

**Efecto de las deficiencias nutricionales en el
cultivo de piñón (*Jatropha curcas*)**

Joel Alfonso Marrone Del Cid

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Efecto de las deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*)

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Joel Alfonso Marrone Del Cid

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

Efecto de las deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*)

Presentado por:

Joel Alfonso Marrone Del Cid

Aprobado:

Nils Berger, Dr.Sc.agr.
Asesor principal

Miguel Vélez, Ph.D.
Director
Carrera de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesora

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Josué Nahúm Leiva, Ing Agr.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

Abelino Pitty, Ph.D
Coordinador de Fitotecnia

RESUMEN

Marrone, J. 2009. Efecto de deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*). Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 24 p.

Diagnosticar las deficiencias nutricionales de los cultivos permite ajustar las prácticas de fertilización para alcanzar los rendimientos económicos esperados. Se evaluó el efecto de deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*), durante un período de 50 días después de siembra con soluciones completas menos un nutriente, con el objetivo de señalar los elementos críticos que en piñón se manifiestan fallos de crecimientos y síntomas de deficiencias de nutrientes. Se utilizó un diseño experimental BCA con siete tratamientos: todos los nutrientes, sin nitrógeno, sin fósforo, sin potasio, sin magnesio, azufre y micronutrientes, sin micronutrientes, y testigo absoluto, con cinco repeticiones por tratamiento para un total de 35 unidades experimentales. Para cada tratamiento se evaluó la altura, diámetro del tallo, número de hojas verdaderas y axilares, color de las hojas y síntomas visuales de deficiencias. Las características químicas evaluadas fueron la disponibilidad de micro y macro nutrientes en las hojas sintomáticas, después de 50 días de la aplicación de las soluciones. Se determinó que los síntomas de deficiencia de nutrientes aguda y baja tasa de crecimiento fueron sin nitrógeno, testigo absoluto y sin fósforo ($P < 0.05$), siendo el tratamiento sin potasio el que menos influyó en las variables.

Palabras clave: biodiesel, cultivo energético, extracción de nutrientes, nutrición vegetal.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES.....	18
5. RECOMENDACIONES	19
6. LITERATURA CITADA.....	20
7. ANEXOS.....	22

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Algunos principios de diagnóstico visual de desórdenes nutricionales.....	2
2. Análisis de sustrato para verificar deficiencias nutricionales en plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>). Zamorano, Honduras.	4
3. Cantidad aplicada (g) de las fuentes de nutrientes en cada una de las soluciones. ...	5
4. Volumen de la solución (mL) para 6 kg de sustrato.....	5
5. Cantidad de nutriente aplicado por tratamiento.....	6
6. Altura del tallo (cm) de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.	8
7. Diámetro del tallo (cm) de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.	9
8. Número de hojas verdaderas de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.	9
9. Número de hojas axilares de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.	9
10. Peso húmedo (g) de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) cultivada durante 50 días bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.	10
11. Peso seco (g) de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) cultivada durante 50 días bajo condiciones de deficiencias de nutrientes. Zamorano, Honduras.....	11
12. Determinación del color de las hojas de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) cultivada 50 días bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.....	11
13. Análisis de hojas sintomáticas de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) cultivadas 50 días con deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.....	13
14. Evaluación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) cultivada 47 días. Zamorano, Honduras.	14

Figura

1. Aspecto de planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra con aplicación de todos los nutrientes (+T). Zamorano, Honduras.....	15
2. Planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Nitrógeno (-N). Zamorano, Honduras.....	15
3. Planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Fósforo (-P). Zamorano, Honduras.....	15
4. Planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Potasio (-K). Zamorano, Honduras.....	16
5. Planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Magnesio Azufre y microelementos (-Mg S Me). Zamorano, Honduras.....	16
6. Planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de microelementos (-Me). Zamorano, Honduras.....	16
7. Planta de <i>Jatropha curcas</i> 47 días después de siembra sin aplicación de nutrientes (-T). Zamorano, Honduras.....	17

Anexo

1. Análisis de sustrato al final del experimento de plantas de piñón (<i>Jatropha curcas</i>) 50 días después del trasplante, bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.....	23
2. Diseño y Ubicación de las Unidades Experimentales, Invernadero E, Zona 3. EAP, Zamorano, Honduras.....	24

1. INTRODUCCIÓN

Jatropha curcas L., conocido como Piñón o Tempate, es arbusto caducifolio que pertenece a la familia Euphorbiaceae originario de Mesoamérica. Los frutos son cápsulas elípticas, de color amarillo con 2 a 3 semillas por fruto. Se desarrolla bien en las regiones del trópico seco y trópico húmedo en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 800 msnm, alcanza de 3 a 6 m de altura y tiene una longevidad mayor a 50 años (Henning 1998). Se destaca por su producción de biomasa, versatilidad de usos y adaptabilidad a condiciones marginales (Sotolongo y Beatlón 2005), también posee la capacidad de restaurar suelos erosionados por la gran cantidad de materia orgánica que produce (Henning 1998). Es una planta venenosa que produce semillas con un contenido de aceite entre 32-35% que sirve para elaborar biodiesel que pueda utilizarse en motores diesel y el subproducto de la extracción de aceite puede usarse como fertilizante orgánico (De la Vega 2005).

