nitrógeno, en este caso, urea a una dosis de 0.8 g por planta, obteniendo un diámetro de 0.80 cm mientras que las otras presentaron diámetro de 0.53 cm. Caso contrario en la investigación de Toral *et al.* (2013) en su trabajo de caracterización de Moringa a nivel de vivero obtuvieron valores entre 0.33 cm y 0.40 cm de diámetro a los 40 ddg, datos que compararon con la investigación de Pérez (2011) citado su investigación, quien menciona que durante la fase de vivero tuvo como resultado un diámetro de 0.58 cm a los 42 ddg al emplear un sustrato combinado por suelo rojo más humus de lombriz.

Al analizar el incremento del diámetro en plantas de Moringa (Figura 4), el T₁₀ se encontró por encima de los demás tratamientos con 1.02 cm, seguido del Testigo con 0.83 cm. Ante esto, Daza *et al.* (2015) en su ensayo sobre los efectos de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada, menciona que al aplicar un fertilizante nitrogenado aumenta la eficiencia de la nutrición ya que se reduce la pérdida por lixiviación, aprovechando que los nitratos tienen la característica de ser de liberación lenta; lo que permite a la planta un mayor aprovechamiento, favoreciendo el desarrollo vegetativo. Resultados similares reportó Duarte (2015) en su estudio sobre la evaluación de Moringa en la fase de vivero quien obtuvo un diámetro de tallo de 0.73 cm a los 70 ddg; así mismo, Medina *et al.* (2007) en el estudio comparativo de Moringa y *Leucaena* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento; reportó un diámetro de 0.82 cm a los 70 ddg, considerando que el sustrato fue compuesto solo por tierra y sin el uso de fertilizantes ni abonos.

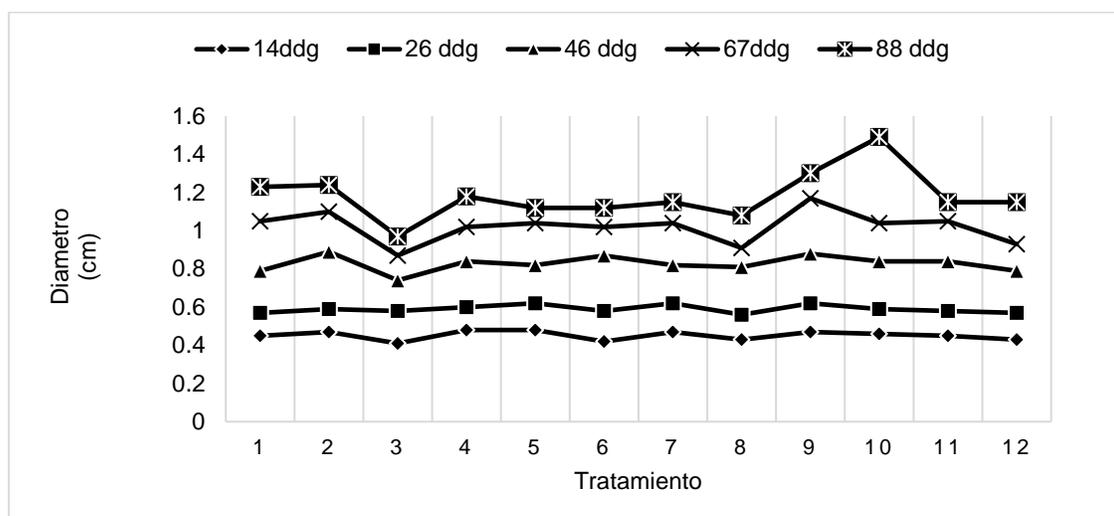


Figura 3. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable de diámetro, en cinco muestras realizadas en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

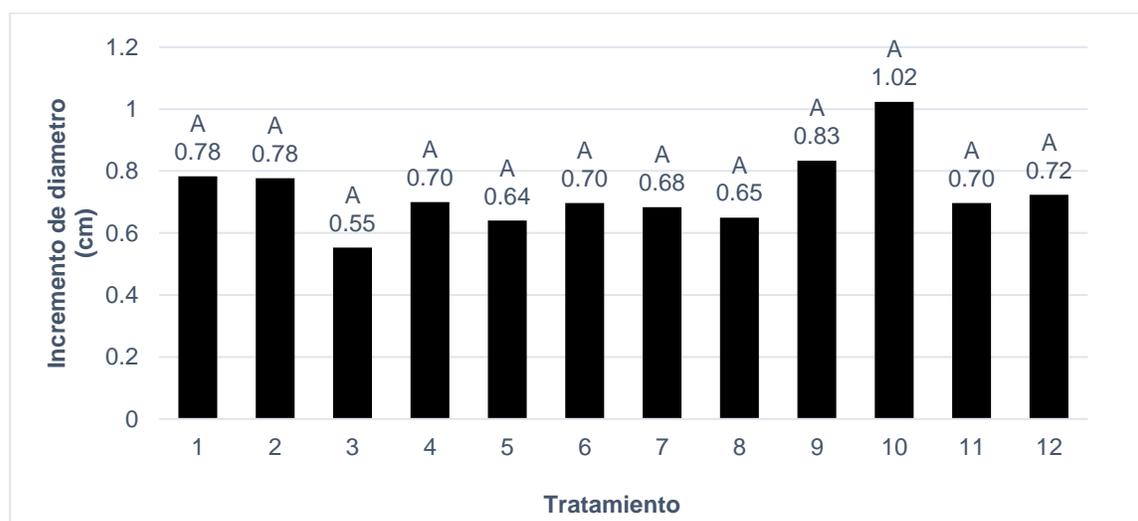


Figura 4. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable incremento de diámetro, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

Por otra parte, se evidenció que existe una correlación positiva entre la variable altura y diámetro, con un $r = 0.94$, indicando que, al tener una mayor altura, el diámetro de tallo se ve incrementado. De igual manera García *et al.* (2016), al estudiar el desempeño productivo de la Moringa en la etapa de vivero y transplante, también reportó que existe una asociación significativa entre la variable de la altura y el diámetro del tallo, dando como resultado $r = 0.91$,

siendo este valor muy similar al obtenido en este estudio. Medina *et al.* (2007) en su investigación encontró que la Moringa durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento, el diámetro de la base del tallo se vio incrementado con el transcurrir de las semanas.

CK-12 (s.f) sugiere que la mayoría de las plantas crecen a través de una combinación del crecimiento y división celular (mitosis) donde el meristema permite el incremento del tallo además de aumentar la altura de las plantas. Dicho comportamiento radica en la importancia del Liber, el cual es un órgano del tallo compuesto por una red vascular, cuyas areolas se hallan ocupadas por tejido celular que conduce sustancias estructurales asimiladas a las zonas de crecimiento y las células de depósito de las raíces, del tronco y las ramas. W. Nutsch (2000) señala que los tejidos del árbol contienen conductos que transportan agua y minerales, así como los productos de la fotosíntesis, es decir el alimento producido por la planta y del cual se nutre.

Con respecto a la variable número de hojas se demostró que no existieron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los cinco muestreos realizados. Sin embargo, analizando los promedios del número de hojas se observó que el T₄ (30 g de 15-15-15) presentó el mayor valor a los 88 ddg, seguido del T₂ (5 g de 15-15-15) a pesar de que dichos tratamientos reportaron similitud con los demás tratamientos durante los muestreos anteriores. El tratamiento que obtuvo el menor número de hojas fue el T₁₂, (30 g sulfato de amonio) dato generado también a los 88 ddg, siendo a su vez el que manifestó mayor defoliación (Figura 5). Iglesias y Ortega (2016) citado por Ledea-Rodríguez *et al.* (2018) enfatizaron que a mayor edad es cuando se presenta mayor número de hojas en las plantas de Moringa, cuando las condiciones edafoclimáticas no son una limitante, lo que explica el aumento del número de hojas a los 88 ddg.

La variable incremento de número de hojas no tuvo diferencias estadísticas significativas, sin embargo, al analizar las medias de los tratamientos, el T₄ presentó mayor número de hojas en los muestreos realizados, teniendo un incremento de 14.6 hojas por planta a los 88 ddg (plantas con un promedio de altura de 120.19 cm) (Figura 6). Ortiz (1998) asegura que los fertilizantes con iguales contenidos de nitrógeno y potasio influyen positivamente en el promedio del número de hojas en las plantas. Duarte (2015), en su investigación reportó un promedio de 15 hojas a los 70 ddg; por otra parte, Valdez *et al.* (2016), al estudiar los efectos de la poda y fertilización orgánica en Moringa reportó que su tratamiento Testigo obtuvo un promedio de 13.24 hojas por planta a los 60 ddg, siendo valores menores a los recolectados en este estudio. Cabe mencionar que al evaluar los 12 tratamientos, todos presentaron

defoliación; a lo que Milanés *et al.* (s.f), en su trabajo sobre el comportamiento de tres procedencias de Moringa en Cuba, planteó que la moringa a pesar de tener un crecimiento con tendencia acelerada, durante su primer establecimiento la planta se ve afectada por vientos, ataque de plagas e inclusive puede ser sensible ante el exceso de agua, lo cual provoca la pérdida con facilidad de las hojas durante sus primeras etapas.

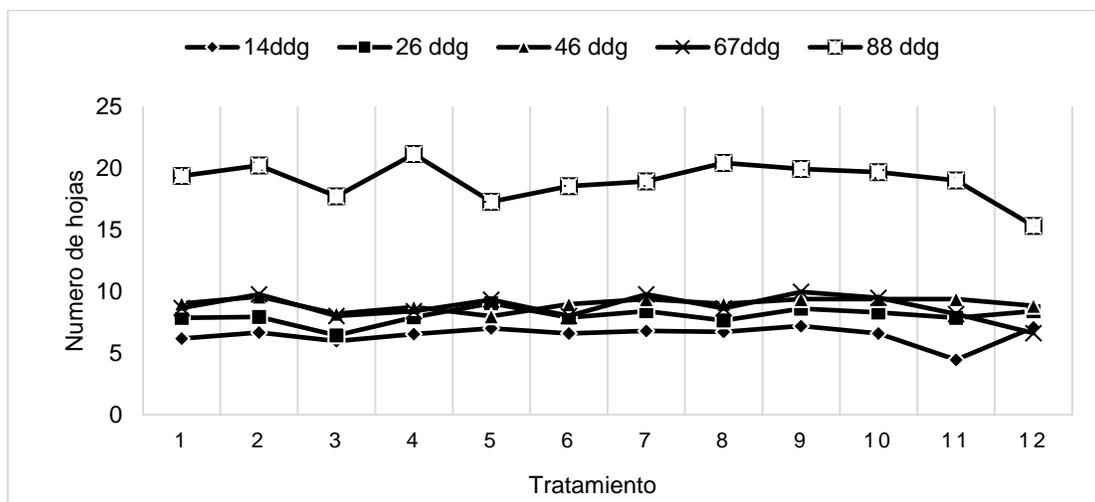


Figura 5. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable de número de hojas, en cinco muestras realizadas en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

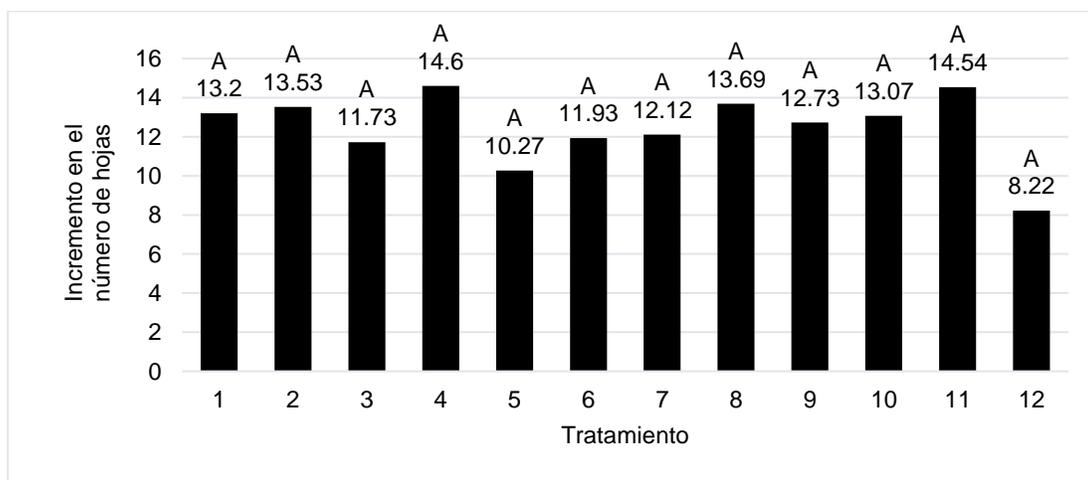


Figura 6. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable incremento en el número de hojas, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

4.2 Variables fisiológicas

4.2.1 Variables fisiológicas de la hoja: clorofila, área foliar, peso fresco hoja (PFH), peso seco hoja (PSH) y peso específico de hoja (PEH).

En el análisis de las variables fisiológicas de hojas de Moringa (Cuadro A-4) se determinó que no existieron diferencias estadísticas significativas, no obstante, al referirnos a la variable clorofila no se reportaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, al comparar promedios encontramos que para el quinto muestreo a los 88 ddg la mayor expresión lo registró el T₄ (30 g 15-15-15) con 44.57 expresado en Unidades Spad (SPAD), seguido por el T₁₂ con 43.24 SPAD y el menor promedio fue para el T₃ con 35.95 SPAD (Figura 7). Interiano (2015) en su investigación sobre la determinación del crecimiento y el perfil proteómico de hojas de Moringa no reportó diferencias estadísticas significativas, sin embargo, a comparar sus promedios a los 45 ddg obtuvo 43.0 SPAD en su tratamiento testigo donde solo empleo sustrato con el 100% de suelo de textura franco arenoso, mientras que al usar sustrato de vermiculita y abonar con roca fosfórica, la clorofila fue de 40.0 SPAD. Por otro lado, también obtuvo promedios a 90 días ddg reportando 34 SPAD y 30 unidades SPAD respectivamente, siendo clara una disminución del contenido de clorofila, lo cual explica que puede atribuirse a que la planta tiene mayor demanda de nutrientes para su desarrollo. Por otra parte, en el estudio realizado por Valdés *et al.* (2014) no obtuvo diferencias significativas; logrando un promedio de 35.67 SPAD a los 75 ddg al emplear un sustrato con el 100% de suelo de textura arcillo-limo-arenoso procedente del lugar donde fue realizado el ensayo. Raven *et al.* (2007) citado por Interiano (2015), mencionan que al aplicar fertilizantes ricos en nitrógeno incrementa la capacidad de intercambio de cationes de las raíces a la planta en general, lo que la hace más eficaz a la absorción de otros nutrientes, así como la multiplicación celular y desarrollo de órganos vegetales, ya que tiene una participación importante para la síntesis de clorofila y el proceso de fotosíntesis. De igual manera señala que el nitrógeno mejora la absorción de Mg, el cual promueve la absorción de luz en la organela fotosintética llamada cloroplasto aumentando así la concentración del pigmento conocido como clorofila.

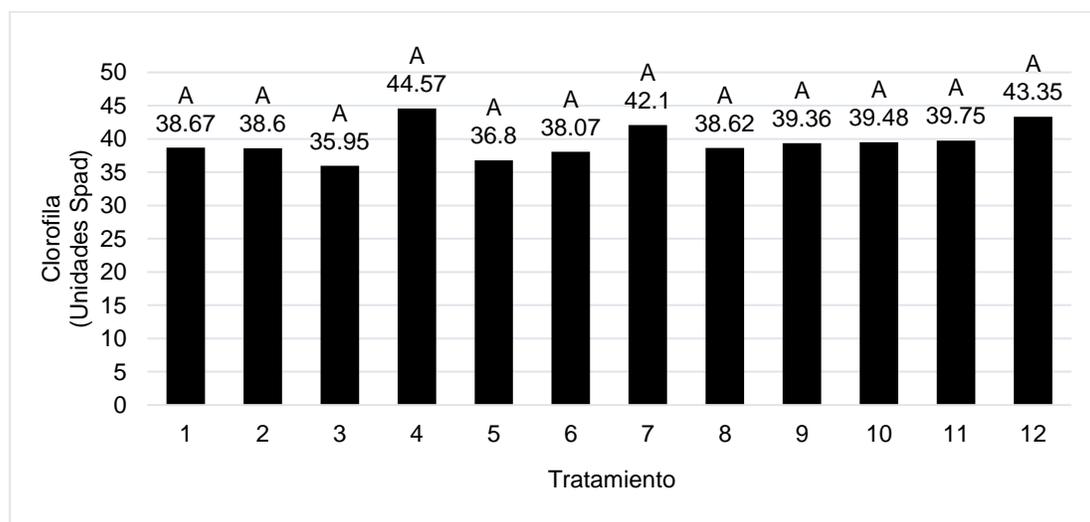


Figura 7. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable clorofila, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

Para el área foliar de Moringa encontramos que el mayor valor lo registró el Testigo con 10,020 cm², seguido por el T₃ (15 g 15-15-15) con 9,055 cm² y el menor valor el T₆ (5 g 16-20-0) que expresó 4,530 cm² (Figura 8). Mientras que los resultados reportados por Valdés *et al.* (2014), al evaluar el ajuste de curvas de crecimiento de Moringa en sustrato arenoso con composta de cachaza de caña a una relación de 1:1 obtuvo un área foliar promedio de 1,260 cm² en plantas de aproximadamente 22 cm de altura. Salinas (2017) en su investigación sobre el efecto al aplicar fitohormonas en el desarrollo de las plantas de Moringa, tampoco reportó diferencias estadísticas significativas, pero sí diferencias numéricas a los 170 ddg ya que obtuvo un área foliar de 35,520 cm² en su tratamiento Testigo. Mientras que Segura *et al.* (2020), sugiere que el área foliar se encuentra relacionado con la edad de la hoja, la posición en la planta y ciclo de cultivo; además, que el aumento de área foliar no implica una mayor producción de biomasa, ya que ello depende de la eficiencia del genotipo para transformar el área foliar en carbohidratos.

