

Crecimiento y desarrollo durante la etapa vegetativa inicial de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. Ex Steud (*Dinde*) con la aplicación de bioinoculantes en suelo solarizado de la zona cafetera

WERNER EDUARDO MORALES ROMERO

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial para optar al título de

BIOLOGO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOLOGIA

Bogotá, D.C.

Diciembre de 2009

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velara por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral catolica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Crecimiento y desarrollo durante la etapa vegetativa inicial de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. Ex Steud (*Dinde*) con la aplicación de bioinoculantes en suelo solarizado de la zona cafetera

WERNER EDUARDO MORALES ROMERO

APROBADO

Loyla Rodríguez
Director

Gerardo Moreno
Jurado

Crecimiento y desarrollo durante la etapa vegetativa inicial de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. Ex Steud (*Dinde*) con la aplicación de bioinoculantes en suelo solarizado de la zona cafetera

WERNER EDUARDO MORALES ROMERO

APROBADO

Ingrid Schuler, Ph.D
Decana Académica
Facultad de Ciencias

Andrea Forero
Directora
Carrera de Biología

**Dedico este trabajo a mi madre Diana,
a mi padre Eduardo y a mi abuelo Noel,
porque de ellos aprendí a superar las situaciones difíciles
y a lograr enfrentar la vida con constancia y disciplina.**

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por darme la oportunidad de realizar este trabajo de la mejor manera y por el apoyo de las siguientes entidades y personas que hicieron parte para lograr el desarrollo del mismo:

Al CIEBREG por permitirme participar en este proyecto de valoración de bienes y servicios en el Complejo Ecoregional de los Andes del Norte en aras de realizar estrategias de manejo de biodiversidad.

A la Unidad de Biotecnología Vegetal de la Pontificia Universidad Javeriana por permitirme utilizar sus instalaciones en el desarrollo de las pruebas de laboratorio, y también, a los auxiliares Jorge y Norma.

A Loyla Rodríguez y Lucia Ana Díaz, profesoras e investigadoras de la Unidad por sus aportes y apoyo en cada una de las etapas de este trabajo de grado.

A la empresa Geoambiente, por permitirme usar sus instalaciones para trabajar en su centro de producción de plantas forestales “Bambusa”.

A Olivo, viverista del centro de producción “Bambusa” por su gran colaboración en el montaje de la experimental de las etapas de este trabajo.

A mi madre, por su dedicación, amor y confianza, que me brindo todo el tiempo y me permitió seguir adelante en la realización de este proyecto.

A Daniela Londoño por todo el acompañamiento e incondicional ayuda en las dificultades que se me presentaron, y por los momentos felices que hizo nacer en mí y no me dejaron desfallecer.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	2
2.1. Generalidades de <i>Maclura tinctoria</i> (Dinde)	2
2.1.1. Distribución geográfica	2
2.1.2. Usos	2
2.1.3. Taxonomía	3
2.1.4. Descripción botánica	3
2.1.5. Fenología	4
2.2. Nutrición mineral	4
2.3. Crecimiento y desarrollo	8
2.4. Análisis de crecimiento vegetal	9
2.5. Estudios realizados en <i>Maclura tinctoria</i>	10
2.6. Bioinoculantes	11
2.7. Situación de <i>Maclura tinctoria</i> en el eje cafetero	13
2.8. Practicas de manejo en vivero forestal	13
3. FORMULACION DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION	15
3.1. Formulación del problema	15
3.1.1. Preguntas de investigación	15
3.2. Justificación de la investigación	16
4. OBJETIVOS	16
4.1. Objetivo general	16
4.2. Objetivos específicos	16
5. HIPOTESIS	17
6. MATERIALES Y MÉTODOS	17
6.2. Metodología	18
7. RESULTADOS Y DISCUSION	25
7.1. Efecto del suelo sobre variables de crecimiento y desarrollo	25
7.2. Efecto del suelo sobre variables nutrición sustrato-foliar	40
7.3. Efecto del suelo sobre variables de características del suelo	52

7.4. Efecto de bioinoculantes sobre variables de crecimiento y desarrollo respecto al control positivo	58
7.5. Efecto de bioinoculantes sobre variables de nutrición sustrato – foliar respecto al control positivo	74
7.6. Efecto de bioinoculantes sobre variables relacionadas con características químicas del suelo respecto al control positivo	85
7.7. Efecto de la interacción suelo – bacteria sobre variables de crecimiento y la asimilación de N, P, Fe	89
7.8. Correlación entre variables de extracción de nutrientes y biomasa vegetal en <i>Maclura tinctoria</i>	89
8. CONCLUSIONES	91
9. RECOMENDACIONES	92
10. REFERENCIAS	93
11. ANEXOS	100