Cuando las plantas sufren deficiencias de elementos nutritivos, manifiestan un desarrollo anormal que permite apreciar síntomas más o menos característicos de la falta de un nutriente en particular (Fuentes *et al.* 2006). La investigación permite aportar soluciones para mejorar la productividad del piñón, a través de la aplicación de las soluciones nutritivas completas, al eliminar un nutriente se puede determinar el efecto de nutrientes en la planta (Rowell 1994).

Los síntomas pueden ser claramente visible cuando la deficiencia es aguda y la tasa de crecimiento y rendimiento son claramente bajas (Marschner 1995). En este caso, es muy importante conocer el estado de disponibilidad de nutrientes en el suelo y confirmarlo con el análisis del tejido vegetal y la respuesta de la planta a la fertilización.

Muchas veces se tiende a confundir un síntoma de deficiencia nutricional con el de una enfermedad fungosa (por ejemplo una necrosis causada por antracnosis), daños causados por trips con los síntomas de una deficiencia, clorosis y necrosis causada por un herbicida, clorosis causada por mal drenaje o el exceso de agua (Ospina y Ceballos 2002).

El diagnóstico de deficiencias de nutrientes, a través de la coloración de la planta, no debe pasar por alto, debido a que el color del tejido puede estar influenciada no sólo por la composición química del suelo, sino también por la deficiencia o exceso de agua, baja temperatura, la actividad fotosintética o la incidencia de enfermedades. Las manifestaciones de color de las deficiencias nutricionales no siempre son similares en todas las especies de plantas. La Carta de Colores de la tabla MUNSELL® Color Charts for Plant Tissues, es una herramienta para la evaluación y registro preciso de color, y ayuda a identificar los síntomas de deficiencia (Wilde y Voigh 1977).

El diagnóstico basado en los síntomas visibles de la planta requiere un enfoque sistemático (Cuadro 1). Los síntomas aparecen preferiblemente en las hojas más viejas o más nuevas, dependiendo si los nutrientes minerales son fácilmente translocados o no. El patrón de distribución de los síntomas también puede ser modificado por el método empleado para inducir la deficiencia, es decir, el suministro de insuficiencia permanente o la interrupción repentina de un alto suministro (Marschner 1995).

Cuadro 1. Algunos principios de diagnóstico visual de desórdenes nutricionales.

Parte de la Planta	Síntoma Común	Trastorno	
Láminas foliares viejas y maduras	Clorosis	Uniforme	Deficiencia N (S) Mg (Mn)
		Intervenal o Manchas	
	Necrosis	Inclinación y quemado parcial	K Mg (Mn)
		Intervenal	
Láminas foliares nuevas y ápice	Clorosis	Uniforme	Fe (S) Zn (Mn)
		Intervenal o Manchas	
	Necrosis (clorosis)		Ca, B,Cu
	Deformaciones		Mo (Zn, B)
Láminas foliares viejas y maduras	Necrosis	Manchas	Toxicidad Mn (B) B (sal) (daño por aspersion) Toxicidad no específica
		Inclinación y quemado parcial	
	Clorosis, Necrosis		

Fuente: Marschner 1995.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar los síntomas de las deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*), específicamente de N, P, K⁺, Mg²⁺, S, y microelementos, con el fin de desarrollar un sistema de fertilización direccionado a identificar y corregir las deficiencias nutricionales en el campo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

El ensayo se realizó en el invernadero E, en Zona 3 de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; situada en el Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras; a 800 msnm, con una temperatura promedio de 24 °C y una precipitación promedio anual de 1100 mm.

Se sembraron 70 semillas de *Jatropha curcas* variedad Cabo Verde en siete bandejas multiceldas plásticas con nueve celdas por bandeja, en sustrato de arena fina. Las bandejas se dejaron al aire libre en el vivero de frutales y se regaron una vez al día, hasta el día 10 cuando alcanzaron un tamaño adecuado para trasplante a maceteros cilíndricos de 28 cm × 33 cm. Las plántulas tenían una altura promedio de 7 cm al trasplante y se realizó una semana antes de aplicar las soluciones nutritivas. Las plántulas se sembraron a raíz desnuda. El sustrato utilizado fue arena gruesa lavada de río (11 kg /macetero), en el cual se realizaron análisis nutricionales antes (Cuadro 2) y después del experimento (Anexo 1).

2.2 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

Para evaluar el efecto de deficiencias nutricionales se ajustó la metodología desarrollada por Rowell (1994) a las condiciones del sustrato utilizado. Las mezclas de las soluciones se prepararon de acuerdo con las concentraciones de los reactivos, que se disolvieron en un volumen de agua destilada (Cuadro 3). Las soluciones se aplicaron una semana después del trasplante, en un radio de 15 cm alrededor del tallo, en el área de las raíces evitando el contacto de la solución con las hojas, para evitar problemas de fitotoxicidad (Calderón 1997).

Para evitar pérdidas de nutrientes por lixiviado, se colocaron tapaderas de 35 cm en la base de cada macetero. La aplicación del riego se realizó tres veces a la semana en volúmenes de 0.5 L/macetero con agua desionizada, para no adicionar nutrientes al sustrato e influenciar negativamente los resultados esperados.

Cuadro 2. Análisis de sustrato para verificar deficiencias nutricionales en plantas de piñón (*Jatropha curcas*). Zamorano, Honduras.