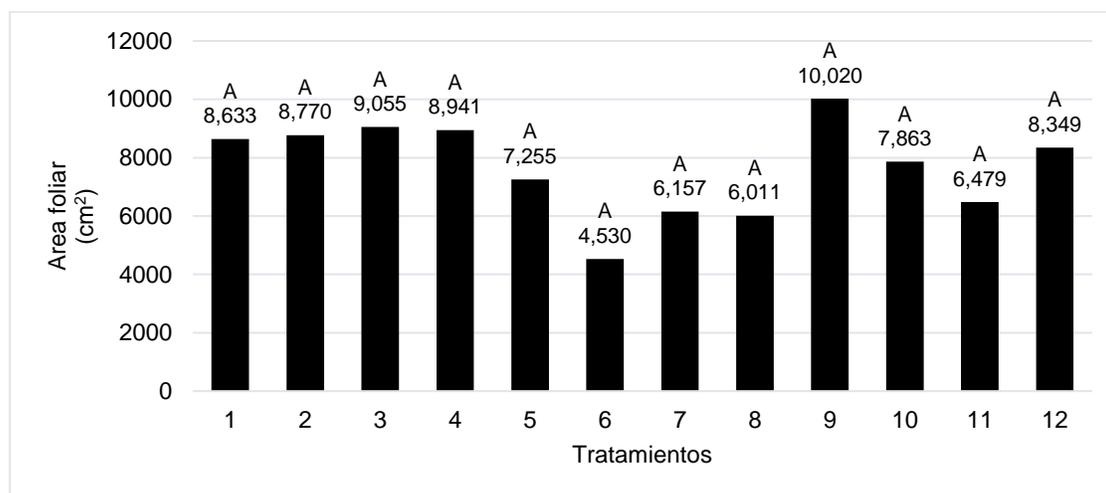


Figura 8 Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable área foliar, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

En cuanto a la variable peso fresco de hojas de Moringa, el mayor promedio fue del T₈ con 177.7 g seguido del Testigo con 169.2 g y el menor promedio el T₁₂ con 39.4 g; dichos datos fueron obtenidos mediante muestreos destructivos a los 88 ddg. (Figura 9). García y Quevedo (2018), al evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral en el cultivo de Moringa no reportaron diferencias estadísticas significativas para los factores en estudio, los cuales fueron el abono, fertilizantes e interacción de estos, donde a los 60 ddg reportaron 726.83 g de PFH; por otra parte, en la investigación realizada por Soto (2017) al evaluar el desempeño de la planta de Moringa aplicando bovinaza como abono orgánico obtuvo 650 g de PFH a los 60 ddg. Intagri (2017) indica que el fósforo se encuentra en bajas proporciones en el suelo, además de verse sometido bajo el fenómeno de fijación, por lo que es poco asimilable por las plantas, explicando el valor obtenido por el T₈ el cual en las 4 aplicaciones aportó 6 g de P₂O₅ acompañado de 4.8 g de nitrógeno a lo que Munera y Meza (1996) señalan que en conjunto dan paso funciones vitales como la fotosíntesis, formación de proteína y la fijación simbiótica. Sanzano (s.f) describe que los fertilizantes altos en fósforo aumentan la eficiencia del uso del agua, favorecen la acumulación de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células al estar directamente involucrado con la formación de adenosín trifosfato (ATP).

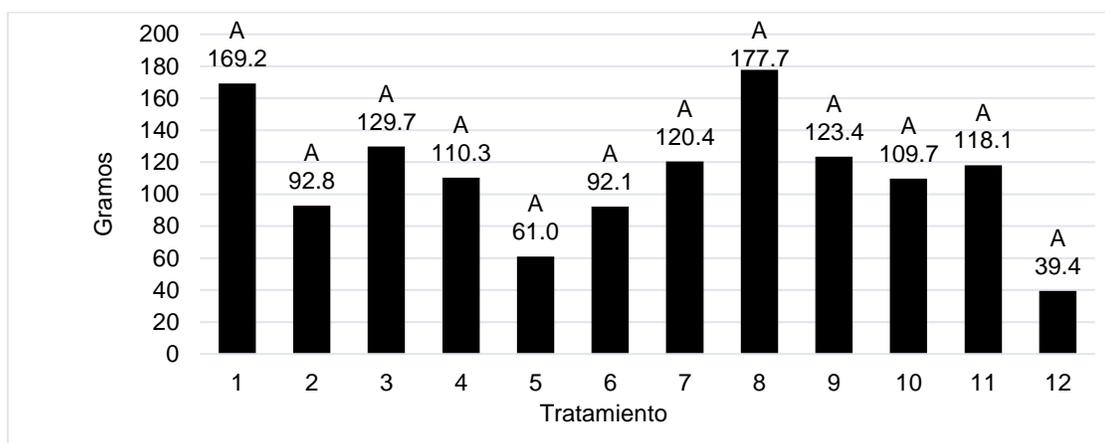


Figura 9. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso fresco hojas, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

El peso seco de hoja tampoco reportó diferencias estadísticas significativas, pero al considerar sus promedios el mayor PSH lo expresó el Testigo con 149.0 g, seguido muy cercanamente por el T₈ con 143.9 g y el promedio menor el T₁₂ con 32.3 g (Figura 10). García y Quevedo (2018), al evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral en el cultivo de Moringa no reportaron diferencias estadísticas significativas para los factores en estudio, los cuales fueron el abono, fertilizantes e interacción de estos; obteniendo a los 60 ddg 100.49 g de PSH.

Al analizar la correlación de Pearson encontramos PFH presenta una correlación altamente positiva de $r = 0.98$ con respecto al PSH, es decir, que a mayor peso fresco hoja aumenta el peso seco hoja.

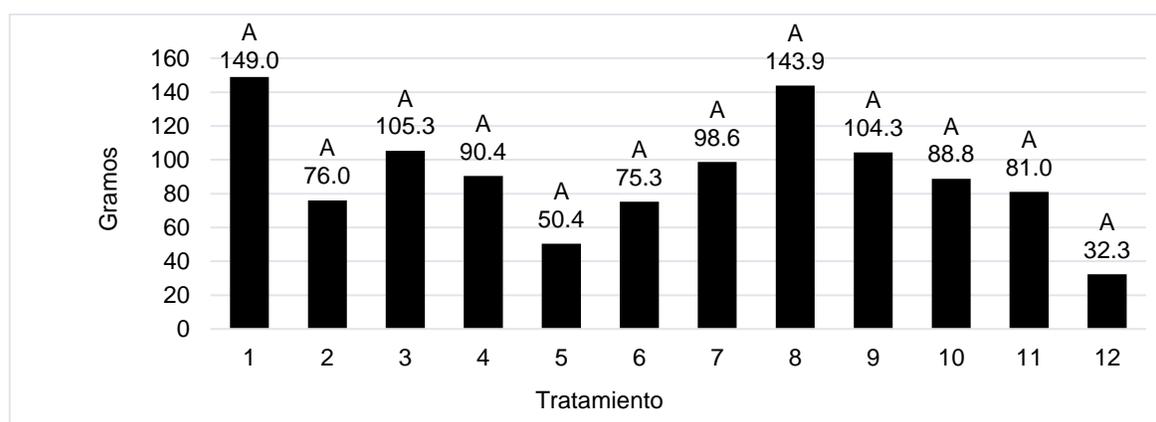


Figura 10. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y; en la variable peso seco hojas, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

Con respecto al peso específico de la hoja encontramos al T₈ con 23.93 mg.cm², seguido por el tratamiento Testigo con 17.26 mg.cm² y el tratamiento dosis con menor promedio el T₁₂ con 3.87 mg.cm² (Figura 11). Parada-Berrios *et al.* (2019), señala en su evaluación de diferentes dosis y fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio en Ojushte, que el peso específico de hojas (PEH) no es más que el peso seco de hojas expresado en gramos divididos entre el área foliar (cm²), generando valores muy pequeños pero que expresan la eficiencia fotosintética de la hoja. Por lo que al aplicar 30 g 16-20-0 se contribuye a la capacidad de generar tejido nuevo por cm² de hoja garantizando el desarrollo de la planta ya que el fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento, transferencia de energía, división y crecimiento celular, además de otros procesos (Munera y Meza 1996). Para el caso del T₁₂, Salinas (2017) sugiere que la disminución puede deberse a que existe una menor expansión celular, así como de transportes de fotoasimilados hacia los puntos de crecimiento.

Al analizar la correlación de Pearson encontramos que el PEH presenta una correlación positiva con el PFH y el PSH donde $r = 0.83$ y $r = 0.81$ respectivamente; a lo que Garcés y Forcelini (2011) mencionan que es usual la correlación entre estas variables; siendo indicador de la capacidad de acumular solutos en el tejido foliar contribuyendo a la tolerancia del estrés hídrico. Villar *et al.* (2004) señalan que el PEH tiene un significado adaptativo, de tal forma que, cuando el valor es alto se tienen ventajas en hábitats productivos a costa de una menor longevidad, mientras que las especies con bajo PEH pero mayor longevidad foliar tienen ventajas en hábitats con escasos nutrientes y agua; relacionando el PFH con la capacidad de retención de agua y nutrientes, además de la capacidad para adquirir mayor energía solar y dióxido de carbono, y por tanto obtienen una mayor ganancia de carbono (mediante la fotosíntesis), determinando altas tasas de crecimiento y mayor capacidad competitiva.

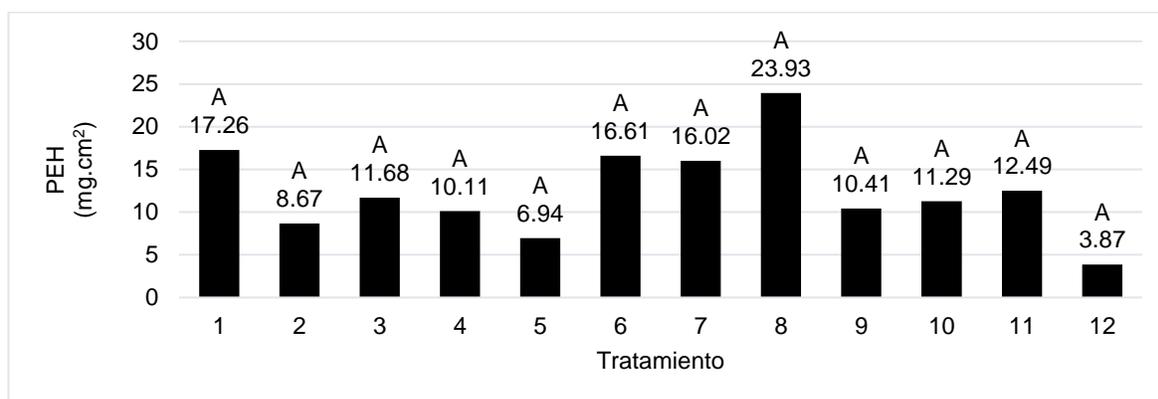


Figura 11 Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso específico hoja, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

4.2.2 Variables fisiológicas del tallo: volumen tallo, peso fresco tallo (PFT), peso seco tallo (PST) y peso específico tallo (PET).

Respecto a las variables relacionadas con el tallo se encontró que no hubo diferencias estadísticas significativas, pero al revisar los promedios por variable, el tratamiento que generó el mayor volumen de tallo fue el T₄ (30 g 15-15-15) con 523.33 cm³ seguido del T₃ (15 g 15-15-15) con 465.0 cm³ y el menor, T₁₂ (30 g sulfato de amonio) con 96.67 cm³ (Figura 12).

Al analizar la correlación de Pearson encontramos que el volumen de tallo presenta una correlación positiva de $r = 0.82$ con respecto al número de hojas. Cerdas-Ramírez (2017) en su investigación sobre la extracción de nutrientes y productividad de Moringa, sugiere que al realizar aplicaciones de fertilizantes nitrógenos, la relación hoja y tallo mostraran incremento. Cañi (2016) menciona que el tallo se constituye por tres sistemas de tejidos: el protector, el fundamental y el conductor, siendo parte fundamental para el transporte de la savia bruta (xilema) y savia elaborada (floema) partiendo desde la raíz hasta las partes superiores de la planta. Quiroz *et al.* (2014) indican que al tener un buen volumen de tallo durante la primer etapa de vida, la planta se ve favorecida ante el aumento de número de hojas debido a la absorción y conducción de agua y nutrientes, aumentando el índice de calidad durante la viverización.

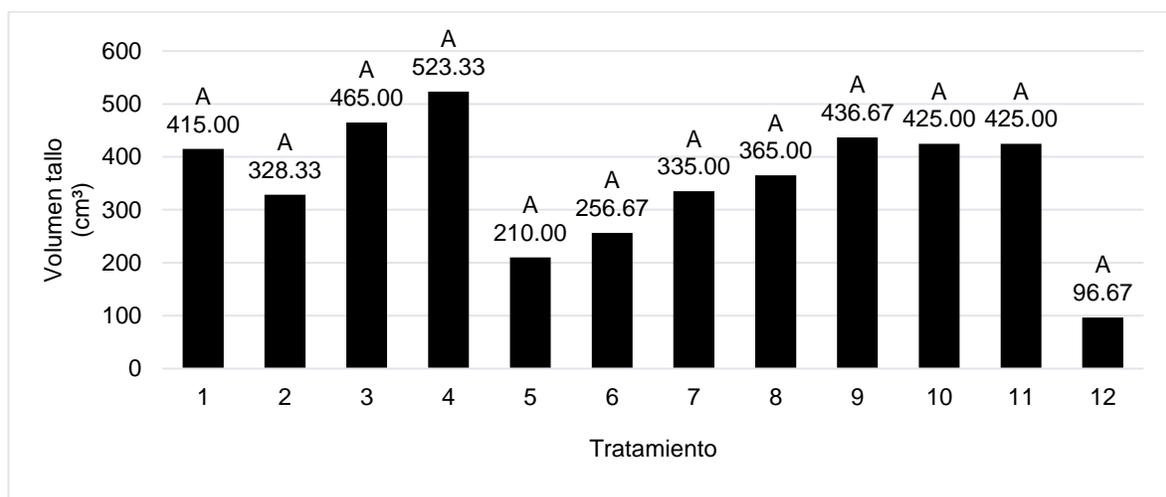


Figura12. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable volumen de tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

En la variable peso fresco de tallo de Moringa el tratamiento que presentó el mayor peso en gramos fue el T₃ con 479.5 g seguido de T₄ con 424.4 g y mientras que el menor valor lo reportó el T₁₂ con 101.2 g (Figura 13). Duarte (2015) menciona que la planta de Moringa a los 70 ddg alcanza un promedio de 270 g de PFT, señalando que el tallo es suculento a pesar de ser una planta perenne, menciona además que la planta de Moringa presenta un crecimiento acelerado.

Al estudiar Luna (2019) el establecimiento de un método eficiente de estandarización de la germinación in vitro de Moringa menciona que el PFT es un buen estimador del volumen de tallo, dado que en general las variaciones de peso específico son bajas. De tal forma, coincide con el coeficiente de correlación de Pearson que presentó una correlación positiva con respecto al volumen de tallo alcanzando $r = 0.87$, lo que sugiere que aumenta la capacidad de absorción y acumulación de nutrientes gracias al xilema y floema con respecto al desarrollo del tejido (Bonifacio 2020).