RESUMEN

Maclura tinctoria (Dinde) es una especie cuya madera posee excelente calidad debido a propiedades como su dureza, color amarillo y alta densidad. Esta especie posee una amplia distribución en Colombia, sin embargo la transformación del paisaje mediante procesos de potrerización, ha originado que actualmente se presente una baja densidad de la especie en la cuenca del río La Vieja. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres bioinoculantes sobre el crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* sembrada en suelo solarizado y no solarizado de la zona cafetera durante la etapa vegetativa inicial en condiciones de vivero. En este trabajo, las plantas de dinde en su etapa vegetativa inicial presentaron un mayor crecimiento en el suelo solarizado, según los resultados encontrados en las variables de crecimiento y desarrollo, y nutrición sustrato – foliar. En cuanto a la interacción suelo * bioinoculante solo se encontraron dos variables de nutrición sustrato – foliar. Las variables de biomasa y de extracción de nutrientes mostraron correlaciones positivas durante el periodo de evaluación.

Este trabajo se encuentra enmarcado dentro del proyecto “Valoración de bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos: Complejo Ecoregional de los Andes del Norte” desarrollado por CIEBREG. Los resultados de este trabajo se constituyen en un aporte para el crecimiento y desarrollo de plantas de *Maclura tinctoria* sembradas en suelo solarizado con la aplicación de bioinoculantes durante la etapa vegetativa inicial en vivero, con el fin de garantizar la utilización y manejo sostenible de la especie bajo esquemas de sistemas silvopastoriles.

1. Introducción

Maclura tinctoria (“dinde o palo de mora”) es una especie vegetal utilizada en procesos de restauración ecológica para la recuperación de suelos, construcción de cercas vivas y siembra en asocio con otros cultivos agrícolas. Adicionalmente, representa múltiples usos a nivel maderero, industrial y medicinal. El dinde es una especie que crece naturalmente en regiones de los departamentos de Huila, Valle del Cauca, Risaralda y Quindío. En los últimos 30 años, el aprovechamiento indiscriminado de esta especie por parte de las poblaciones humanas que habitan estos departamentos ha generado la disminución de las poblaciones naturales de la especie a través de procesos de potrerización en suelos donde crece naturalmente. Adicionalmente, este tipo de aprovechamiento también se debe a que la madera de *Maclura tinctoria* es utilizada a nivel doméstico como leña y sus frutos utilizados por sus propiedades medicinales para tratar malestares estomacales; a nivel industrial, la madera es utilizada por su alta calidad en la construcción de viviendas. Este trabajo se encuentra enmarcado dentro del proyecto “Valoración de bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos: Complejo Ecoregional de los Andes del Norte” desarrollado por el Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos CIEBREG. La cuenca del río La Vieja se localiza dentro de este complejo, entre los departamentos de Valle del Cauca, Risaralda y Quindío, y es reconocida por la presencia productiva y funcional de diferentes especies de plantas de interés económico, entre las que se encuentra *Maclura tinctoria*.

La transformación del paisaje de la zona cafetera y la implementación de sistemas productivos basados en ganadería sin manejo silvopastoril o uso de especies arbóreas nativas, han reducido el cultivo de dinde y su aprovechamiento sostenible en el tiempo. En los procesos de restauración, la reintroducción de especies forestales nativas en sistemas productivos ganaderos es una alternativa implementada por los productores de la región de impacto de este proyecto. Sin embargo, los escasos estudios acerca de la ecofisiología del

cultivo del dinde en los temas de la propagación, crecimiento y desarrollo limita el establecimiento e implementación de programas bajo esquemas de manejo silvopastoril. Dada la naturaleza del proyecto que enmarca este estudio y la necesidad de utilizar recursos biológicos dentro de esquemas de manejo sostenible, se propone la utilización de recursos microbianos nativos en las estrategias de manejo de la especie desde la etapa de vivero. Este trabajo se encuentra enmarcado dentro del proyecto “Valoración de bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos: Complejo Ecoregional de los Andes del Norte” desarrollado por el Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos CIEBREG.

2. Marco teórico:

2.1. Generalidades de *Maclura tinctoria* (Dinde)

2.1.1. Distribución geográfica

Las plantas de *Maclura tinctoria* crecen en un amplio rango de condiciones ambientales, en altitudes comprendidas entre los 0 y los 1500 msnm, y en la formación vegetal de bosque tropical y subtropical húmedo y seco. Se distribuye desde México hasta Argentina. Es frecuente encontrar plantas de dinde en bosques secundarios (CATIE, 1997).