Parámetros	%		%N total	% Saturación				ppm (Extractables)						
	pH	M.O.		K	Ca	Mg	Na	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	6.36	2.23	0.11	3.32	67.08	15.6	11.38	8	11	1	124	51	10	0.3
Rangos														
Óptimos ¹	5.5-6.5	2.5-4	>0.125	3-5	50-75	15-20	<15	13-30	20-80	1.7-3.4	56-112	28-112	1.7-3.4	0.5-0.8
Interpretación	M [£]	M [£]	B [§]	M [§]	M [£]	M [£]	M [£]	B [§]	B [§]	B [§]	A [¶]	M [£]	A [¶]	B [§]

¶:Alto ,£ Medio ,§ Bajo¹

¹Arévalo, G. 2008. Rangos óptimos de nutrientes en suelos. Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. EAP Zamorano, Honduras.

Cuadro 3. Cantidad aplicada (g) de las fuentes de nutrientes en cada una de las soluciones.

Fuente de Nutriente	Número de Solución						
	1	2	3	4	5	6	7
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	21.1	0.0	21.1	21.1	0.0	0.0	0.0
KNO ₃	18.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	6.3	6.3	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0
K ₂ SO ₄	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NaNO ₃	0.0	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	0.0
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0
CaCl ₂ .6H ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0
H ₃ BO ₃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.30
MnSO ₄ .H ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.16
CuSO ₄ . 5H ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02
ZnSO ₄ . H ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .2H ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.003
Agua destilada (mL)	500	500	500	500	250	250	1000

Fuente: Rowell 1994.

Por cada 6 kg de suelo se aplicaron los volúmenes apropiados de las soluciones necesarias de nutrientes debidamente mezclados (Cuadro 4). Se eligieron estas aplicaciones, ya que son adecuadas para suplir la demanda de nutrientes de las plantas y su facilidad en la elaboración en las mezclas de las soluciones (Rowell 1994) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Volumen de la solución (mL) para 6 kg de sustrato.

Tratamiento	Número de Solución						
	1	2	3	4	5	6	7
Todos los nutrientes (+T)	240	0	0	0	120	0	240
Sin N (-N)	0	240	0	0	120	120	240
Sin P (-P)	0	0	240	0	120	0	240
Sin K ⁺ (-K)	0	0	0	240	120	0	240
Sin Mg ²⁺ , S y microelementos (-Mg S Me)	240	0	0	0	0	0	0
Sin microelementos (-Me)	240	0	0	0	120	0	0
Testigo Absoluto (-T)	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Rowell 1994.

Cuadro 5. Cantidad de nutriente aplicado por tratamiento.

Tratamiento	mg/kg										
	N	P	K ⁺	Mg ²⁺	S	Na	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mo	B
+T ^β	400	100	560	40	60	74	2	0.2	0.2	0.2	2
-N [∞]	0	100	560	40	284	74	2	0.2	0.2	0.2	2
-P ^π	400	100	560	40	60	0	2	0.2	0.2	0.2	2
-K ^α	400	100	0	40	60	458	2	0.2	0.2	0.2	2
-Mg S Me ^Ω	400	100	560	0	0	74	0	0	0	0	0
-Me [£]	400	100	560	40	60	74	0	0	0	0	0
-T ^μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), [£] sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

2.3 VARIABLES MEDIDAS

La toma de datos se realizó 50 días después de la aplicación de las soluciones nutritivas entre el 20 de Mayo y el 13 de Julio de 2009. Semanalmente, se midió la altura de la planta (cm) desde la base del tallo al meristemo apical, el número de hojas verdaderas, el número de hojas axilares y el diámetro del tallo (cm) utilizando un pie de rey.

Las determinaciones del color de las hojas se realizaron cada dos semanas, con la ayuda de una tabla MUNSELL[®] para tejidos de plantas (Wilde y Voigh 1977).

El peso húmedo y seco de la biomasa (tallo, raíz, hojas sintomáticas, hojas asintomáticas, pecíolos) se determinó al final de la recolección de las muestras secados a 60 °C por 72 horas.

Para el análisis foliar se tomaron las hojas sintomáticas, ya que la hoja es el órgano que mejor refleja el estado nutricional de la planta (Malatova *et al.* 1989). Se realizaron 30 análisis foliares, cuatro análisis por tratamiento, con excepción de los tratamientos -N y -T con tres análisis, por escasez de material para el análisis.

Al final del experimento se realizó un análisis mixto de los sustratos por tratamiento (siete análisis). Durante las mediciones de crecimiento se tomó nota de los síntomas visuales de deficiencia de cada planta y repetición, las cuales se registraron con una cámara fotográfica digital (Panasonic Lumix DMC-FSS).

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se evaluaron siete tratamientos, con cinco repeticiones por tratamiento, para un total de 35 unidades experimentales. El diseño experimental que se utilizó fue uno de Bloque Completamente al Azar (BCA). Cada unidad experimental ocupaba un área de 0.30 m × 0.30 m (0.09 m²) y el área total del experimento fue de 4 m × 7.5 m (Anexo 2).