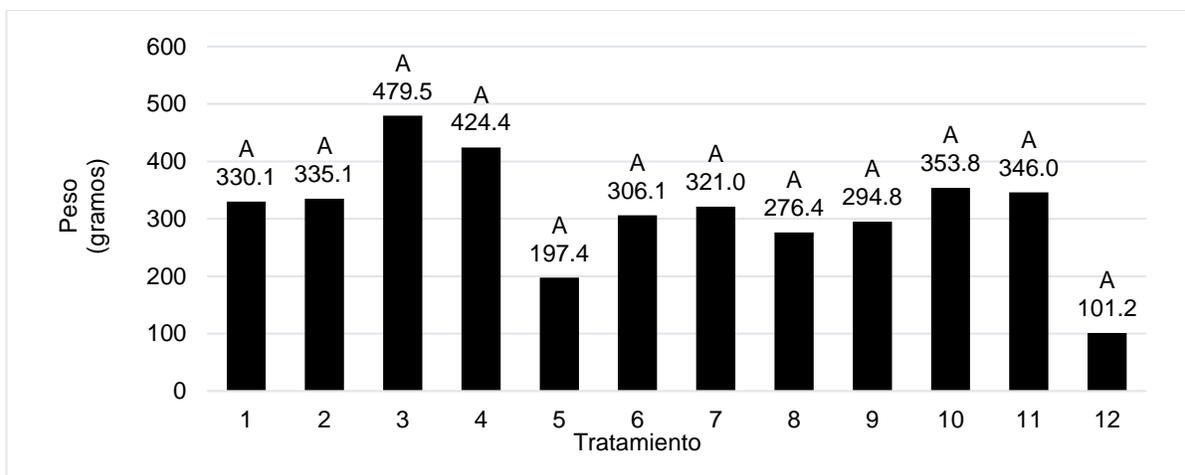


Figura 13. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso fresco de tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

Para el peso seco de tallo no existieron diferencias estadísticamente significativas, ya que mantuvo la misma tendencia del PFT; el mayor valor fue el T₃ con 408.5 g, el seguido por el T₄ con 360.6 g y el menor el T₁₂ con 84.7 g; encontrando una pérdida de humedad aproximada del 15 % (Figura 14). Duarte (2015) reportó que la planta de Moringa a los 70 ddg alcanza un promedio de 270 g de PFT.

Al aplicar el coeficiente de correlación de Pearson se obtuvo que el PST posee una dependencia entre volumen de tallo y PFT dando como resultado $r = 0.88$ Y $r = 0.99$ respectivamente. El peso seco se convierte en un muy buen estimador del volumen ya que en general las variaciones en el peso específico de los tejidos vegetales son bajas. Por otra parte, el agua es el principal componente en casi todos los órganos y tejidos, por lo que el PFT tiene estrecha relación con el PST al someterse a altas temperaturas durante un periodo de tiempo, lo que permite analizar importantes aspectos de su fisiología (Luna 2019).

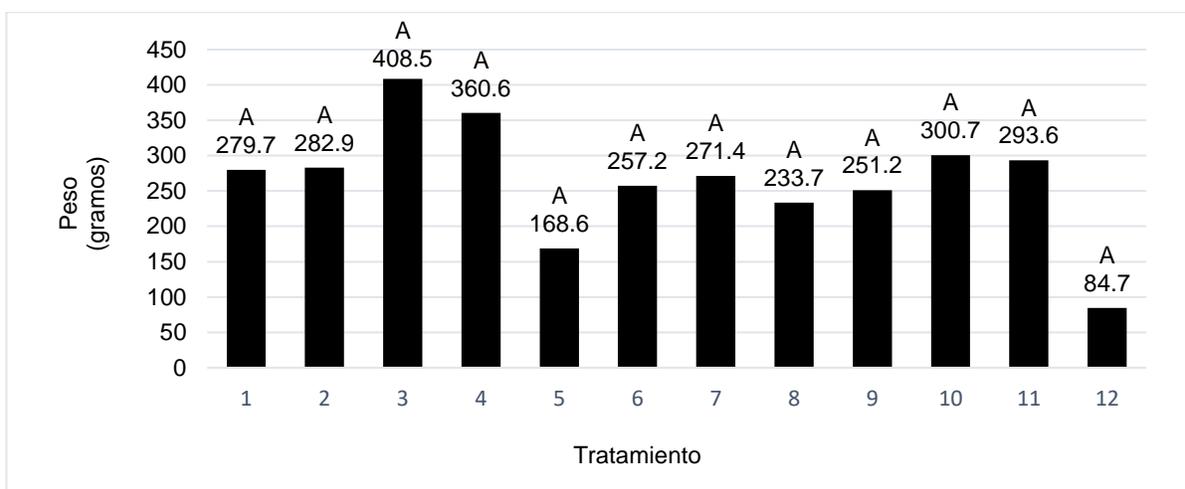


Figura 14. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso seco tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

En los promedios del peso específico de tallo de Moringa, se encontró que el tratamiento que dio mejor respuesta en dicha variable fue el T₆ (5 g de 16-20-0) el cual presentó 108.9 mg.cm³, seguido del T₁₂ con 88.8 mg.cm³ y el tratamiento con el menor valor el T₈ (30 g 16-20-0) con 70.3 mg.cm³ (Figura 15). Núcleo DiverSus (s.f) sugiere que el PET es fundamental en el compromiso funcional entre supervivencia y crecimiento de las plantas; por lo que, al tener un bajo PET como el T₈, indica que los vasos de conducción son grandes y que el crecimiento de la planta tiende a ser acelerado, lo que permite un crecimiento aceptable a un bajo costo de construcción volumétrica. Por otra parte, un alto PET como el T₆, revela que la presencia de vasos de conducción pequeños tiene estrecha relación con una mayor supervivencia debido a que permite una mayor seguridad hidráulica y biométrica, lo que favorece a la resistencia frente a patógenos o daño físico. Al mismo tiempo, en combinación con otros caracteres como el tamaño permite la acumulación de carbono en la biomasa vegetal.

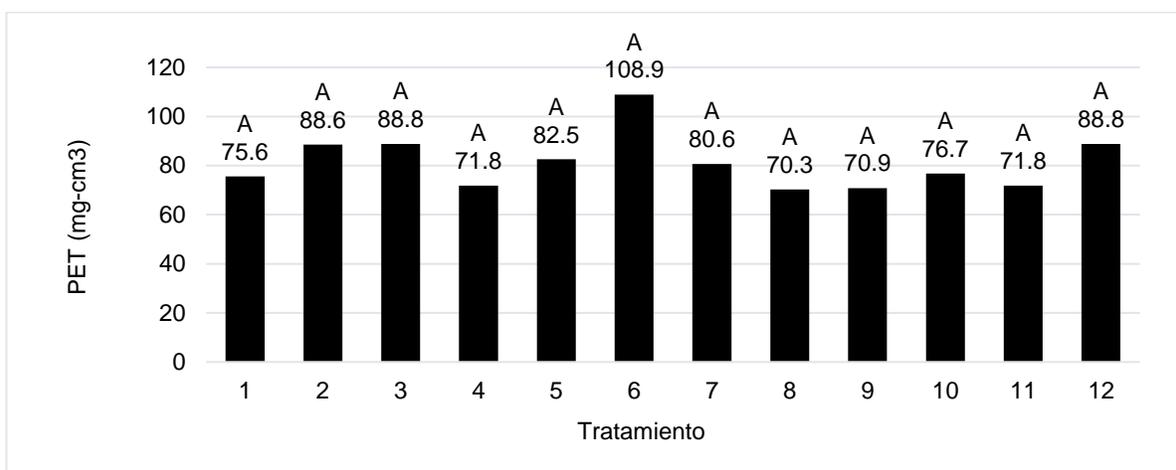


Figura. 15. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso específico tallo, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

4.2.3 Variables fisiológicas raíz: longitud raíz, volumen raíz, peso fresco raíz (PFR), peso seco raíz (FSR) y peso específico de raíz (PER).

En las variables fisiológicas de raíz, no se encontraron diferencias estadísticas significativas, pero al evaluar los promedios (Cuadro A-4) encontramos que en la longitud de raíz existieron tratamientos que presentaron mejores respuestas. Mediante el método destructivo se observó que el T₁₀ (5 g sulfato de amonio) y T₁₁ (15 g sulfato de amonio) presentaron los valores más altos con 25.4 cm y 25.2 cm respectivamente, seguidos por el T₉ con 24.9 cm de longitud de raíz. El tratamiento que obtuvo el menor valor fue T₁₂ (30 g sulfato de amonio) con 14.4 cm (Figura 16). UNA-PROMARANGO (2018) en su guía técnica sobre el manejo de viveros de Moringa, determinó que a los 56 ddg se puede obtener una planta con una raíz de 27 cm de longitud, esto al emplear un sustrato compuesto por estiércol bovino y tierra a una relación de 1:1 sin necesidad de aplicar ningún tipo de fertilizante. Menciona también que, a los 56 ddg la raíz se encuentra desarrollada de tal manera que permite el almacenaje necesario de energía encargada del aporte del crecimiento del tallo y hojas. Cervantes (2017), manifiesta en su investigación del efecto de sustratos sobre la propagación sexual de Moringa en etapa de vivero que no obtuvo diferencias estadísticas significativas en la longitud de la raíz de plantas de Moringa al someterlas a diferentes dosis de estiércol bovino. Es preciso mencionar que a mayor masa radicular será mayor el grosor del tallo y habrá más capacidad de translocación, lo que conlleva al aumento del área de las hojas favoreciendo la fotosíntesis y aumentando el calibre de las semillas. Red Agrícola (2017), señala que las cantidades de nitrógeno al suelo

provocan que el crecimiento de las raíces no sea aleatorio, sino que se vea guiado por mecanismos moleculares que detectan la presencia y disponibilidad de nitrato, lo cual explica el comportamiento del T₁₀ y T₁₁ con respecto al resto.

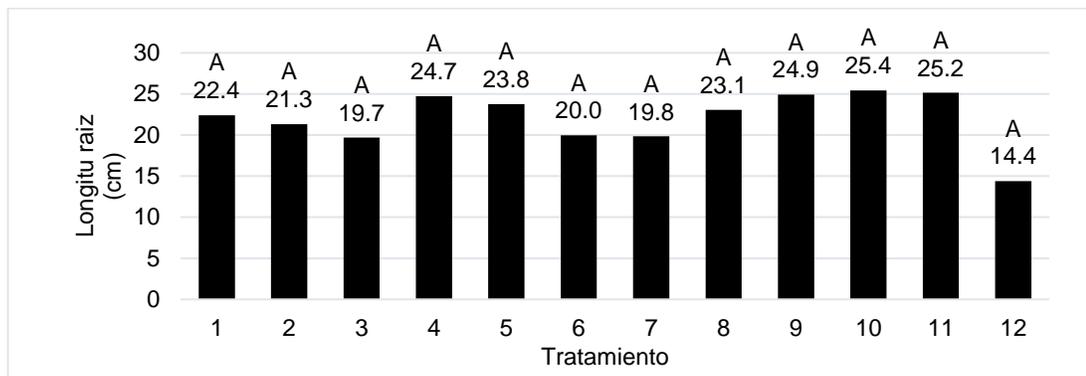


Figura. 16. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable longitud de raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

Al estudiar la variable volumen de raíz de Moringa no se obtuvo diferencias estadísticas, sin embargo, al revisar el promedio del volumen de raíz de se observó que el tratamiento que generó el mayor volumen fue el T₁₁ (15 g de sulfato de amonio) con 223.3 cm³ continuado por el T₄ 30 g 15-15-15) con 185.0 cm³ y el menor volumen lo generó el T₁₂ (30 g de sulfato de amonio) con un valor de 51.7 cm³ (Figura 17). Ante esto Padilla *et al.* (2017) en su estudio referente a los requerimientos agronómicos de la Moringa con enfoque de sistemas ganaderos, reportó que no hay diferencias estadísticas significativas para el volumen en raíz de la planta de Moringa en la que alcanzó 6.37 cm³ en la raíz a los 40 ddg al haber empleado un sustrato libre de fertilizantes y abonos.

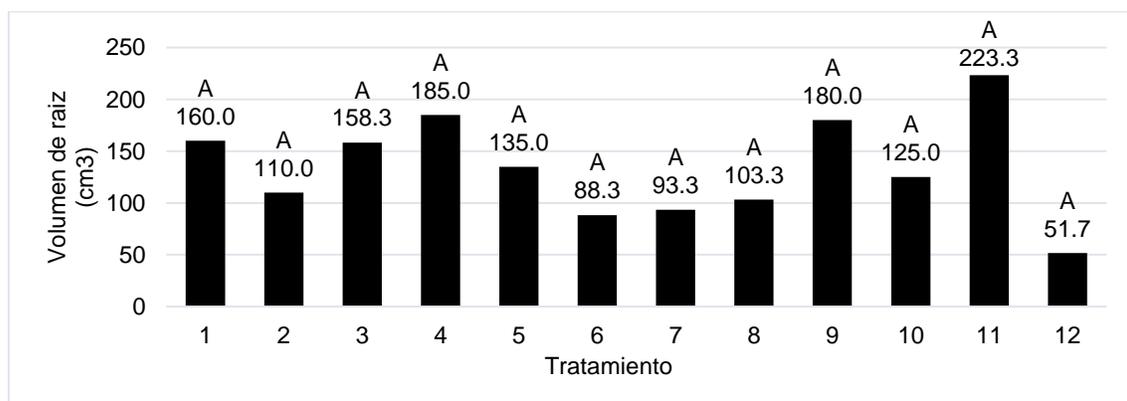


Figura. 17. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable volumen de raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

El análisis de varianza para la variable peso fresco de raíz de plantas de Moringa no presentó diferencias estadísticas significativas, pero los promedios analizados mostraron el comportamiento de cada tratamiento, donde el PFR el T₁₁ tuvo un mayor valor con 220.9 g seguido del T₄ con 190.1 g, superando así al T₁₂ cual presentó un peso de 48.6 g (Figura 18). Duarte (2015) analizó dicha variable a los 14 ddg donde menciona que la raíz tuvo un peso fresco de 1.0 g y que los 21 ddg aumentó a 105.0 g; relacionando estos resultados con una de las características morfológicas que presenta la raíz de la Moringa, ya que, al ser un bulbo parecido a un rábano, da valores altos en poco tiempo.

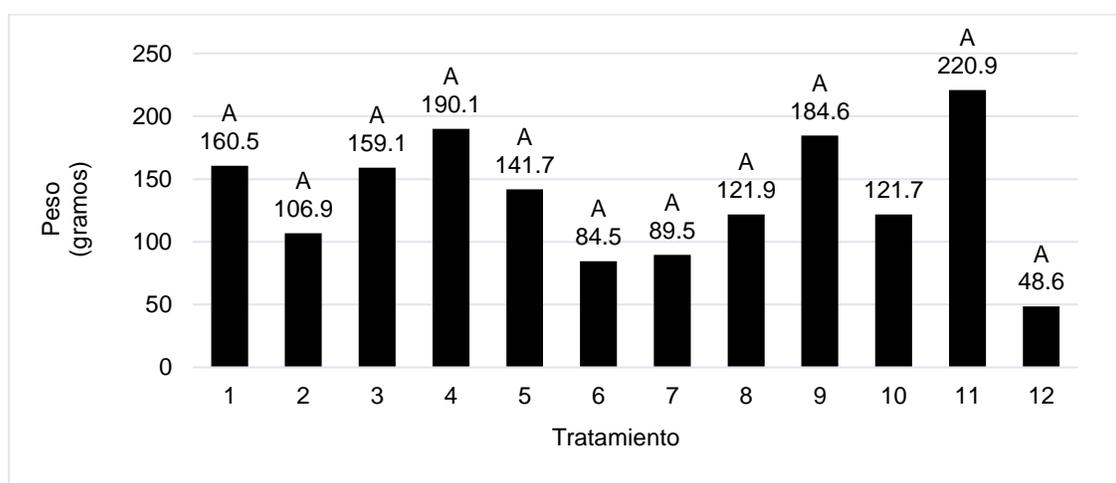


Figura 18. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso fresco raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

Para el peso seco de raíz no se encontraron diferencias estadísticas significativas, pero al verificar los promedios se pudo determinar que la tendencia se mantuvo igual que la del PFR; donde, el mayor valor fue del T₁₁ con 191.53 g, seguido del T₄ con 165.65 g y como valor menor el T₁₂ con 41.18 g por (Figura 19). De acuerdo con Espinoza (2017) quien estableció y desarrolló plantas de Moringa con cinco diferentes macronutrientes mediante el elemento faltante, obtuvo que la materia seca de la raíz disminuyó un 26% con respecto al testigo en plantas de 100 ddg; mientras para este estudio se obtuvo una diferencia del 21.50% con respecto al T₁₂. Alfaro y Martínez (2008) al identificar los usos potenciales de la Moringa, recomiendan realizar aplicaciones de fuentes nitrogenadas con el fin de favorecer la formación de la proteína en la planta ya que estas participan en la regulación de la

transpiración, apertura de estomas, y presenta relevancia en el desarrollo de plantas más resistentes a condiciones de sequía promoviendo el volumen.