En Colombia, se encuentra en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Santander, Tolima, Amazonas, Caquetá y zonas secas de los departamentos de Quindío y Risaralda (Vargas, 2002).

Es tolerante a suelos poco profundos y se establece exitosamente en suelos calcáreos, con buen drenaje y de textura arcillo – arenosos fértiles (CATIE, 1997).

2.1.2. Usos

Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud (Dinde o palo de mora) es una especie vegetal de importancia económica por su uso como madera debido a que posee excelente calidad por sus propiedades como dureza, color amarillo, alta densidad (0.80-0.85 g/cm³), buen pulimento y resistencia al ataque de hongos e

insectos. Es utilizada para elaborar construcciones pesadas, implementos agrícolas, puertas y artesanías, entre otros. Adicionalmente, a partir de la corteza de los árboles se extraen diferentes tintes y colorantes, de ahí, que fuera llamado en la antigüedad el “tornasol de los tintoreros” debido a que el ácido úsnico que la planta de dinde produce puede determinar diferentes colores de acuerdo al pH del medio, siendo utilizado en la tinción de lana, seda y cueros. Igualmente, la planta se siembra para la recuperación de suelos, en asocio con cultivos agrícolas y para el establecimiento de cercas vivas (CATIE, 1997).

2.1.3. Taxonomía

La clasificación taxonómica de *Maclura tinctoria* esta establecida a partir del agrupamiento de características botánicas que posee esta especie. Según IPNI (2008), las plantas de la especie *Maclura tinctoria* presentan la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Urticales

Familia: Moraceae

Genero: *Maclura*

Especie: *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. ex Steud.

Sinónimo: *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaudich. ex Benth. & Hook.f.

2.1.4. Descripción botánica

Maclura tinctoria es un árbol semiperennifolio que puede alcanzar una altura de hasta 30 m y un DAP de 90 cm. Las raíces crecen superficialmente y se extienden en la base. El tallo presenta espinas cortas y rígidas. Las hojas están dispuestas en dos hileras en disposición alterna, miden de 5 a 15 cm de largo, un peciolo de 0.5 a 1 cm, son simples, poseen formas que van de elípticas a ovado-oblongas, con ápice acuminado, bordes dentados y base desigual. Las flores masculinas y femeninas se presentan en árboles diferentes (especie dioica). Las masculinas crecen en amentos (cordoncitos colgantes) y las femeninas en cabezuelas solitarias de 4 a 5 mm de diámetro. Los frutos son pequeños y dispuestos en cabezuelas de 1 a 2 cm de diámetro y contienen una

pulpa carnosa y comestible. Contienen gran número de semillas planas de color café, de 2 a 3 mm de largo, con una base redondeada y acabadas en punta (Cordero, 2003; Center Tropical Forest Science, 2008).

2.1.5. Fenología

La fenología considera el estudio de las fases o etapas del ciclo de vida de las plantas, este contribuye al reconocimiento de los patrones reproductivos y vegetativos de las plantas (Mantovani et al. 2003). En el cuadro 1, se presentan los estadios fenológicos de *Maclura tinctoria* durante la etapa vegetativa inicial.

Cuadro 1. Estados fenológicos en la etapa vegetativa inicial en *Maclura tinctoria*

Estadio principal	Descripción
Emergencia	Se reconoce desde el comienzo del crecimiento del gancho del hipocotilo hasta que este atraviesa la superficie del suelo; los cotiledones salen a través de la superficie del suelo: germinación hipogea
Desarrollo de hojas	Se reconoce desde el despliegue de los cotiledones y la emergencia del primer par de hojas
Crecimiento del tallo	Se reconoce el crecimiento longitudinal del tallo primario y ramificación

Adaptado de Pérez García *et al.* 2001

2.2. Nutrición mineral

La nutrición mineral considera el estudio de la forma cómo las plantas obtienen y asimilan los nutrientes minerales para crecer y desarrollarse. El interés práctico por la nutrición mineral está estrechamente relacionado con la producción agrícola y el manejo sostenible de los elementos minerales en los cultivos (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon-Bieto & Talón, 2000).

Un elemento mineral esencial es aquel que es necesario para que una planta complete el ciclo de vida formando semillas viables, y este no puede ser sustituido por otro elemento mineral en la función que cumple. Adicionalmente, un elemento mineral esencial puede ser constituyente de un metabolito esencial primario o secundario, o ser requerido debido a que cumple una función en el metabolismo vegetal (Azcon-Bieto & Talón, 2000; Van Iersel *et al.* 1999).