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados con el programa estadístico Statistical Analysis System 9.1 (SAS 2007[©]). El análisis de varianza (ANDEVA) fue utilizado para el análisis de datos con la separación de medias Duncan (P<0.05).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 VARIABLES MORFOLÓGICAS

El desarrollo de las plantas estuvo limitado por la ausencia de nutrientes en los tratamientos. Las plantas con todos los nutrientes (+T), se desarrollaron de forma saludable, mostrando un buen desarrollo de hojas, tallo y raíz, en comparación con las plantas sin nutriente que presentaron síntomas visibles de desórdenes fisiológicos por carencia de nutriente(s) (Cuadro 6). El efecto fue claro a partir del día 25 En todas las variables hubo un efecto de la aplicación de nutrientes, siendo mejor en las plantas que recibieron todos los nutrientes y peor en las plantas con omisión de N y las que no recibieron ningún nutriente.

La ausencia de Nitrógeno (-N) al igual que el tratamiento testigo absoluto (-T) afectó severamente la altura del tallo, diámetro del tallo (Cuadro 7), formación de hojas verdaderas (Cuadro 8) y hojas axilares (Cuadro 9), ambos presentaron síntomas visibles de deficiencia a partir del día 25 después del trasplante. Los tratamientos sin fósforo (-P) fue menor en las variables de crecimiento al todos los nutrientes (+T), pero mayor que el testigo absoluto (-T) excepto hojas axilares. El K⁺ resultó el macroelemento cuya ausencia (-K) afectó menos el desarrollo de la planta, ya que alcanzó promedios similares al tratamiento con todos los nutrientes (+T), con excepción del número de hojas axilares a partir del día 47. Los tratamientos sin magnesio, azufre y microelementos (-Mg S Me) y sin microelementos (-Me) mostraron en general un desarrollo moderado.

Cuadro 6. Altura del tallo (cm) de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Días después del trasplante					
	9	17	25	33	40	47
+T ^β	10.6 ^{ab}	12.9 ^a	18.7 ^a	22.4 ^a	25.4 ^a	28.3 ^a
-N [∞]	10.8 ^a	11.8 ^{ab}	12.5 ^d	12.8 ^d	13 ^d	13.1 ^d
-P ^π	10.7 ^{ab}	12.0 ^{ab}	13.7 ^{cd}	14.8 ^c	15.8 ^{cd}	16.4 ^{cd}
-K ^α	10.4 ^{ab}	12.7 ^{ab}	16.6 ^{ab}	20.1 ^a	24.1 ^a	26.9 ^a
-Mg S Me ^Ω	9.1 ^b	10.8 ^b	12.9 ^{cd}	14.9 ^c	17.3 ^{bc}	19.2 ^{bc}
-Me ^ξ	10.7 ^{ab}	12.4 ^{ab}	15.0 ^{bc}	17.8 ^b	20.2 ^b	21.9 ^b
-T ^μ	10.8 ^a	11.6 ^{ab}	12.0 ^d	12.5 ^d	13.1 ^d	13.6 ^d

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente (P <0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), ^ξ sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T)

Cuadro 7. Diámetro del tallo (cm) de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Días después del trasplante					
	9	17	25	33	40	47
+T ^β	0.87 ^{ab}	1.03 ^a	1.22 ^a	1.40 ^a	1.64 ^a	1.81 ^a
-N [∞]	0.85 ^{ab}	0.88 ^a	0.91 ^d	0.93 ^c	0.96 ^c	0.97 ^c
-P ^π	0.90 ^a	0.98 ^a	1.08 ^{abc}	1.18 ^b	1.25 ^b	1.35 ^b
-K ^α	0.91 ^a	0.98 ^a	1.16 ^{ab}	1.42 ^a	1.61 ^a	1.81 ^a
-Mg S Me ^Ω	0.86 ^{ab}	0.96 ^a	1.05 ^{bc}	1.16 ^b	1.18 ^{bc}	1.44 ^b
-Me ^ξ	0.77 ^b	0.89 ^a	0.97 ^{cd}	1.14 ^b	1.29 ^b	1.44 ^b
-T ^μ	0.86 ^{ab}	0.91 ^a	0.97 ^{cd}	1.01 ^{bc}	1.05 ^{bc}	1.01 ^c

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente (P < 0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), ^ξ sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

Cuadro 8. Número de hojas verdaderas de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Días después del trasplante					
	9	17	25	33	40	47
+T ^β	4.0 ^a	7.2 ^a	8.4 ^{ab}	10.0 ^a	12.2 ^a	12.8 ^a
-N [∞]	2.8 ^{ab}	3.8 ^c	4.6 ^{cd}	5.0 ^{bc}	5.2 ^b	5.4 ^b
-P ^π	3.6 ^{ab}	5.8 ^{ab}	6.8 ^{abc}	7.0 ^{bc}	7.4 ^b	8.0 ^b
-K ^α	3.8 ^a	7.0 ^a	9.0 ^a	10.0 ^a	11.8 ^a	12.8 ^a
-Mg S Me ^Ω	2.8 ^{ab}	3.8 ^c	5.4 ^{cd}	6.2 ^{bc}	7.4 ^b	7.8 ^b
-Me ^ξ	3.0 ^{ab}	4.6 ^{bc}	6.2 ^{bcd}	7.2 ^b	7.8 ^b	8.4 ^b
-T ^μ	2.4 ^b	3.6 ^c	4.0 ^d	4.6 ^c	5.0 ^b	5.4 ^b

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente (P < 0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), ^ξ sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