El coeficiente de Pearson determinó que existe una correlación positiva de $r = 0.99$ entre las variables de PSR y el volumen raíz. De igual manera, existe una correlación positiva entre el PSR y el PFR de $r = 0.99$; a lo que Gutiérrez *et al.* (2015) en su investigación referente a riegos artesanales y el crecimiento de Moringa, relaciona la efectividad de reserva de agua con la tasa de absorción, ya que origina un mayor potencial productivo, es decir que a mayor volumen de raíz existirá mayor PSR y PFR.

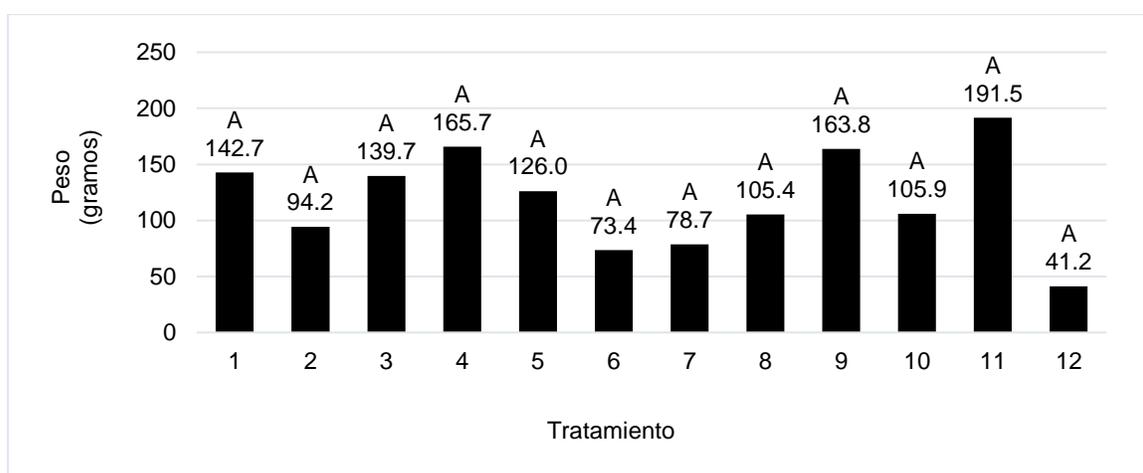


Figura 19. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso seco raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

La variable peso específico raíz no mostro diferencia estadística significativa, pero al analizar los promedios para el peso específico de raíz se encontró que el T_8 (30 g de 16-20-0) fue el mayor valor con 101.3 mg.cm^3 muy cercano del Testigo que alcanzó un valor de 90.8 mg.cm^3 en cambio el T_{12} fue el que generó el menor valor con 78.5 mg.cm^3 (Figura 20). El PER se convierte en un indicador de resistencia y tolerancia de la planta en condiciones de sequía, permitiendo a la planta expresar su potencial de producción de biomasa y de semilla.

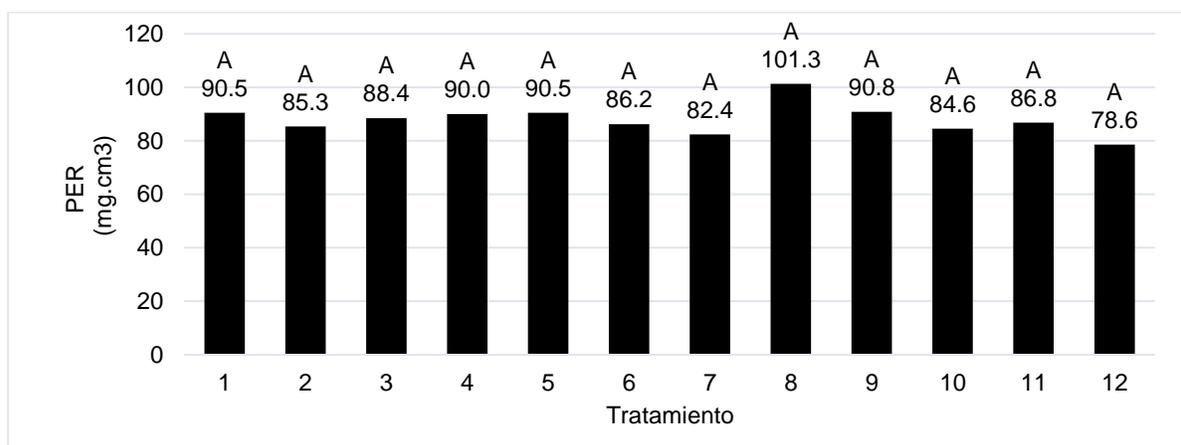


Figura 20. Efecto de las diferentes fuentes: fertilizante y dosis; en la variable peso específico raíz, en plantas de Moringa durante la fase de vivero.

4.3 Composición química de plantas de Moringa.

De las muestras obtenidas de plantas nutridas con cuatro fuentes diferentes, se realizaron los análisis de laboratorio. En el Cuadro 5 se muestra el resumen de los análisis bromatológicos realizado en plantas de Moringa con 89 ddg y tratadas con las diferentes fuentes de fertilizante, estableciendo márgenes entre el menor y el mayor valor encontrado. Dichos análisis fueron: porcentaje de materia seca, porcentaje de ceniza, porcentaje de extracto etéreo, porcentaje de nitrógeno proteico, hierro (ppm) y zinc (ppm).

Cuadro 5. Composición química de plantas de Moringa durante la fase de vivero

Porcentaje Materia seca	Porcentaje Ceniza	Porcentaje Extracto Etéreo	Porcentaje Nitrógeno Proteico	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)
42.19 - 49.35	1.38 - 2.10	6.44 - 7.74	29.53 - 33.12	3.14 - 3.99	0.48 - 0.64

Para materia seca (Cuadro 5 y Figura 21) el menor valor de contenido encontrado correspondió a la Moringa tratada con formula 15-15-15 (42.19 %) y el mayor contenido al testigo (49.35%). Los datos obtenidos coinciden con lo que reportó Cerdas-Ramírez (2017) y el estudio de Ramos-Trejo *et al.* (2015) quienes obtuvieron porcentajes de materia seca del 49.5% y 46.0 % respectivamente; de igual manera, Foidl *et at.* (s.f) obtuvo un promedio de 50.0% de materia seca en su investigación sobre el uso de Moringa como alimento para ganado bovino.

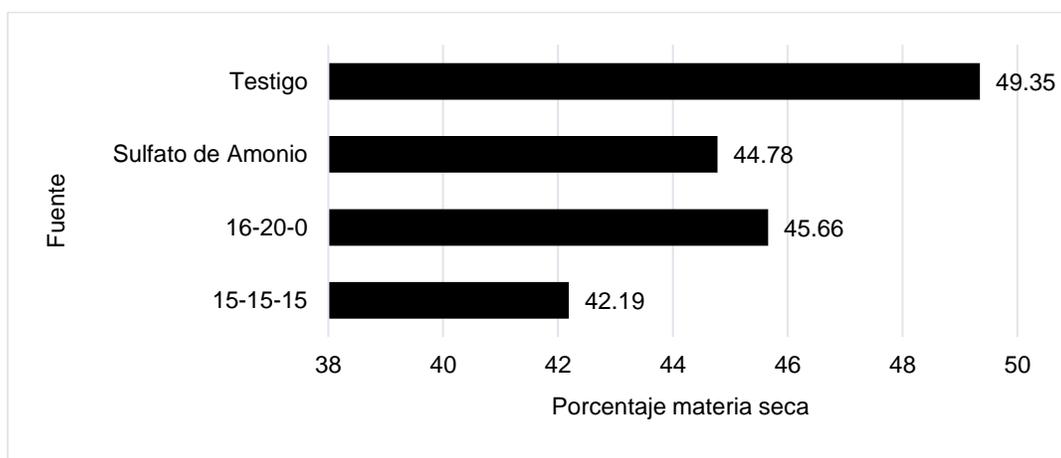


Figura 21. Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido de materia seca, en muestras de Moringa.

En cuanto a la ceniza (Cuadro 5 y Figura 22) la cual representa el conjunto de minerales contenidos en las muestras de Moringa. Se encontraron valores entre 1.38 % y 2.10 %, siendo el valor menor para el Testigo y el mayor correspondiente a la fórmula 16-20-0. Al respecto Guevara y Rovira (2012) al caracterizar tres extractos de Moringa reportaron un valor de 1.76 % de ceniza en plantas de Moringa, detallando la influencia de factores climáticos del lugar donde creció la planta, edad de la planta y sobre todo al tejido o parte de la planta de donde se obtuvo la muestra.

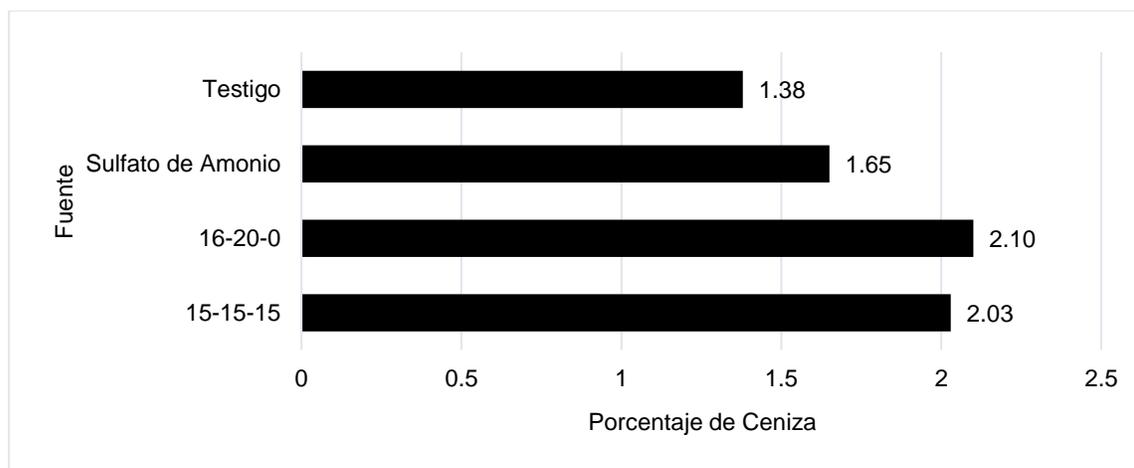


Figura 22. Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido ceniza, en muestras de Moringa.

El análisis de extracto etéreo (Cuadro 5 y Figura 23) el cual es indicador del contenido de grasa; el testigo presentó el menor valor con 6.44 % mientras que los tratamientos con sulfato de amonio el mayor valor con 7.74 % Guevara y Rovira (2012) reportaron 6.30 % de extracto etéreo. Considerando que en esta investigación los valores obtenidos son semejantes, aunque levemente superiores, Guaycha-Perez *et al.* (2017) sugieren que los valores de extracto etéreo no deben de exceder del 12%.

Lambert (2011), describe que el comportamiento de las plantas en cuanto a la absorción de nutrimentos depende de las condiciones en que estas se encuentran expuestas ya que al recibir energía por la degradación de los carbohidratos de la fotosíntesis la planta los almacena en forma de lípidos par su pronta utilización; de igual forma García (1997), expone que las variaciones de contenido de lípidos en plantas de la misma familia o especie se deben a condiciones externas como humedad, nutrientes, luz, temperatura o condiciones internas como la edad, que influyen en el desarrollo de los procesos fisiológicos de las plantas. Los resultados posiblemente se debieron a que en ese momento la planta estaba en un estadio vegetativo donde necesitaba acumular más grasas fabricadas a partir de sus carbohidratos

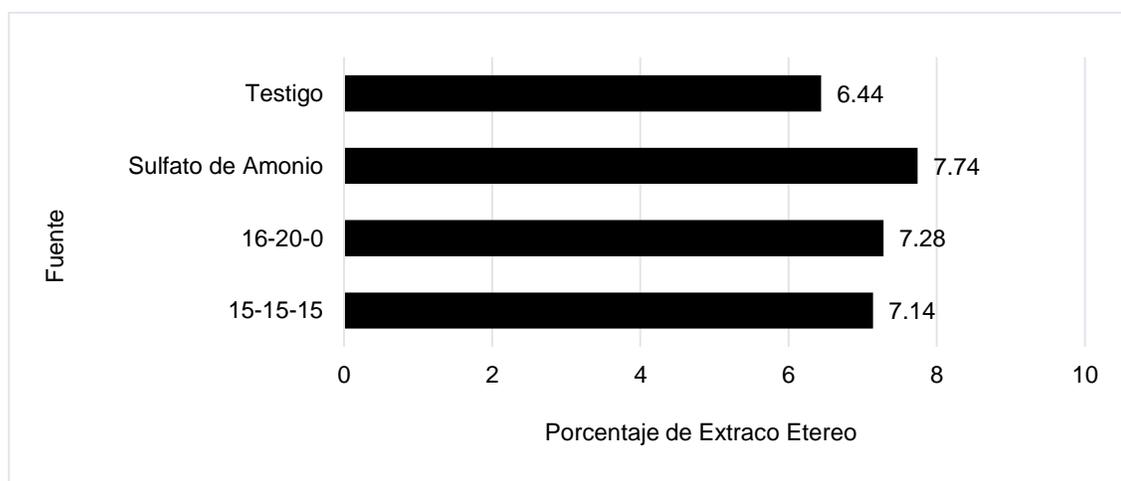


Figura 23.2 Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido extracto etéreo en muestras de Moringa.

En el contenido de nitrógeno proteico se encontró con el mayor valor los tratamientos fertilizados con sulfato de amonio con 33.12 % y el menor valor el testigo con 29.53% (Cuadro 5 y Figura 24); al respecto, Álvarez (2017) señala que dentro del valor nutricional de la Moringa

las hojas secas contienen un porcentaje promedio de 29.46 %. Pero según Diaz *et al.* (2017) tras evaluar el comportamiento de tres procedencias de Moringa, reportaron un promedio de 31.76 % en el follaje. Hinojosa (1973), en su ensayo sobre la influencia del nitrógeno y azufre en el rendimiento de las plantas menciona que el nitrógeno contribuye a la formación de proteínas y posteriormente a la producción de masa protoplasmática presente en los pigmentos de la planta, tales como la clorofila y otros compuestos de las plantas como los aminoácidos, amidas, proteínas y alcaloides. Siendo el nitrógeno un requerimiento para el crecimiento vigoroso de la planta; también menciona que la Moringa especialmente en las etapas tempranas del desarrollo da paso a la formación de tejidos y semillas. Por lo cual, al aumentar la concentración de nitrógeno, aumenta la síntesis de proteínas, contribuyendo al incremento de reservas de la planta debido a que en la fotosíntesis se forman los hidratos de carbono, evidenciando lo expuesto por el autor, ya que los resultados de nuestra investigación, el sulfato de amonio aportó en las plantas un mayor contenido de nitrógeno.

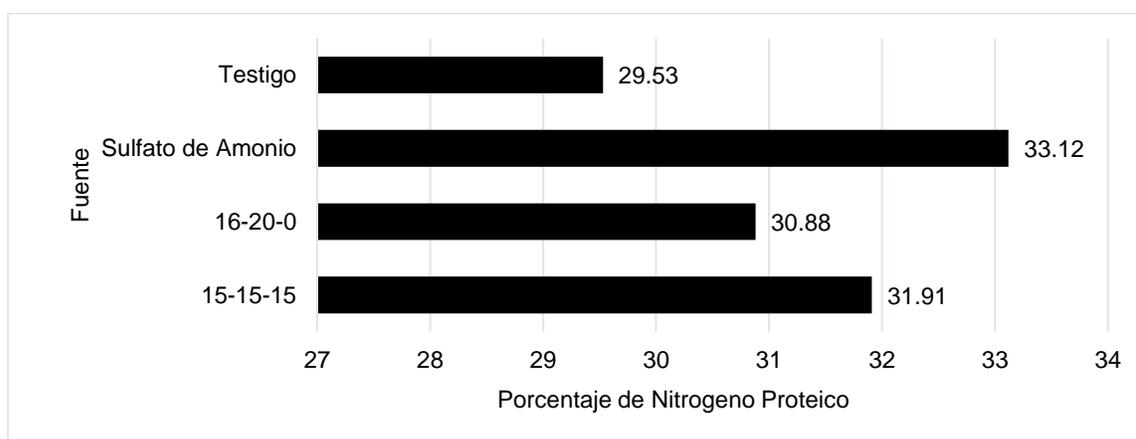


Figura 24 Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido nitrógeno proteico, en muestras de Moringa.