En el cuadro 2, se resumen las funciones que desempeñan los elementos minerales.

En el cuadro 2, se presentan las funciones que cumplen los elementos.

Cuadro 2. Funciones bioquímicas de los nutrientes minerales esenciales.

Nutriente mineral	Funciones
Grupo 1	Nutrientes que hacen parte de compuestos orgánicos
Nitrógeno (N)	Constituyente de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, etc.
Azufre (S)	Componente de cisteína, cistina, metionina y proteínas.
Grupo 2	Nutrientes que son importantes en el almacenamiento de energía e integridad estructural
Fósforo (P)	Componente de azúcares fosfatos, ácidos nucleicos, coenzimas, etc. Cumple un papel clave en reacciones que involucran el ATP.
Silicio (Si)	Participa en las propiedades mecánicas de la pared celular, como rigidez y elasticidad.
Boro (B)	Esta involucrado en la elongación celular y el metabolismo de los ácidos nucleicos.
Grupo 3	Nutrientes en forma iónica
Potasio (K)	Catión encargado en participar en establecer la turgencia celular
Calcio (Ca)	Actúa como segundo mensajero en la regulación metabólica.
Magnesio (Mg)	Constituyente de la molécula de clorofila.
Cloro (Cl)	Requerido en reacciones del proceso de fotosíntesis.
Manganeso (Mn)	Requerido para iniciar la actividad de deshidrogenasas, descarboxilasas, quinazas, oxidasas, etc. Participa en la fotólisis del agua.
Sodio (Na)	Esta involucrado en la regeneración del fosfoenilpiruvato en plantas C4 y CAM.
Grupo 4	Nutrientes que están involucrados en reacciones de oxidación - reducción
Hierro (Fe)	Constituyente de citocromos y proteínas involucradas en fotosíntesis y respiración.
Zinc (Zn)	Constituyente de deshidrogenasas.
Cobre (Cu)	Constituyente de oxidasas y fenolasas.
Níquel (Ni)	Constituyente de ureasas e hidrogenasas.
Molibdeno (Mo)	Constituyente de nitrogenasas y reductasas.

(Adaptado de Taiz & Zeiger, 2006)

La asimilación es la incorporación de los elementos minerales esenciales para una planta a compuestos orgánicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas como pigmentos, cofactores enzimáticos, lípidos, ácidos nucleicos y aminoácidos. El proceso por el cual las plantas superiores pueden sintetizar

sus componentes orgánicos a partir de nutrientes inorgánicos involucra la absorción de estos desde la solución de suelo por parte del sistema radical y la posterior incorporación (Taiz & Zeiger, 2006). Los nutrientes minerales deben ser suministrados a la planta en la forma, cantidad, estado de desarrollo y lugar necesarios para soportar la asimilación y prevenir deficiencias minerales que generen limitaciones en el crecimiento y calidad de la planta (Van Iersel *et al.* 1999).

A continuación se resumen aspectos importantes de los elementos minerales nitrógeno, fósforo y hierro:

- El nitrógeno es absorbido en las formas disponibles nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+); los cuales se mueven hacia las raíces de las plantas por flujo masivo y difusión. El nitrógeno participa en el metabolismo de compuestos esenciales como proteínas, ácidos nucleicos y en la molécula de clorofila. Un adecuado suministro de nitrógeno está relacionado con una alta tasa de actividad fotosintética; no obstante, el exceso de amonio puede retardar el crecimiento al restringir la incorporación de iones. La deficiencia de nitrógeno genera clorosis en la zona basal de las hojas adultas (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon-Bieto & Talón, 2000; Havlin *et al.* 1999).

- El fósforo es absorbido como H_2PO_4^- en condiciones de pH por debajo de 6.0 y HPO_4^{2-} en condiciones de pH por encima de 6.0. En las plantas, el fósforo está involucrado en el almacenamiento y transferencia de energía; hace parte de moléculas energéticas de la planta como el ATP y el ADP; desempeña un papel importante en los procesos de fotosíntesis, respiración y en el metabolismo energético. Así mismo, cumple un papel haciendo parte de moléculas y estructuras celulares como los ácidos nucleicos y los fosfolípidos. La deficiencia de fósforo causa enanismo, un lento crecimiento en las plantas y genera coloración verde oscura en las hojas y necrosis de los tejidos foliares (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon-Bieto & Talón, 2000; Havlin *et al.* 1999).