Cuadro 9. Número de hojas axilares de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Días después del trasplante					
	9	17	25	33	40	47
+T ^β	0.0 ^a	0.8 ^a	2.6 ^a	3.4 ^a	3.6 ^a	4.6 ^a
-N [∞]	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b
-P ^π	0.0 ^a	0.0 ^a	0.4 ^b	0.4 ^b	0.6 ^b	0.6 ^b
-K ^α	0.0 ^a	0.0 ^a	1.4 ^{ab}	1.8 ^{ab}	2.2 ^{ab}	2.2 ^b
-Mg S Me ^Ω	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^b	0.2 ^b	1.2 ^b	0.2 ^b
-Me ^ξ	0.0 ^a	0.0 ^a	0.4 ^b	0.8 ^b	0.2 ^b	1.6 ^b
-T ^μ	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente (P < 0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), ^ξ sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

3.2 PESO HÚMEDO Y PESO SECO

Para las variables peso húmedo y peso seco se observaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). Todos los tratamientos con la ausencia de nutrientes, exceptuando el tratamiento sin potasio (-K), mostraron producción de biomasa seca y húmeda menores que el tratamiento con todos los nutrientes completos. Se encontró un mayor peso de biomasa húmeda (Cuadro 10) y biomasa seca (Cuadro 11) en el tratamiento todos los nutrientes (+T), similar al tratamiento sin potasio (-K). Los tratamientos sin nitrógeno (-N), sin fósforo (-P) y testigo absoluto (-T) obtuvieron los menores pesos húmedos y secos, muy inferiores al resto de los tratamientos; lo cual indica que la deficiencias de estos nutrientes afectó significativamente el desarrollo de los órganos. Los tratamientos (-Mg S Me) y (-Me) obtuvieron pesos moderados.

Cuadro 10. Peso húmedo (g) de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) cultivada durante 50 días bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Tallo	Raíz	Hojas		Peciolo	Peso Total
			Asintomáticas	Sintomáticas		
+T ^β	43.2 ^a	19.3 ^a	16.1 ^a	6.9 ^a	11.1 ^{ab}	97 ^a
-N [∞]	10.0 ^c	3.5 ^d	0.0 ^c	2.2 ^d	1.0 ^d	16.7 ^d
-P ^π	17.9 ^{bc}	6.4 ^d	5.3 ^{bc}	3.8 ^{bcd}	3.0 ^{cd}	36.6 ^{cd}
-K ^α	44.8 ^a	14.6 ^{ab}	16.4 ^a	6.6 ^{ab}	12.6 ^a	95.2 ^a
-Mg S Me ^Ω	26.8 ^b	7.9 ^{cd}	9.2 ^b	5.4 ^{abc}	8.2 ^{ab}	57.5 ^{bc}
-Me ^ξ	27.7 ^b	12.6 ^{bc}	10.5 ^{ab}	4.3 ^{abcd}	7.5 ^{bc}	62.5 ^b
-T ^μ	9.9 ^c	4.4 ^d	0.0 ^c	2.5 ^{cd}	0.9 ^d	17.8 ^d

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente ($P < 0.05$).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), ^ξ sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

Cuadro 11. Peso seco (g) de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) cultivada durante 50 días bajo condiciones de deficiencias de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Tallo	Raíz	Hojas		Pecíolo	Peso Total
			Asintomáticas	Sintomáticas		
+T ^β	5.51 ^{ab}	4.57 ^a	3.64 ^a	1.78 ^a	1.35 ^a	18.8 ^a
-N [∞]	1.67 ^d	0.66 ^d	0.0 ^c	0.40 ^d	0.17 ^d	3.1 ^d
-P ^π	3.38 ^{cd}	1.34 ^{cd}	0.44 ^c	0.78 ^{cd}	0.20 ^d	6.1 ^{bc}
-K ^α	8.66 ^a	3.29 ^{ab}	3.60 ^a	1.50 ^{ab}	1.20 ^{ab}	18.5 ^a
-Mg S Me ^Ω	4.60 ^c	1.66 ^{cd}	0.67 ^c	1.10 ^{bc}	0.60 ^c	8.6 ^{bc}
-Me [£]	5.18 ^{cb}	2.75 ^{bc}	2.29 ^b	1.46 ^{ab}	0.86 ^{bc}	12.6 ^b
-T ^μ	1.70 ^d	0.79 ^d	0.0 ^c	0.51 ^d	0.06 ^d	2.9 ^d

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente (P <0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), [£] sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

3.3 COLOR DE LAS HOJAS

Los síntomas de deficiencia de nutrientes se manifestaron principalmente en el color de las hojas, en el cual se encontraron diferencias entre tratamientos (P<0.05). La ausencia de nitrógeno (-N) (Figura 2) causó colores en el rango de 2.5 GY análogo al testigo absoluto (-T) (Figura 7). Los demás tratamientos se encontraron en el rango de 5 GY incluyendo el tratamiento todos los nutrientes (+T) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Determinación del color de las hojas de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) cultivada 50 días bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	Días después del trasplante		
	17	33	47
+T ^β	5 GY 6/6 ^{aΦ}	5 GY 6/4 ^{a∞}	5 GY 4/6 ^{a§}
-N [∞]	2.5 GY 7/4 ^{b¥}	2.5 GY 8/4 ^{b¥}	2.5 GY 8/6 ^{b¥}
-P ^π	5 GY 6/8 ^{aΦ}	5 GY 4/8 ^{aΦ}	5 GY 4/8 ^{a§}
-K ^α	5 GY 5/4 ^{a∞}	5 GY 4/6 ^{a§}	5 GY 4/4 ^{aΩ}
-Mg S Me ^Ω	5 GY 5/4 ^{a∞}	5 GY 5/10 ^{aΦ}	5 GY 4/8 ^{a§}
-Me [£]	5 GY 5/10 ^{aΦ}	5 GY 4/6 ^{a§}	5 GY 4/6 ^{a§}
-T ^μ	2.5 GY 8/4 ^{b¥}	2.5 GY 7/10 ^{b¶}	2.5 GY 8/6 ^{b¥}