El contenido de hierro y zinc determinado por absorción atómica (Cuadro 5 y Figura 25), demostró que la fórmula 16-20-0 influyó en el mayor contenido de hierro y zinc con valores de 3.99 ppm y de 0.64 ppm respectivamente. El menor valor de hierro se reportó en la fuente de sulfato de amonio con 3.14 %, mientras que zinc fue el testigo con 0.48 %. González (2011) en su valoración cuantitativa de hierro en tres especies del género *Moringaceae* reportó que la *Moringa oleífera* Lam. contiene 1.37% ppm para el contenido de hierro en muestras de Moringa, aclarando que la colecta de las muestras la hizo previo a la floración. Fernández (2007) sugiere que la interacción al aplicar un fertilizante que contiene fósforo, tal el caso de

la fórmula 16-20-0, el fósforo puede interferir en el transporte interno de hierro, formando fosfatos de hierro, que a su vez se encuentra unido a fosfoproteína.

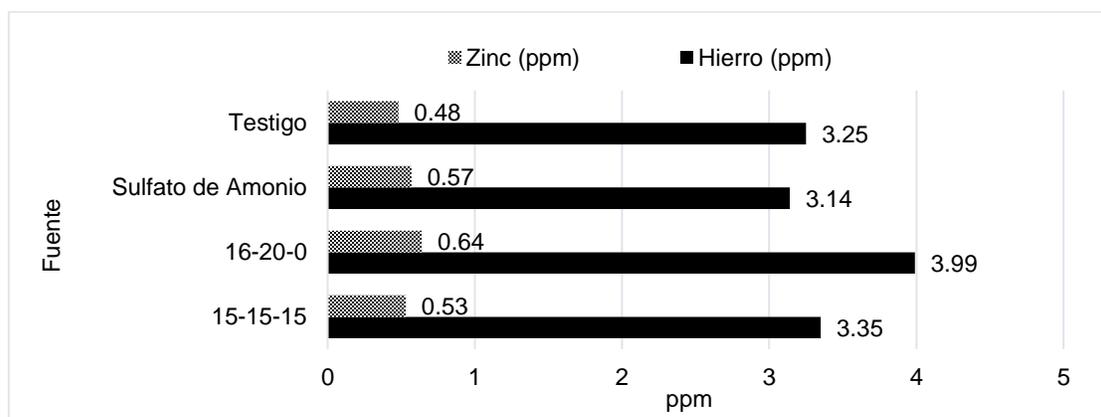


Figura. 25 Efecto de las diferentes fuentes de fertilizante en el contenido de hierro y zinc, en muestras de Moringa.

4.4 Análisis de suelo

Para comprender los resultados es necesario conocer el comportamiento del suelo. Al realizarse los análisis se obtuvieron los siguientes rangos (Cuadro 6)

Cuadro 6. Analisis del sustrato empleado en las plantas de Moringa.

pH	Porcentaje de Materia Orgánica	Porcentaje de Nitrógeno	Porcentaje de Fósforo	Porcentaje de Potasio
4.45 - 6.11	3.48 - 5.42	0.30 - 0.45	0.10 - 0.11	0.15 - 0.11

Al determinar pH en las dos muestras de suelo (Cuadro 6 y Figura 26) se obtuvo al inicio de la investigación un pH de 4.45 y al concluir un pH de 6.11, mostrando claramente que paso muy ácido a ácido. Acevedo (2019) plantea en su evaluación de vainas de moringa que esta especie tiene la habilidad de mejorar las condiciones del suelo optimizando el proceso de degradación, promoviendo un aumento significativo de elementos presentes en el suelo incluyendo las mejoras de pH lo que explica en los resultados obtenidos en las dos muestras de suelo. Vieira *et al.* (1999), sugiere que el estado de acidez del suelo es un factor que afecta la disponibilidad de prácticamente todos los nutrientes. Morell y Candela (1998) mencionan que el comportamiento del pH se ve afectado principalmente al uso de fertilizantes, ya que estos

pueden producir cambios importantes en las propiedades químicas del suelo debido a las fijaciones de elementos al suelo, especialmente en el nivel superficial.

La materia orgánica contiene otros elementos esenciales para la planta tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes; sus valores en porcentaje se vieron disminuidos pasando del 5.42 % al 3.48 % (Cuadro 6 y Figura 26), lo que muestra dos panoramas, el primero: que la planta de Moringa hizo uso de la materia orgánica presente en el sustrato; y el segundo: posibles pérdidas por lixiviación. Olson y Fahey (2011), señalan que la Moringa es un árbol poco exigente con relación al porcentaje de materia orgánica presente en el suelo, tolerando suelos con porcentaje hasta de 0.8 lo que hace alusión a que la Moringa tiene la buena plasticidad para tolerar diversos valores de pH de suelo.

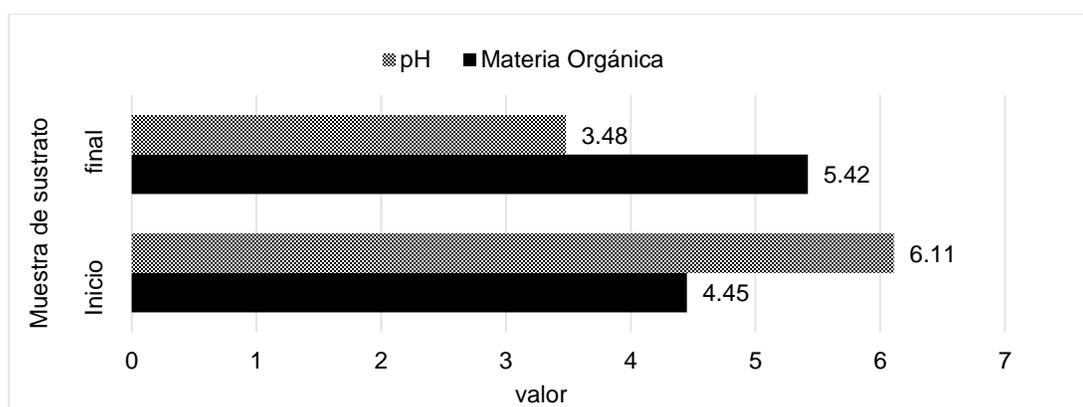


Figura 26. Contenido de pH y materia orgánica en dos muestras de sustrato empleado por plantas de Moringa durante la fase de vivero

El comportamiento del nitrógeno disminuyó de 0.45 % a 0.30% (Cuadro 6 y Figura 27) similar a los resultados de Lok y Suarez (2014) donde en su estudio sobre el efecto de la aplicación de fertilizantes en la producción de biomasa de Moringa no reportaron diferencias estadísticas significativas sugiriendo que esta especie puede realizar altas extracciones de nitrógeno cambiando del 1.18 % hasta 0.15 % de nitrógeno a los 60 ddg, por lo que sugieren que es necesario la aplicación de fertilizantes para contrarrestar el deterioro paulatino de este elemento, conllevando a la aplicación de fertilizantes químicos que suplan los elementos requeridos por la planta u abonos orgánicos que contribuyan a la acumulación de residuos y por consiguiente la acumulación de materia orgánica, lo cual explica del porque la Moringa es una especie de rápido crecimiento.

El fósforo presente en el sustrato se mantuvo con valores generales aproximados a los rangos normales ya que su porcentaje oscila entre 0.01 - 0.10 (Cuadro 6 y Figura 27), es decir, de 100 a 1000 ppm lo que equivale a una aportación entre 250 a 2500 ppm (Ferrando 2013). Lok (2014), hace alusión de que el fósforo se concentra, especialmente, en la materia orgánica, promoviendo el equilibrio de esta, lo que favorece el incremento del contenido de fósforo orgánico.

Otro elemento en estudio fue el potasio donde el resultado de la segunda muestra presentó un aumento porcentual del 0.04 % (Cuadro 6 y Figura 27). Sanzano (s.f), menciona que dicho elemento juega numerosos roles en la nutrición de las plantas, entre ellas destaca el incremento de resistencia a enfermedades. La ganancia de porcentaje de potasio en el suelo se puede deber a tres factores, el primero: la meteorización, por fertilización y por acción biológica (por ejemplo, ciertos bacilos que contribuyen a destruir la estructura cristalina de los minerales, liberando iones; el segundo: La respuesta del cultivo de Moringa también depende en gran medida a la nutrición nitrogenada ya que el nitrógeno, fosforo y potasio son requeridos en cantidades mayores que el resto de los nutrientes por la planta; y un tercero: La relación entre nitrógeno y potasio es aproximadamente 2:1, donde el continuo incremento del uso de fertilizantes nitrogenados implica la aplicación de potasio con la misma tasa de aumento. Caso contrario se cumple con la ley del mínimo de Liebig, que indica que el rendimiento de los cultivos está regulado por el factor más limitante y que el rendimiento se puede incrementar únicamente con la corrección de ese factor limitante. Cuando esta limitación se ha corregido, los rendimientos pasan a ser regulados por el siguiente factor limitante. Incrementos posteriores en rendimiento ocurrirían solamente si este factor es corregido. Este proceso se repite con incrementos de rendimientos escalonados hasta que no existan factores limitantes (Wallace 1993).

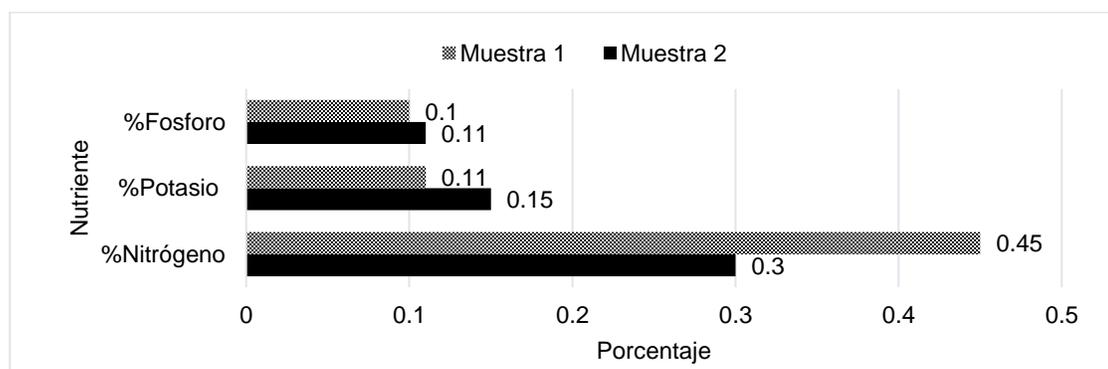


Figura 27. Contenido de nitrógeno, fosforo y potasio en dos muestras de sustrato empleado por plantas de Moringa durante la fase de vivero.

4.5 Análisis Económico

4.5.1 Analisis de costos.

De acuerdo con la información vertida, el tratamiento que presentó el menor costo de producción fue el Testigo, generando \$0.27 de costo por planta y un beneficio de \$0.58 al igual que el T₁₀ (5 g sulfato de amonio) y el T₂ (5 g 15-15-15), con la diferencia que el costo de producción fue de \$0.29; mientras que los tratamientos que generaron mayor costo fue el T₄ (30 g 15-15-15) y el T₈ (30 g 16-20-0) con \$0.32 en ambos casos, generando ambos un beneficio de \$0.53 al tener un valor de venta de \$0.85 (Cuadro A-4).

4.5.2 Analisis de dominancia.

Obsérvese que los tratamientos dominados se ordenaron en una escala ascendente de los totales de los costos que varían (Figura 28). Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos (CIMMYT 1988).

El análisis de dominancia determinado para los diferentes tratamientos, demostró que existieron seis tratamientos dominados, los cuales fueron: T₃, (15 g 15-15-15), T₄ (30 g 15-15-15), T₇ (15 g 16-20-0), T₈ (30 g 16-20-0), T₁₁ (15 g sulfato de amonio) y por último el T₁₂ (30 sulfato de amonio), dado a su alto costo en relación a los demás tratamientos, dicho análisis también mostró que el tratamiento Testigo represento menores costos para la producción de plantas de Moringa a nivel de vivero, seguido del T₂ (5 g 5 g 15-15-15), T₆ (5 g 16-20-0) y el T₁₀ (5 g sulfato de amonio).

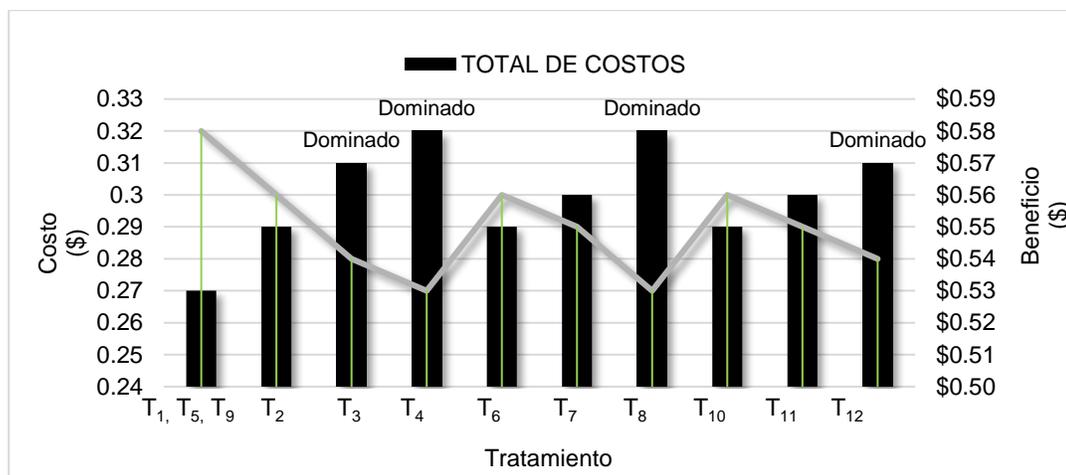


Figura 28. Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en plantas de Moringa durante la fase de vivero

4.5.3 Analisis de tasa de retorno marginal

Cerna y Molina (2017) mencionan que la tecnología empleada influye directamente el comportamiento del capital que se podrá recuperar de la inversión. Al identificar los beneficios y costos de los diferentes tratamientos, mediante el efecto en el ingreso total, se pudo seleccionar las mejores respuestas involucrando el factor económico y características, siendo la primera opción el tratamiento Testigo; donde, según los cálculos, por cada dólar americano que el productor invierta para producir una planta de Moringa en fase de vivero con el respectivo fertilizante evaluado en el tratamiento, puede esperar recuperar lo invertido y obtener \$0.68 adicional. Dicho comportamiento ocurre para el tratamiento testigo quien tuvo un costo de producción de \$0.27 y también para los T₁₀ (5 g sulfato de amonio) T₆ (5 g 16-20-0), T₂ (5 g 15-15-15) los cuales tuvieron un costo de producción de \$0.29 (Figura 29).

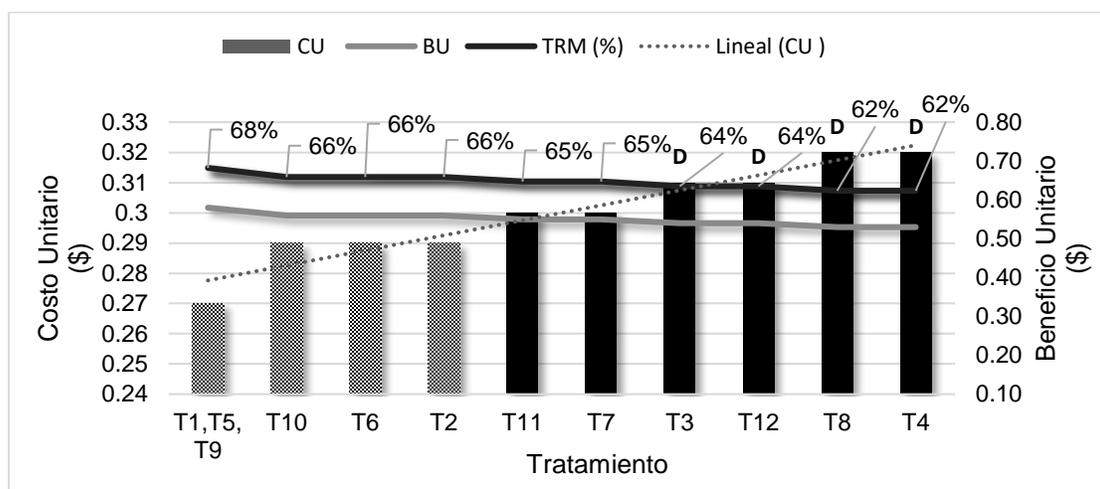


Figura 29. Analisis de tasa de retorno marginal por tratamiento en plantas de Moringa en fase de vivero

Por lo tanto, para recuperar el costo de inversión del tratamiento testigo se necesita vender 11 plantas a un precio de \$0.85 al igual que para el T₁₀, T₆ y el T₂. El beneficio bruto total se obtuvo al restar la venta total menos el costo total de producción (Cuadro 7).