*Medias en la misma columna con las diferente letras son estadísticamente diferente (P <0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), [£] sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

^Ω Verde oscuro, [§] Verde, [∞] Verde oliva, ^Φ Verde claro, [¶] Verde amarillo, [¥] Verde amarillo pálido.

3.4 ANÁLISIS FOLIAR

El contenido de nutrientes en las hojas de las plantas de piñón a los 50 días varió significativamente ($P < 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 13). En general, se encontraron concentraciones mayores en aquellas plantas con limitación de algún nutriente en comparación con las plantas con todos los nutrientes (+T). Usualmente cuando sólo un elemento limita el crecimiento, los elementos no limitantes se acumulan en altas concentraciones (Smith *et al.* 1985).

La presencia de un elemento dado puede aumentar la absorción de otro y así como la deficiencia de un nutriente puede ocasionar un exceso de otros (Ospina y Ceballos 2002). Las concentraciones foliares de P y K eran mayores en las plantas con deficiencia de N (-N) con respecto al tratamiento todos los nutrientes +T; la concentración de N fue mayor en el tratamiento sin magnesio, azufre y microelementos (-Mg S Me) y superior al tratamiento +T. Las concentraciones más bajas de Mg se encontraron en las plantas que crecieron en ausencia de P (-P).

La carencia de potasio fue una que las últimas deficiencias en manifestarse, siendo su sintomatología poco acentuada y que en general no afectó el desarrollo de la planta. Las plantas sembradas en ausencia de K (-K) mostraron los contenidos más bajos del elemento en las hojas, presentando altas concentraciones de nitrógeno y magnesio. Quizás este comportamiento contribuye al mantenimiento de la suma de cationes dentro de la planta (Marschner 1995).

Cuadro 13. Análisis de hojas sintomáticas de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) cultivadas 50 días con deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.*

Tratamiento	%						mg/kg				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
+T ^β	3.80 ^b	0.14 ^c	1.70 ^{cd}	4.02 ^a	1.42 ^a	0.11 ^a	5.23 ^b	175.6 ^b	226.8 ^{ab}	17.2 ^b	199.8 ^a
-N [∞]	1.43 ^c	0.20 ^a	2.65 ^a	1.60 ^{bc}	1.11 ^b	dnd [§]	10.8 ^{ab}	184.0 ^b	238.5 ^{ab}	26.6 ^a	dnd [§]
-P ^π	3.78 ^b	0.11 ^d	1.93 ^{bc}	1.94 ^b	0.74 ^c	0.08 ^b	6.7 ^b	129.7 ^b	128.2 ^c	26.9 ^a	171.4 ^b
-K ^α	3.85 ^b	0.17 ^b	1.19 ^c	3.53 ^a	1.27 ^{ab}	0.10 ^a	5.92 ^b	139.8 ^b	239.31 ^{ab}	21.2 ^{ab}	187.04 ^{ab}
-Mg S Me ^Ω	4.30 ^a	0.18 ^b	1.60 ^d	3.64 ^a	1.18 ^b	dnd [§]	8.9 ^b	140.7 ^b	260.4 ^{ab}	26.4 ^a	dnd [§]
-Me ^ξ	3.86 ^b	0.16 ^{bc}	1.5 ^{de}	4.03 ^a	1.32 ^{ab}	dnd [§]	6.43 ^b	161.1 ^b	280.6 ^a	15.9 ^b	dnd [§]
-T ^μ	1.16 ^c	0.17 ^b	2.0 ^b	1.12 ^c	0.79 ^c	dnd [§]	17.5 ^a	297.6 ^a	181.5 ^{bc}	17.11 ^b	dnd [§]
Rangos Óptimos ²	2-5	0.2-0.5	1-5	0.1-1	0.1-0.4	0.1-0.3	5-20	20-250	20-300	15-20	10-100

*Medias en la misma columna con diferente letras son estadísticamente diferente (P <0.05).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), ^ξ sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

[§] datos no determinados.

² Arévalo, G. 2008. Rangos de interpretación de análisis foliares. Curso de Ciencias de Suelos y Nutrición Vegetal. EAP, Zamorano, Honduras.

Cuadro 14. Evaluación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) cultivada 47 días. Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Síntoma de Deficiencia
+T ^β	Ninguno (Figura 1).
-N [∞]	Se presentó un crecimiento muy reducido de la planta a partir del día 25, clorosis y amarillamiento generalizado en el follaje y hojas muy pequeñas (Figura 2).
-P ^π	Reducción del tamaño de la planta, amarillamiento, necrosis y caída de las hojas bajas. En algunos casos se presentaron colores rojizos en la nervadura de las hojas inferiores y superiores (Figura 3).
-K ^α	Necrosis o quemado en los bordes de las hojas viejas (Figura 4).
-Mg S Me ^Ω	Clorosis que comienza en áreas cercanas a la nervadura hacia los bordes en las hojas viejas (Figura 5).
-Me [£]	Clorosis intervenal y bordes quemados, Necrosis en nervadura central y en los bordes de las hojas viejas (Figura 6).
-T ^μ	Clorosis y amarillamiento generalizado, crecimiento reducido de las hojas, tallo y raíz (Figura 7).