Cuadro 7. Unidades a vender para recuperar inversión y beneficio bruto total por tratamiento.

Tratamiento	Fuente	Dosis (g)	Costo total (\$) 30 unidades	Precio venta unitario (\$)	Unidades a vender para recuperar inversión	Beneficio Unitario (\$)	Venta total (\$) 30 Uni.	Beneficio bruto total (\$) 30 unidades
T ₁ , T ₅ , T ₉	Testigo	0	8.19	0.85	10	0.58	25.5	\$17.31
T ₁₀	Sulfato de amonio	5	8.64	0.85	11	0.56	25.5	\$16.86
T ₂	Formula 15-15-15	5	8.64	0.85	11	0.56	25.5	\$16.86
T ₆	Formula 16-20-0	5	8.70	0.85	11	0.56	25.5	\$16.80
T ₁₁	Sulfato de amonio	15	8.86	0.85	11	0.55	25.5	\$16.64
T ₇	Formula 16-20-0	15	9.06	0.85	11	0.55	25.5	\$16.44
T ₁₂	Sulfato de amonio	30	9.17	0.85	11	0.54	25.5	\$16.33
T ₃	Formula 15-15-15	15	9.24	0.85	11	0.54	25.5	\$16.26
T ₈	Formula 16-20-0	30	9.51	0.85	12	0.53	25.5	\$15.99
T ₄	Formula 15-15-15	30	9.63	0.85	12	0.43	25.5	\$15.87

4.5.4 Analisis de equilibrio estadístico

El equilibrio estadístico ocurre donde se intercepta el beneficio bruto total y la línea de regresión lineal del costo, siendo el punto de combinación tecnológica, es decir, que todas las combinaciones a la izquierda de ese punto es donde se obtiene el mayor beneficio bruto, por lo tanto podemos determinar el tratamiento testigo es el más alejado de ese punto seguidamente del T₁₀, a diferencia de todas las combinaciones a la derecha de ese punto, donde el beneficio disminuye, en este caso, los tratamientos dominados, son aquellos que ofrecen un menor beneficio con respecto al resto de tratamientos evaluados (Figura 30).

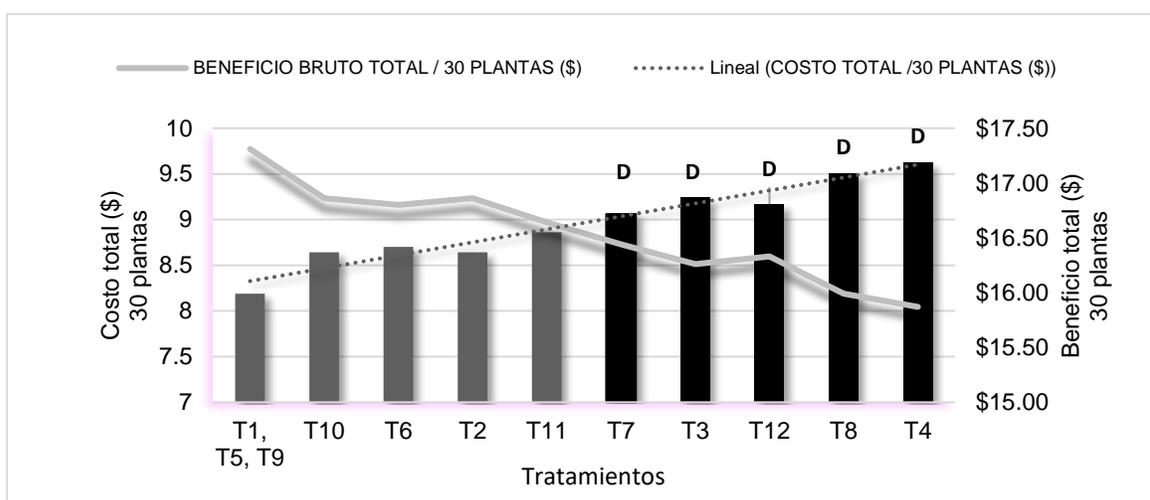


Figura. 30 Analisis de equilibrio estadístico por tratamiento empleado en Moringa durante la fase de vivero

5. CONCLUSIONES

Al evaluar las diferentes fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio en plantas de Moringa (*Moringa oleífera* Lam.) durante la fase de vivero, se obtuvo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables estudiadas; sin embargo, al analizar los promedios mediante la prueba de Tukey, se obtuvo que al emplear un sustrato basado en tierra negra y estiércol bovino a una relación 1:1 con 5.42 % de materia orgánica (extremadamente rico), pueden obtenerse plantas con características aceptables en altura de planta, diametro de tallo y área foliar a nivel de vivero; seguido de aquellas fuentes donde se aplicó dosis única de 5 g de 15-15-15 (0.75 g de N, 0.75 P₂O₅, 0.75 K₂O), 5 g de 16-20-0 (0.80 g de N, 1 P₂O₅, 0 K₂O), y 5 g de sulfato de amonio (1.05 g de N, 0 P₂O₅, 0 K₂O).

Al emplear un sustrato con tierra negra y estiércol bovino (1:1) con 5.42 % de materia orgánica se obtiene a los 88 días después de germinado plantas con 124 cm de altura, 1.30 cm diametro de tallo y 19 hojas por planta. Mientras que al aplicar 5 g de 15-15-15 (0.75 g de N, 0.75 P₂O₅, 0.75 K₂O) se obtiene: 117.08 cm de altura, 1.24 cm de diametro y 20 hojas por planta; al aplicar 5 g de 16-20-0 (0.80 g de N, 1 P₂O₅, 0 K₂O) 114 cm de altura, 1.12 cm de diametro y 18 hojas por planta; mientras que al suministrar 5 g de sulfato de amonio (1.05 g de N, 0 P₂O₅, 0 K₂O) se obtiene 120cm de altura, 1.49 cm de diametro y 19 hojas por planta.

La respuesta fisiológica al aplicar un sustrato (1:1) con 5.42% de materia orgánica es que se logra obtener un peso específico en hojas, tallo y raíz de 17.26 mg.cm², 75.6 mg. cm³ y 90.80 mg. cm³.

El tratamiento que presentó una mejor relación de costo-beneficio fue el testigo con \$0.27 y \$0.58 con una tasa de retorno marginal del 68%, seguido de aquellos donde se aplicó 5 g de fertilizante químico, es decir: 15-15-15 de (0.75 g de N, 0.75 P₂O₅, 0.75 K₂O), 16-20-0 (0.80 g de N, 1 P₂O₅, 0 K₂O) y sulfato de amonio (1.05 g de N, 0 P₂O₅, 0 K₂O) con \$0.29 en costo de producción y \$0.56 de beneficio, todos ellos con una tasa de retorno marginal del 66%.

6. RECOMENDACIONES

Si el sustrato empleado por el viverista contiene valores inferiores al 5.42 % de materia orgánica o con el fin de reforzar la nutrición puede aplicarse fuentes de NPK en dosis de 5 g de tales como los fertilizantes químicos 15-15-15 (0.75 g de N, 0.75 P₂O₅, 0.75 K₂O), 5 g de 16-20-0 (0.80 g de N, 1 P₂O₅, 0 K₂O), y 5 g de sulfato de amonio (1.05 g de N, 0 P₂O₅, 0 K₂O) con el fin de obtener mejoras en altura de planta, diametro de tallo y numero de hojas.

Respetar los intervalos de aplicación y la dosis de 5 g ya que un aumento de este provoca defoliación cuando la planta se encuentra por debajo de 150cm. De igual forma, tener buenas prácticas agrícolas con el fin de controlar la presencia de plagas y enfermedades, además de plantas que se rivalizan nutricionalmente. También con el fin de reducir la defoliación causada por el estrés hídrico, realizar riegos según el sustrato lo requiera. Además, considerar el crecimiento acelerado de la *Moringa oleífera* Lam., mediante siembra escalonada con el fin de tener siempre una oferta disponible para el mercado.

Basados en los resultados, realizar futuras investigaciones con fuentes orgánicas (composición química previamente determinada) con el fin de determinar la respuesta al emplear gallinaza, composta, lombricompos, bokashi, foliares, otros; así como sus dosis. También, realizar un análisis completo de suelo donde se incluya Ca, Mg, Al; además de evaluar micorrizas. De igual manera evaluar la *Moringa oleífera* Lam. como una alternativa de enmienda orgánica en suelo para la remediación de la acidez (pH).

7. BIBLIOGRAFIA

Abdoul N. 2014. Propiedades Fungicidas, bactericidas y aglutinantes de las semillas de Moringa (en línea). Tesis Dr. Santa Clara, Cuba. Consultado 8 sept. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/36foTym>

Acevedo M. 2019. Evaluación del efecto de vainas de *Moringa oleífera* Lam. (en línea). Tesis Ing. Agr. Bucaramanga. España. Consultado el 17 marzo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3blyssu>

Acosta E., Acosta J., Amador M., Padilla J. 2008. Relación entre el índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. México. Revista agricultura técnica en México. 34 (1)13-20p

Albuja D. 2012. Determinación de hierro y zinc por absorción atómica de llama en tejidos y viseras de cobayos alimentados con alfalfa (en línea). Tesis. Lic. Consultado el 17 de abril 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2ywg5ZE>

Alfaro N.; Martínez W. 2008. Uso potencial de la *Moringa oleífera* Lam para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados (en línea). Guatemala. 11p

Álvarez A. 2017. Valor nutricional de la *Moringa oleífera* Lam. Mito o realidad. (en línea). Tesis. Ing. Quito Ecuador. Consultado el 25 dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2ZRKtqt>

Alzugaray P., Haase D., Rose R. 2004. Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)). (en línea). Consultado el 17 sept 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2TQkvSx>

Amaro J., García E., Enríquez J., Quiroz J., Quero A., Pérez J., Hernández A. 2004. Analisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto *Brachiaria hibrido* cv. Revista Agricultura Técnica. México. 42(3): 447-458.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Virginia. USA. 15ª Edición.

Audesirk T.; Audesirk G.; Byers B. (S.f) Biología. La vida en la tierra. 470 p.

Barraza F. 2017. Germinación de semillas de *Moringa oleífera* Lam en diferentes tiempos de imbibición en agua (en línea). Revista UDCA Actualidad y divulgación científica. 20 (1): 71-77. Consultado el 21 de abril 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3d4YXso>

Barrera L., Navia S., Ñustez C. 2007. Efecto de niveles de fosforo y potasio sobre el rendimiento de los cultivos (en línea). Nariño. CO. Consultado 26 de mayo 2018. Disponible en: <https://goo.gl/3Jjvdn>

Bonifacio M. 2020. Anatomía y función del tallo (en línea, curso). Uruguay. 1 hr., 18 seg., 27 seg. Son., color. Consultado 25 de may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3B3d8v4>

CAJAMAR (Caja Rural). 2016. Moringa: árbol multiusos de interés forestal para el sur de la península ibérica (en línea). Madrid. ES. Consultado 8 marzo 2017. Disponible en: <https://goo.gl/YzH8Et>

Canett, R.; Arvayo, K.; Ruvalcaba, N. 2014. Aspectos tóxicos más relevantes de *Moringa oleífera* Lam y sus posibles daños (en línea). Querétaro. MX. Consultado 8 marzo 2017. Disponible en: <https://goo.gl/X1mr4c>

Cañi J. 2016. Botánica: el tallo (en línea, curso). Peru. consultado 21 de may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3kkAgPS>

Castellanos P., Márquez M. 2002. Avances en calidad ambiental. Editorial Universidad de Salamanca. España. 331p

Castro A. 2013. El árbol de Moringa: una alternativa renovable para el desarrollo de los sectores económicos y ambientales. Tesis Maestría. Bogotá. CO. Universidad Militar Nueva Granada. 7-10 p.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1997. Manejo de Madero Negro (*Gliricidia sepium*) Walp. en regeneración natural. Noticias agroforestales. Agroforestería en las Américas 4 (15):29p

CCT (Centro Científico Tecnológico) - Concicet Mendoza. 2011. Enciclopedia: fertilizante (en línea). Mendoza. AR. Consultado 1 diciembre 2017. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Fertilizant.htm>

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA). 2018. Guía de procedimientos para el análisis económico en la investigación agropecuaria (en línea). El Salvador. Consultado el 28 de dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/3016YcU>

Cerdas-Ramírez R. (2017). Extracción de nutrientes y productividad de Moringa con varias dosis de fertilización nitrogenada. Revista científica InterSedes. Costa Rica. Volumen 18. Número 38. 145-163 p.

Cerna J., Molina S. 2017. Fundamentos económicos de los negocios. El Salvador. 251-268.

Cervantes P. 2017. Efecto de sustratos sobre la propagación sexual de *Moringa oleífera* Lam en etapa de vivero. Tesis Ing. Vinces-Ecuador. 23 p

CIAT (Centro Internacional para la Agricultura Tropical). 1988. Biología aplicada. (en línea). Consultado el 13 de mayo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/36DqGhS>

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual Metodológico de evaluación económica (en línea). México. Consultado el 03 ene 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3a4VF86>

CK-12. (s.f). Crecimiento de las plantas (en línea). Consultado el 1 de mayo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2SJ1BMX>

COOPI (Cooperación Internacional Laica e Independiente), EC. EHCO (Dirección General de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea). EC. 2001. Comer del monte la Moringa: un árbol multiuso para el Chaco Central (en línea). EC. Consultado 8 marzo 2017. Disponible en: <https://goo.gl/zd61Bo>

Dadid Summ. 2019. *Moringa oleífera* Lam: manual de siembra, cuidados, usos y aplicaciones (en línea). Bogotá. CO. Consultado 1 diciembre 2017. Disponible en: <https://bit.ly/2zli6SZ>

Daza M., Diaz J., Aguirre E., Urrutia N. 2015. Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. Revista colombiana de ciencias hortícolas 9 (1) 112-123.

Díaz C. 2010. Efecto de la fertilización nitrogenada y la densidad de siembra sobre la producción de biomasa y composición química del Marango (*Moringa oleífera* Lam) en suelo arcilloso (en línea). Tesis Ing. Agr. Chontales, Nicaragua. Consultado el 17 dic 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2QG85Kq>

Díaz D., Rodríguez A., Díaz A. 2017. Comportamiento de tres procedencias de *Moringa oleífera* Lam. en el ecosistema de Topes de Collantes. Revista Tlatemoani 26. 9-21p

Duarte C. 2015. Evaluación del comportamiento de dos especies forrajeras Marango y Leucaena en la fase de vivero de la Universidad Nacional agraria (en línea). Consultado 21 agosto 2019. Tesis Ing. Managua. Nicaragua. Disponible en: <http://bit.ly/2Rtmk7C>

Espinoza L. 2017. Establecimiento y desarrollo vegetativo de *Moringa oleífera* Lam, utilizando deficiencias de cinco macronutrientes mediante el método del elemento faltante (en línea). Tesis. Nuevo León. Nicaragua. 92-94p Disponible en: <https://bit.ly/2XbBrVF>

FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f. Utilización de *Moringa oleífera* Lam como forraje fresco (en línea). Consultado 30 abril 2017. Disponible en: <https://goo.gl/MKgpuM>

Fernández K., Elizabeth M. 2006. Evaluación de la calidad nutricional y desarrollo vegetativo de zanahoria y lechuga cultivadas con técnicas de agricultura limpia (en línea). Chapetón-Ibagué. Colombia. UGC. 142 p. Consultado 12 oct 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2JZKTYt>

Fernández M. 2007. Fosforo: amigo o enemigo (en línea). Revista Científica de América Latina. Habana. Cuba. ICIDCA (Instituto de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar). Consultado: 16 oct 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3r0QxKL>

Ferrando M. 2013. Fósforo (en línea). Consultado 28 de dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2tzjHr3>

Fisk S. 2018. Los Exudados de la raíz afectan la estabilidad del suelo y la repelencia al agua. (en línea). Consultado el 17 de marzo 2020 Disponible en: <https://bit.ly/3eO7hi9>

Foidl N., Mayorga L., Vásquez W. sf. Utilización del Marango (*Moringa oleífera*) como forraje fresco para ganado (en línea). Consultado 12 oct 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2JRkqwk>

Gallego L., Pérez J. Producción ovina y caprina. 1994. Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha. España 305 p

Garcés F., Forcelini C. 2011. Peso de hojas como herramienta para estimar área foliar. (Revista ciencia y tecnología 4(1): 13-18p.

García I., Mora J., Holguín V. 2016. Árboles y Arbusto para silvopasturas uso, calidad y alometría: Desempeño productivo de la *Moringa oleífera* Lam en la etapa de vivero y transplante (en línea). Tolima. Colombia. Editorial Universitaria del Tolima. Consultado el 8 de mayo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3bd5K29>

García M., Quevedo H. 2018. Efecto de fertilización (NPK) con dos enmiendas orgánicas en la producción de materia verde del cultivo de *Moringa oleífera* Lam. Tesis Ing. Oxapampa. Perú. 49-51 p.

Geoff F., Sutherland J. 1996. *Moringa oleífera* Lam: un árbol con enormes potencialidades (en línea). San José, CR. Consultado 8 marzo. 2017. Disponible en: <https://goo.gl/wlyTKU>

GFU (Global Facilitation Unit). s.f. *Moringa oleífera* Lam. (en línea). Disponible en: <http://bit.ly/2RurCjd>

Gonzales F., Bordas M., 2008. Efectos de dos horas de corte y diferentes frecuencias de corte sobre la composición química del Marango (*Moringa oleífera* Lam.) (en línea). Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Consultado el 23 de mayo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2XIUtlv>

Gonzales V. 2014. Comportamiento de dos poblaciones de *Moringa oleífera* Lam (material acriollado y mejorado PKM1) en sus primeras etapas de vida en condiciones de vivero (en línea). Tesis Managua. Nicaragua. Disponible en: <https://bit.ly/3gy09at>

Gonzales y Rodríguez, s.f. Efecto de la aplicación de nitrógeno y de estiércol bovino sobre la tasa de crecimiento en la altura de la planta del naranjo agrio. San Pedro Sula. Honduras. 9(2):58-64p.

González K. 2011. Valoración cuantitativa de hierro en tres especies vegetales *Moringa oleífera* Lam, *Smilax domingensis* y *Smilax reguelli*. (tesis). Lic. UNAN-LEON. Nicaragua. 36 p.

Guaycha-Perez N., Jaramillo-Jaramillo C., Cuenca-Buele S., Tocto-León J., Márquez-Hernández I. 2017. Estudios farmacognósticos y toxicológicos preliminares de hojas, tallo y raíz de *Moringa oleífera* Lam. Machala. Ecuador. Revista Ciencia UNEMI 10(22):60-68p.

Guevara J., Rovira M. 2012. Caracterización de tres extractos de *Moringa oleífera* Lam y evaluación de sus condiciones de infusión en sus características fisicoquímicas (en línea). Tesis Ing. Agr. Zamorano. Honduras. Consultado 1 abril 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3bRyDlq>

Gutierrez J., Ortiz R., Mendez C. 2015. Efectividad de riegos artesanales sobre el crecimiento de *Moringa* (en línea). Tesis Lic. Ciencias Ambientales. Nicaragua. UNAN-Managua consultado 24 may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3z2QcKn>

Gutiérrez L. Arozarena N., Brito A., Cabrera M., Alonso J., Odio Z., Mendoza M., Ortega Y. s.f. Relaciones funcionales área foliar / peso seco en plantas de pimiento (*Capsicum annum.*, L.) . (en línea) . Revista Agrotecnia - Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”. Cuba. Disponible en: <https://bit.ly/3445eCA>

Hernández M. 2018. Analisis bromatológico. Facultad de Ciencias Agronómicas. 5p

Hinojosa E. 1973. Influencia del nitrógeno y azufre en el rendimiento de las plantas. Tesis. Ing. Turrialba. Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1-6 p

Honduras silvestre. 2017. Taxonomía de *Moringa oleífera* Lam. (en línea). HN. Consultado 17 sept 2017. Disponible en: <https://goo.gl/fN63VP>

Intagri. (2017). Uso eficiente del fosforo en la agricultura (en línea). Articulos Tecnicos de INTAGRI. Mexico. 5p. Disponible en: <https://bit.ly/3eaVGLo>

Interiano E. 2015. Determinacion del crecimiento y el perfil proteómico de hojas de *Moringa* cultivada con vermicomposta y roca fosfórica (en línea). Tesis Ing. Bioquímica. Chiapas. Mexico. TNM. Consultado el 15 may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3r71Wc6>

Keith L. 1985. Control químico de babosas. Especialmente la babosa del frijol *Sarasinula plebeia*. (en línea). Proyecto del Manejo Integrado de Plagas en Honduras. MIPH. 91p. Consultado el 12 nov. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/36ETPcv>

Latsague M., Sáez P., Mora M. 2014. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook.f. (en línea). Chile. Consultado el 28 de dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2ueSCJS>

Ledeá-Rodríguez J., Rosell-Alonso G., Benítez-Jiménez D., Crucito-Arias R., Ray-Ramírez J., Nuviola-Pérez Y., Reyes-Pérez J. (2018). Rendimiento forrajero y sus componentes según la frecuencia de corte de Moringa. *Revista Mesoamérica* 29(2):425-431.

Lok S., Suárez 2014. Efecto de la aplicación de fertilizantes en la producción de biomasa de *Moringa oleífera* Lam y en algunos indicadores del suelo durante el establecimiento (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48 (4): 399-403. Consultado 27 de dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2T4WLua>

López J. 2014. Evaluación de tres densidades del cultivo de *Moringa oleífera* Lam en el suroccidente de Guatemala. Tesis Lic. en Ciencias Agrícolas con Énfasis en Cultivos Tropicales. Coatepeque. GT. Universidad Rafael Landívar. 21, 25-27, 33-40 p.

Luna C. 2019. Establecimiento de un método eficiente de estandarización de la germinación *in vitro* de *Moringa oleífera* Lam. (en línea). *Revista Acta Botanica mexicana* número 126. Consultado 25 may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3icpkRx>

Mariezcurréna M., Braña D., Peña J., Ramírez E., Vara I. 2010. Estandarización de la metodología para la determinación de grasa en la carne de cerdo. *Revista mexicana ciencia pecuaria*. 1(3):269-275.b

MARN, 2013. Información meteorológica: servicio meteorológico nacional. (en línea). San Salvador. SV. Consultado 10 marzo 2017. Disponible en: <https://goo.gl/fN7NVN>

Márquez I., Bastidas T., Fernández G., Campo M., Jaramillo C., Rojas L. 2015. Estudio farmacológico preliminar del tallo y raíz de la planta de *Moringa oleífera* Lam. (en línea). 394p.

Medina G., García E., Tyrone C., Manuel R. 2007. Estudio comparativo de Moringa y *Leucaena* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop*. Vol. 25 (2) 93-99p

Mejía M. s.f. Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*). (en línea). Consultado el 1 de mayo. Disponible en: <https://bit.ly/3grYeEp>

Meza Z. 2017. Moringa oleífera Lam. Una alternativa de forraje con alto contenido de proteína para las partes bajas del estado de Nuevo León (en línea) Tesis. M.Sc. Nuevo León. México. Consultado el 11 de mayo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2X9PXgw>

Milanés D., Rodríguez A., Díaz A. s.f. Comportamiento de tres procedencias de *Moringa oleífera* Lam en el ecosistema de Topes de Collante (en línea). Revista Académica de investigación. Consultado el 17 de dic. 2019. Disponible en <https://bit.ly/2FirdZX>

Modeste I. 2016. Production and processing of Moringa (en línea). Consultado el 24 sept. 2019. Yaunde. Camerun. Disponible en: <http://bit.ly/2PnsuDj>

Molina N. 2017. Adulteración y falsificación de la *Moringa oleífera* Lam en capsula y material vegetal seco comercializada en siete mercados en el municipio de San Salvador (en línea). Tesis. Lic. San Salvador. El <https://bit.ly/3d4YXso> Salvador. UES. 21 p.

Morell I. Candela L. (1998) Plaguicidas. Aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos (en línea). Consultado el 17 de dic 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2Fs5ZJ0>

Moya E. s.f. Germinación y comportamiento de la *Moringa oleífera* Lam en vivero y sitio definitivo en el municipio de Quibdó, departamento del Choco (en línea). Choco. CO. Consultado 8 marzo 2017. Disponible en: <https://goo.gl/uvsN3b>

Munera G., Meza D. (1996). El fosforo: elemento indispensable para la vida vegetal (en línea). Colombia. Consultado 13 junio 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3hBHsoZ>

Navarro P. s.f. *Moringa Oleífera* Lam. Un aliado en la lucha contra la desnutrición (en línea). Madrid, ES. Consultado 8 mar 2017. Disponible en: <https://goo.gl/ngPEk3>

Núcleo DiverSus. s.f. Densidad específica en tallo (en línea). Córdoba Argentina. Disponible en: <http://www.nucleodiversus.org/index.php?mod=caracter&id=35>

Olson M., Fahey J. 2011. Moringa: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas (en línea). Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 1071-1082p. Disponible en: <https://bit.ly/2SUHmz3>

Ortiz C. 1998. Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de Tomate. Tesis Ing. Nuevo León. México. 37p

Padilla C., Balenciaga N., Crespo G., González D., Rodríguez I. (2017). Requerimientos agronómicos de *Moringa oleífera* Lam en sistemas ganaderos (en línea). Livestock Research for Rural Development. 29(11). Consultado el 26 de dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/37Ab6Tv>

Parada-Berrios, Barrera D., Molina M., Quintanilla J. 2016. Evaluación de diferentes dosis y fuentes de nitrógeno, fosforo y potasio en Ojushte y su efecto en el éxito den el prendimiento del injerto. El Salvador.

Parada-Berrios. 1999. Produccion de plantas de chicozapote (*Manilkara sapota* L.) inoculadas con *Glomus mosseae*, apersiones de AG₃, aplicaciones de NPK al suelo y fertilización foliar. Tesis Maestría en Ciencias Especialidad de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Perozo A. 2013. Manejo de pastos y forrajes tropicales. Maracaibo. Venezuela. 231 p

Pita A., Miranda C., García E. 2013. Asociación micorrizica entre *Moringa oleífera* Lam. Revista Científica Avances 15 (2). 215-227 p.

Porta M., Hack C., Tomei C. 2006. Producción de materia seca y concentración de fosforo foliar de forrajeras. Revista Agrotecnia. Cuba. Volumen 16. Solo resumen

Quiroz I., Pincheira M., Hernandez J., Gonzalez M., Garcia E., Soto H., 2014. Efecto del volúmenes sobre el crecimiento de Acacia en vivero y en terreno de secano en la Región del Biobío, Chile (en línea). Revista Árvore 38 (1). Consultado 23 may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3wAilXK>

Ramos F. 2016. Estudio patogénico de Moringa (en línea). Revista Médica de Homeopatía. España. 9 (3): 82-88 p. Disponible en: <https://bit.ly/3dFtW0X>

Ramos-Trejo O., Castillo-Huchin J., Sandoval-Gio J. 2015. Efecto de intervalos y alturas de corte en la productividad forrajera de *Moringa oleífera* Lam. Revista Bio-Ciencias. México. 3(3):187-194 p.

Raven P., Evert R., Eichhorn S. 1992. Biology of plants. 4ta ed. México. Grupo editorial Reverte. 415p

Red Agrícola. 2017. La raíz es el cerebro de la planta (en línea). Disponible en: <https://bit.ly/3gxHOug>

Salinas M. 2017. Efecto del producto SAGIB en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Moringa oleífera* Lam. (en línea). Tesis. Ing. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Consultado el: 15 de mayo.

Sánchez, Y., Martínez-Ávila, G. 2013. *Moringa oleífera* Lam, importancia y funcionalidad (en línea). Coahuila. MX. Consultado 8 marzo 2017. Disponible en: <https://goo.gl/3hrKI3>

Sanzano. s. f. Potasio del suelo (en línea). Argentina. Consultado el 17 de dic. 2019. Disponible en: <http://www.faz.unt.edu.ar/>

Segura J. Escalante J., Rodríguez M., Díaz R., Conde V., García R., Quevedo A. 2020. Biomasa e índices de análisis de crecimiento relacionados con el área foliar en Haba (en línea, video). Texcoco, México. 11 min. 05 seg., son., color. Consultado 12 mayo 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3ATKBrO>

Sela G. s.f. Potasio en las plantas (en línea). Madrid. ES. Consultado 1 diciembre 2017. Disponible en: <https://goo.gl/1myLGg>

Serralde A., Ramírez M. 2004. Analisis de poblaciones de micorrizas cultivados en suelos ácidos bajo Diferentes tratamientos (en línea). Revista CORPOICA 5(1)31-41 p.

Soto S. 2017. Evaluación del efecto de dos dosis de tres fuentes de abono orgánico sobre el rendimiento de follaje de *Moringa oleífera* Lam, diagnóstico y servicios. (en línea) Zacapa. Guatemala. Disponible en: <https://bit.ly/2MaafQI>

Toral O., Cerezo Y., Reino j., Santana H. 2013. Publicación Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleífera* Lam en condiciones de vivero (en línea). Revista de pastos y forrajes 36 (4);409-416. Consultado 17 de dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/39y4M0L>

TLI (Trees for life International). 2005. *Moringa oleífera* Lam. (en línea). Consultado el 21 de abril 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2SqkMec>

UAM (Universidad Autónoma de Madrid). s.f. Fósforo (en línea). Madrid. ES. Consultado 1 diciembre 2017. Disponible en: <https://goo.gl/8nNMVs>

UNA (Universidad Nacional Agraria) – PROMARANGO. 2018. Guía Técnica N° 21: Manejo de viveros de Marango (*Moringa oleífera* Lam). Una alternativa sostenible de alimentación animal ante el cambio climático (en línea). Managua. Nicaragua. 11p. consultado 12 nov. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2ZYx4PN>

Valdés O., Vázquez A., Muñoz-Gamboa C. 2018. Efecto de peso y talla de semilla sobre plántulas de *Moringa* y *Recinus* (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas. 9(7) 1411-1422p

Valdés O.; Muñoz C.; Pérez A. Martínez E. 2014. Analisis y ajuste de curvas de crecimiento de *Moringa oleífera* Lam en diferentes sustratos. Revista científica Biológica Agropecuario Tuxpan 2 (2):66-70

Valdés O., Sol G., Vásquez A. 2016. Efecto de la poda y fertilización orgánica en *Moringa oleífera* Lam (en línea). Revista Ciencia Administrativa (1). 101-120. Consultado el 27 dic. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2uk7Eya>

Vega A. 2015. Efecto del Nitrógeno en las enfermedades de las plantas (en línea). CL. Consultado 1 diciembre 2017. Disponible en: <https://goo.gl/UP7yvP>

Vieira J.; Ocha B.; Fischler M.; Marín X.; Sauër E. 1999. Manejo integrado de la Fertilidad del suelo en zonas de ladera. El Salvador.

Villar R., Ruiz-Robledo J., Quero J., Poorter H., Valladares F., Marañón T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas (en línea). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. 191-227 p. Consultado 15 de may 2021. Disponible en: <https://bit.ly/2ULvPm8>

Villareal J., Rivera U., Foroughbakhch R., Cárdenas M., Moreno S., González M. 2015. Tratamiento con fertilizante para mayor crecimiento y desarrollo en *Moringa oleífera* Lam (en línea). Nuevo León. MX. Consultado 26 mayo 2018. Disponible en: <https://goo.gl/4oFWi2>

W. Nutsch. 2000. Tecnología de la madera y del mueble. Barcelona. España. Editorial Reverte. 21p.

Wallance A. 1993. Ley del máximo (en línea). Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fosforo. N12. Ecuador. Consultado el 15 de mayo 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3kuMci5>

8.ANEXO

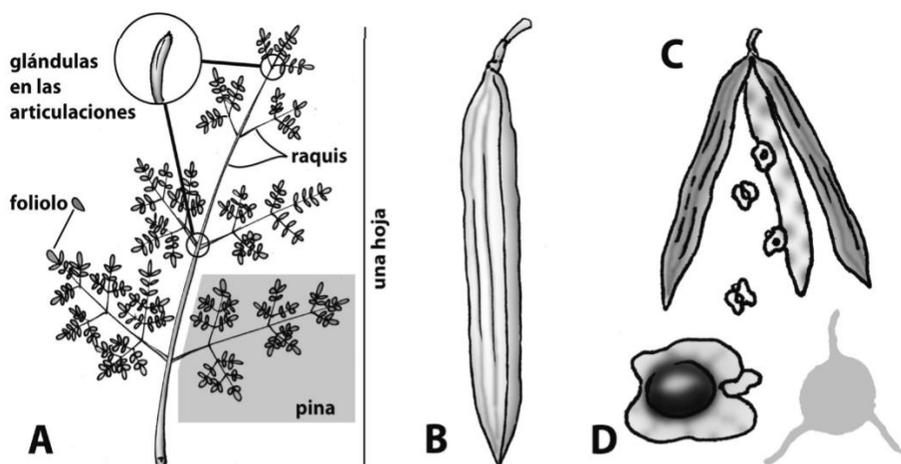


Figura A-1. Características botánicas de la Moringa: A, hojas pinnadas. B, fruto. C, fruto se abre en tres partes o valvas. D, semillas con tres alas de color beige. y frutos de Moringa.