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), [£] sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).



Figura 1. Aspecto de planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra con aplicación de todos los nutrientes (+T). Zamorano, Honduras.



Figura 2. Planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Nitrógeno (-N). Zamorano, Honduras.



Figura 3. Planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Fósforo (-P). Zamorano, Honduras.



Figura 4. Planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Potasio (-K). Zamorano, Honduras.



Figura 5. Planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de Magnesio Azufre y microelementos (-Mg S Me). Zamorano, Honduras.



Figura 6. Planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra con síntomas de deficiencia de microelementos (-Me). Zamorano, Honduras.



Figura 7. Planta de *Jatropha curcas* 47 días después de siembra sin aplicación de nutrientes (-T). Zamorano, Honduras.

4. CONCLUSIONES

- La deficiencia de N se manifestó con mayor claridad, con síntomas como clorosis y falta de crecimiento similar a las plantas sin ningún nutriente (-T).
- La deficiencia de P (-P) se manifestó en menor crecimiento y desarrollo radicular que el tratamiento con todos los nutrientes (+T), pero fue mejor que el tratamiento ningún nutriente (-T).
- En los tratamientos sin Potasio (-K), sin magnesio, azufre y microelementos (-Mg S Me) y sin microelementos (-Me) se observaron pocos síntomas de deficiencias.
- El efecto de deficiencias de los macronutrientes N y P fue químicamente y morfológicamente visibles, en comparación al resto de los macronutrientes (Mg, S) y de los micronutrientes (Mn, Cl, Zn, Cu, Mo).
- La descripción de los síntomas y el material fotográfico presentados facilitan el reconocimiento de deficiencias nutricionales y la toma de medidas correctivas.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar el experimento por mayor tiempo, ya que la deficiencia de algunos nutrientes se manifiestan durante la floración, formación del fruto y rendimiento del cultivo.
- Determinar por separado el efecto de la deficiencia de micronutrientes.
- Realizar el análisis foliar de toda la biomasa para sacar una curva de extracción de nutrientes.
- Utilizar un sustrato con menor disponibilidad de nutrientes.

6. LITERATURA CITADA

Calderón, F. 1997. Preparación de la solución Nutritiva : Los fertilizantes líquidos. In: Hidroponía: Una esperanza para Latinoamérica. Curso-taller Internacional de Hidroponía:Ed. A. Rodríguez. Lima , Perú.393 p.

De la Vega, J. 2005. *Jatropha* y Bio- Disponible en Diesel (en línea). México. Consultado 10 mar. 2009.
<http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/JorgeDelaVega/Jatropha.pdf>

Fuentes, A., Véliz, J., Imery, J. 2006. Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de *Aloe vera* (en línea). Caracas, Venezuela. Consultado 14 set. 2009. Disponible en
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000200007&script=sci_arttext

Henning, R.K. 1998. Use of *Jatropha curcas* L. (JCL): A household perspective and its contribution to rural employment creation. Regional Workshop on the Potential of *Jatropha curcas* in Rural Development & Environmental Protection. Harare, Zimbabwe. Mayo, 1998. 5 p.

Malatova, E; G. C. Vitty y S.A..Oliveira.1989.Avaliacao do estado nutricional das plantas-principios e aplicacoes. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Priracicaba. 201 p.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants: Diagnosis of Deficiency and Toxicity of Mineral Nutrients. Segunda Edición. San Diego, CA, U.S. Academic Press Inc. 889 p.

Ospina, B; Ceballos, H. 2002. La Yuca en el tercer milenio: Suelo y Fertilización de la Yuca. Primera Edición. Calí, Colombia. Imágenes Gráficas S. A. 586 p.

Rowell, D. 1994. Soil Science Methods and Applications: Soil Fertility. Primera Edición. Singapore. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd.560 p.

Smith, G; Cornforth, I; Henderson, H. 1985. Critical leaf concentrations for deficiencies of nitrogen, potassium, phosphorus, sulphur, and magnesium in perennial ryegrass. New Phytol. 409 p.

Sotolongo, J., Beatlón, P. 2005. Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo (en línea). Cuba, CATEDES. Consultado 15 jul. 2009. Disponible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar18/HTML/articulo04.htm>

Wilde, SA; Voigh, GK. 1977. Munsell Color Charts for plant TISSUES, Soil department, University of Wisconsin.

7. ANEXOS

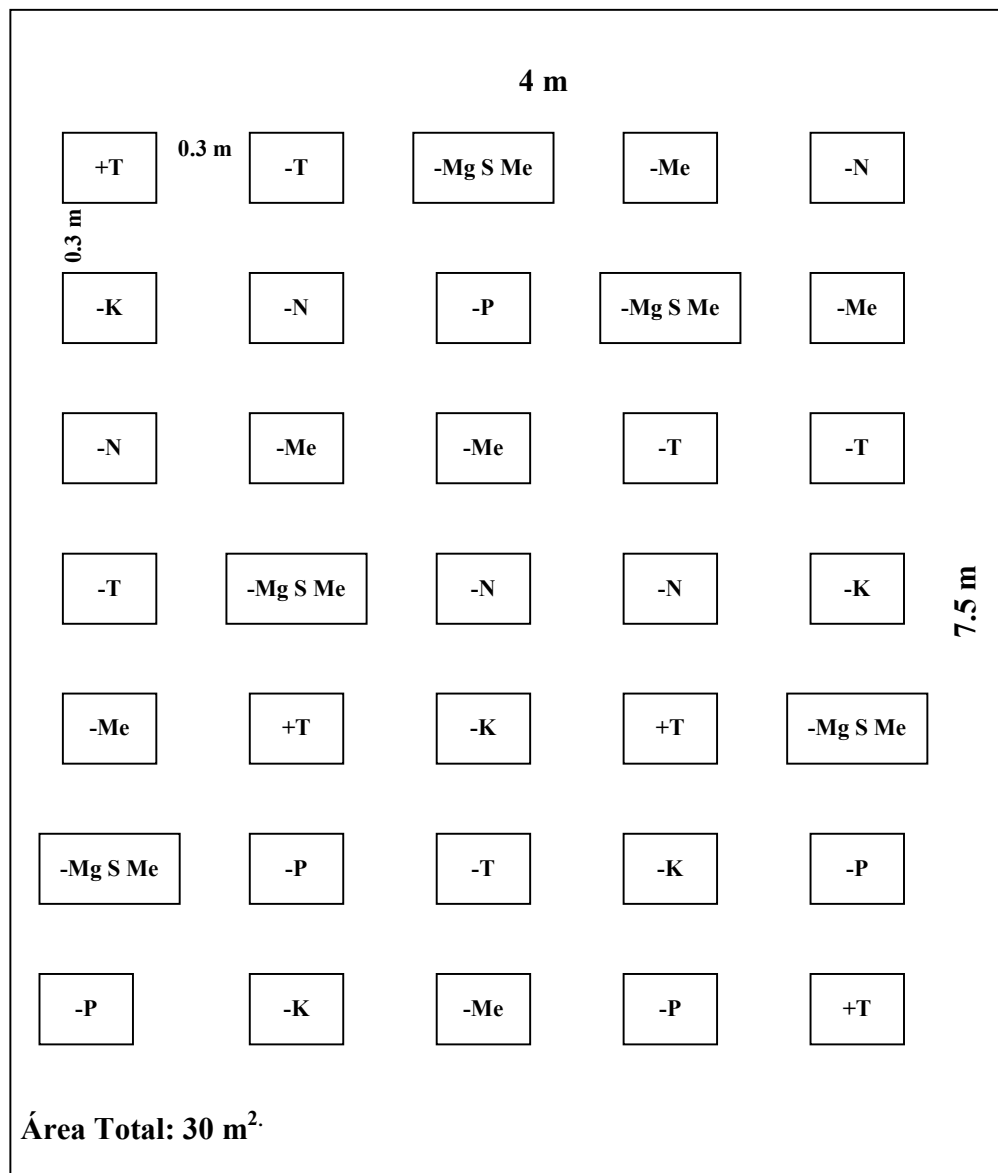
Anexo 1. Análisis de sustrato al final del experimento de plantas de piñón (*Jatropha curcas*) 50 días después del trasplante, bajo condiciones de deficiencia de nutrientes. Zamorano, Honduras.

Tratamiento	pH (H2O)	%	%	% Saturación				mg/Kg (Extractable)				
				K	Ca	Mg	Na	P	Cu	Fe	Mn	Zn
+T ^β	6.25	0.43	0.02	10.31	48.97	2.89	29.31	25	0.1	59	55	0.6
-N [∞]	6.41	0.87	0.04	11.47	42.27	3.35	24.32	23	0.1	48	46	0.6
-P ^π	6.13	0.16	0.01	12.12	39.61	3.37	21.05	6	0.1	45	44	0.6
-Me [‡]	6.17	0.27	0.01	10.39	45.70	2.55	33.21	20	0.1	50	40	0.5
-K ^α	6.51	0.38	0.02	6.52	78.22	1.81	58.34	21	0.1	52	40	0.6
-T [‡]	7.06	0.32	0.02	7.25	65.51	2.04	36.32	7	0.1	44	46	0.5
-Mg S Me ^Ω	6.37	0.27	0.01	10.71	42.49	2.75	30.09	18	0.1	53	33	0.5
Rangos Óptimos ³	5.5- 6.5	2.5-4	<0.125	50	50-75	15-120	<15	13-30	1.7-3.4	56-112	28-112	1.7- 3.4

^β todos los nutrientes (+T), [∞] sin N (-N), ^π sin P (-P), ^α sin K+ (-K), ^Ω sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), [‡] sin microelementos (-Me), ^μ testigo absoluto (-T).

³ Arévalo, G. 2008. Rangos óptimos de nutrientes en suelos. Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. EAP Zamorano, Honduras.

Anexo 2. Diseño y Ubicación de las Unidades Experimentales, Invernadero E, Zona 3. EAP, Zamorano, Honduras.



Todos los Nutrientes (+T), Sin N (-N), Sin P (-P), Sin K+ (-K), Sin Mg, S y microelementos (-Mg S Me), Sin microelementos (-Me), Testigo Absoluto (-T).