Figura A-2 a) preparación del sustrato. b) selección de semillas. c) preparación de semillas. d) siembra y manejo posgerminativo. E) riego y fertilización

Repetición 1											
T ₁₁ (15 g de sulfato de amonio)	T ₈ (30 g de 16-20-0)	T ₉ (Testigo)	T ₃ (15 g de 15-15-15)	T ₁₀ (5 g de sulfato de amonio)	T ₇ (15 g de 16-20-0)	T ₅ (Testigo)	T ₁₂ (30 g de sulfato de amonio)	T ₆ (5 g de 16-20-0)	T ₄ (30 g de 15-15-15)	T ₁ (Testigo)	T ₂ (5 g de 15-15-15)

Repetición 2											
T ₁₀ (5 g de sulfato de amonio)	T ₅ (Testigo)	T ₁ (Testigo)	T ₂ (5 g de 15-15-15)	T ₃ (15 g de 15-15-15)	T ₇ (15 g de 16-20-0)	T ₉ (Testigo)	T ₄ (30 g de 15-15-15)	T ₁₂ (30 g de sulfato de amonio)	T ₁₁ (15 g de sulfato de amonio)	T ₆ (5 g de 16-20-0)	T ₈ (30 g de 16-20-0)

Repetición 3											
T ₆ (5 g de 16-20-0)	T ₁₀ (5 g de sulfato de amonio)	T ₁ (Testigo)	T ₇ (15 g de 16-20-0)	T ₂ (5 g de 15-15-15)	T ₄ (30 g de 15-15-15)	T ₃ (15 g de 15-15-15)	T ₅ (Testigo)	T ₉ (Testigo)	T ₁₂ (30 g de sulfato de amonio)	T ₈ (30 g de 16-20-0)	T ₁₁ (15 g de sulfato de amonio)

Figura A-3 Distribución de tratamientos bajo un diseño Completamente al Azar en un Arreglo Factorial de 4 x 4



Figura A-4. Muestreo de variable altura en plantas de Moringa



Figura A-5. Muestreo de variable diámetro mediante el uso de la herramienta pie de rey.



Figura A-6 Muestreo de variable clorofila con Chlorophyll Meter SPAD-502, Minolta C. Ltd., Japan.



Figura A-7. Muestreo del área de hoja con el Integrador de Área Foliar Model LI-3100 Área meter Li-Cor.



Figura A-8. Separación de hojas para la toma de variable peso fresco y peso seco en hojas



Figura A-9. Corte de tallo para variables de tallo

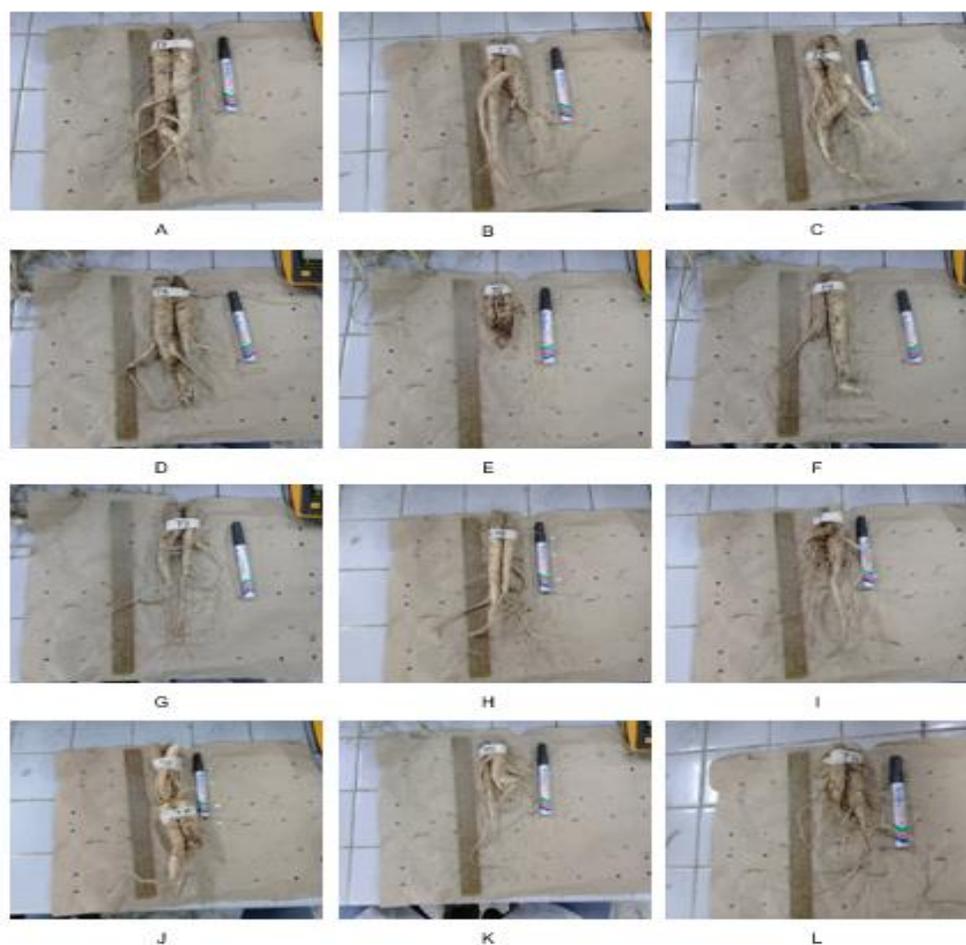


Figura A-10. Longitud de raíces. A, T₁. B, T₂. C, T₃. D, T₄. E, T₅. F, T₆. G, T₇. H, T₈. I, T₉. J, T₁₀. K, T₁₁. L, T₁₂

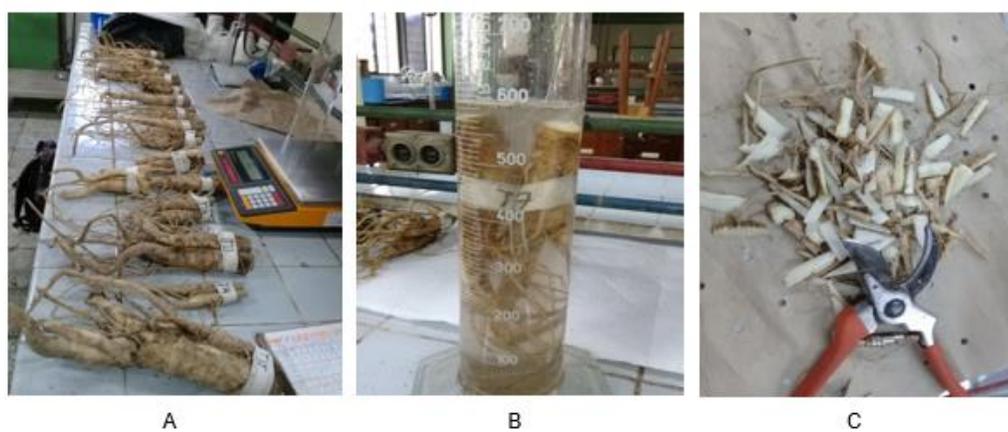


Figura A-11. Muestreo de variables raíz: A, Peso fresco. B, Volumen. C, Peso seco



Figura A-12 Proceso de triturado y obtención de ceniza para las muestras de hojas, tallo y raíz de las cuatro fuentes evaluadas.



Figura A-13. Determinación de extracto etéreo en cuatro muestras de Moringa.



Figura A-14. Determinación de nitrógeno proteico por el método de Kjeldhal

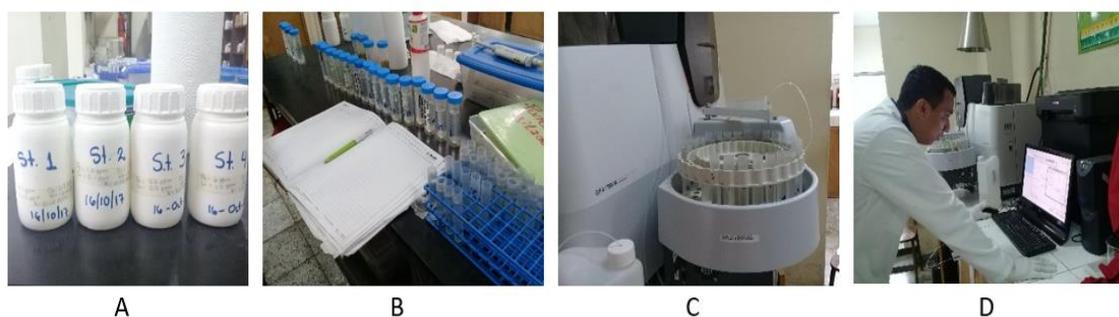


Figura A-15. A. soluciones estándares. B, 16 muestras preparadas. C, Brazo automuestreador del horno de granito. D, Recolección de resultados por medio del software WizAard.

Cuadro A-1. Dosificación según los días después de germinado

Tratamiento	Dosis aplicadas con respecto a los días después de germinado (ddg)				Total de fertilizante suministrado por planta
	15 ddg	36 ddg	57 ddg	78 ddg	
T ₂ (5 g de 15-15-15)					
T ₆ (5 g de 16-20-0)	5 g	-	-	-	5 g
T ₁₀ (5 g de sulfato de amonio)					
T ₃ (15 g de 15-15-15)					
T ₇ (15 g de 16-20-0)	5 g	5 g	5 g	-	15 g
T ₁₁ (15 g de sulfato de amonio)					
T ₄ (30 g de 15-15-15)					
T ₈ (30 g de 16-20-0)	5 g	5 g	10 g	10 g	30 g
T ₁₂ (30 g de sulfato de amonio)					

Cuadro A-2. Resumen de varianza para cada una de las variables evaluadas en la fase de vivero del cultivo de Moringa (*Moringa oleífera* Lam.). Días después de germinado (DDG), cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R^2), desviación estándar (s) y prueba de significancia (F)

Variable	C.M.E	C.V	R^2	s	Pr > F	
Variables de crecimiento						
14 DDG						
Altura de planta	9.639111	9.55	0.548374	3.1046911	0.3007	NS
Diámetro de tallo	0.003604	8.71	0.601017	0.06003	0.1673	NS
Numero de hojas	0.215185	10.81	0.384887	0.46388	0.7994	NS
Clorofila	4.526448	50.02	0.464194	2.12754	0.5688	NS
26 DDG						
Altura de planta	7.623037	8.93	3.900555	2.76098	0.1204	NS
Diámetro de tallo	0.000907	7.36	0.559234	0.03011	0.2700	NS
Numero de hojas	0.588148	9.57	0.683191	0.76690	0.0455	NS
Clorofila	134.5082	22.66	0.431747	11.59776	0.6711	NS
46 DDG						
Altura de planta	31.78417	11.95	0.562206	5.63774	0.2619	NS
Diámetro de tallo	0.007648	12.24	0.337945	0.08745	0.8944	NS
Numero de hojas	0.781333	10.74	0.437313	0.88393	0.6541	NS
Clorofila	16.65475	17.86	0.614188	4.08102	0.1406	NS
67 DDG						
Altura de planta	155.4796	10.77	0.591950	12.46914	0.1874	NS
Diámetro de tallo	0.019726	17.56	0.377570	0.14044	0.8166	NS
Numero de hojas	3.841204	13.18	0.622238	1.95989	0.1257	NS
Clorofila	3.493863	2.05	0.569008	1.86918	0.2437	NS
88 DDG						
Altura de planta	194.1508	13.37	0.485134	13.93380	0.5001	NS
Diámetro de tallo	0.054019	24.54	0.370588	0.23241	0.8322	NS
Numero de hojas	2.564074	15.43	0.384181	1.60127	0.8011	NS
Clorofila	30.03475	8.24	0.613834	5.48039	0.1413	NS
Ganancias						
Altura de planta	117.7751	17.11	0.409461	10.85242	0.7357	NS
Diámetro de tallo	0.033393	37.13	0.351525	0.18273	0.8407	NS
Numero de hojas	17.1589	19.28	0.510754	4.14233	0.4164	NS
Variables fisiológicas						
Hojas						
Numero de yemas	17.55943	2.70	0.462877	0.5730	0.19039	NS
Área foliar	25059.4	132.72	0.496092	0.4641	0.1583	NS
Peso fresco de hojas	8560.838	54.74	0.611480	0.1459	0.2524	NS
Peso seco de hojas	5311.364	48.71	0.588983	0.1942	0.7287	NS
Peso específico hojas	266.3134	10.47	0.583475	0.2072	0.6319	NS
Tallo						
Peso fresco de tallo	26718.85	102.47	0.677113	0.0511	0.1634	NS
Peso seco de tallo	20011.04	87.77	0.675017	0.0532	0.1414	NS
Peso específico tallo	703.8346	18.62	0.607325	0.1542	26.529	NS
Raíz						
Largo de raíz	84.73135	5.57	0.561449	0.2639	0.9204	NS
Peso fresco raíz	12230.86	66.89	0.635133	0.1040	0.1105	NS
Peso seco raíz	8752.103	59.41	0.627578	0.1164	0.9355	NS
Peso específico de raíz	180.4617	0.91	0.488058	0.4905	0.1343	NS

NS: No significativo

Cuadro A-4. Resumen de promedios de variables evaluadas en la fase de vivero del cultivo de Moringa (*Moringa oleifera* Lam)

Tratamiento	Variables de crecimiento			Variables fisiologicas													
				Hoja					Tallo				Raiz				
	Altura	Diametro	Numero hojas	AF	PFH	PSH	PEH	Clorofila	Vol tallo	PFT	PST	PET	Long raiz	Vol raiz	PFR	PSR	PER
1	92.48	0.78	13.2	8633.27	169.2	149.96	17.26	38.67	415	330.05	279.69	75.58	22.42	160	160.54	142.73	90.53
2	91.31	0.78	13.53	8769.56	92.8	76.01	8.67	38.6	328.33	335.1	282.91	88.59	21.32	110	106.86	94.15	85.33
3	73.1	0.55	11.73	9054.83	129.7	105.8	11.68	35.95	465	479.54	408.51	88.82	19.7	158.3	159.12	139.65	88.42
4	92.39	0.7	14.6	8940.9	110.3	90.48	10.11	44.57	523.33	424.41	360.58	71.8	24.72	185	190.05	165.65	90.04
5	73.84	0.64	10.27	7254.5	61	50.36	6.94	36.8	210	197.37	168.58	82.55	23.75	135	141.74	125.99	90.5
6	90.68	0.7	11.93	4530.28	92.1	75.25	16.61	38.07	256.67	306.06	257.22	108.89	19.97	88.3	84.45	73.39	86.17
7	85.04	0.68	12.12	6157	120.4	98.62	16.02	42.1	335	321.04	271.41	80.62	19.84	93.3	89.47	78.67	82.38
8	84.76	0.65	13.69	6011.35	177.7	143.85	23.93	38.62	365	276.35	233.71	70.26	23.06	103.3	121.88	105.39	101.26
9	100.02	0.83	12.73	10019.61	123.4	104.34	10.41	39.36	436.67	294.84	251.2	70.85	24.93	180	184.63	163.83	90.84
10	94.34	1.02	13.07	7862.77	109.7	88.78	11.29	39.48	425	353.77	300.7	76.73	25.44	125	121.74	105.86	84.56
11	83.34	0.7	14.54	6479.33	118.1	80.95	12.49	39.75	425	345.98	293.56	71.81	25.16	223.3	220.9	191.53	86.82
12	84.05	0.72	8.22	8348.8	39.4	32.28	3.87	43.35	96.67	101.22	84.69	88.8	14.4	51.7	48.56	41.18	78.57