- El hierro es absorbido por las raíces en las formas iónicas Fe^{2+} y Fe^{3+} . Participa en reacciones de oxidación-reducción en el suelo y en la planta, debido a las propiedades químicas que posee. El hierro es un componente molecular de las

porfirinas, citocromos, grupos hemo, hematina, ferricromo y hemoglobina involucradas en reacciones de oxidación – reducción en la respiración y fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon-Bieto & Talón, 2000; Havlin *et al.* 1999).

La deficiencia de hierro causa clorosis interveinal en las hojas jóvenes, debido a que el hierro por su movilidad, no es translocado de las hojas adultas a los tejidos meristemáticos y hojas jóvenes (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon-Bieto & Talón, 2000; Havlin *et al.* 1999).

La fertilización es una de las prácticas de manejo de los cultivos que pretende aportar los elementos minerales esenciales para las plantas con el propósito de asegurar la calidad del material vegetal y sus productos derivados (Havlin *et al.* 1999). La aplicación de fertilizantes a las plantas permite garantizar la calidad del material vegetal y sus productos derivados si se considera que puede actuar acelerando el crecimiento de los órganos vegetales, así mismo modificar el contenido nutricional de los tejidos y así aumentar la cantidad de reservas disponibles, para mejorar el enraizamiento posttrasplante (Landis, 1985; van den Driessche, 1991).

2.2.1. Contenido de elementos en el sustrato y en el tejido vegetal

El manejo adecuado de la fertilización es imprescindible para realizar un diagnóstico del requerimiento nutricional de las plantas, con el propósito de primero, verificar que la aplicación de los fertilizantes sea la adecuada de acuerdo a la planta y estado de desarrollo, para no generar contaminación de suelos y cuerpos de agua; segundo reconocer la causa de patologías específicas asociadas a problemas nutricionales generados por la aplicación no adecuada de los fertilizantes; tercero hacer la recomendación del plan de fertilización acorde con los requerimientos de las plantas y los análisis de suelos (Van Iersel *et al.* 1999).

Dos diferentes aproximaciones cuantitativas que permiten hacer un manejo sostenible de la fertilización en los cultivos son el análisis de suelo y el análisis del tejido vegetal; estas pruebas diagnósticas son utilizadas comúnmente para determinar los niveles apropiados de fertilización que se pueden aplicar en los cultivos (Taiz & Zeiger, 2006; Van Iersel *et al.* 1999).

El análisis de suelo es la determinación química del contenido nutricional en una muestra de suelo tomado de una zona adyacente a la raíz de la planta. Este análisis aporta información importante de los nutrientes potencialmente disponibles o asimilables por las raíces de la planta (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon-Bieto & Talón, 2000). El análisis de suelo permite prevenir la ocurrencia de deficiencias nutricionales y tomar pedidos correctivos para prevenir problemas en los cultivos (Taiz & Zeiger, 2006; Van Iersel *et al.* 1999). Debido a que el análisis de suelo no genera información acerca de los requerimientos titulares de un elemento mineral se hace necesario complementar el análisis de suelo, con un análisis de tejido vegetal para determinar que cantidad de un elemento mineral es requerida por la planta (Van Iersel *et al.* 1999). El análisis de tejido vegetal se realiza preferiblemente con hojas y pecíolos, sin embargo, factores como el tipo de elemento mineral, la edad de la planta y la especie vegetal pueden hacer recomendable el uso de otro órgano o parte de la planta (Azcon-Bieto & Talón, 2000).

2.3. Crecimiento y desarrollo

El crecimiento es definido como el incremento irreversible en materia seca, volumen, peso, cantidad de protoplasma, longitud y área foliar e involucra procesos de división, expansión, acumulación y diferenciación celular (Lambers *et al.* 1998; Silk, 1994; Salisbury & Ross, 2000; Taiz & Zeiger, 2006; Azcon Bieto & Talón, 2008; Hunt, 1990).

El crecimiento de las plantas requiere de la asociación espacio-temporal de divisiones y expansiones celulares. Sin embargo, la división celular es un mecanismo de crecimiento que no necesariamente conduce a un incremento en el tamaño del cuerpo de la planta. Por otro lado, la expansión celular siempre conlleva al crecimiento ya que la célula sufre elongación y deposición de materia en el citoplasma (Taiz & Zeiger, 2006; Lambers *et al.* 1998).

El desarrollo (o morfogénesis) puede definirse como el conjunto de cambios graduales y progresivos en tamaño (crecimiento), estructura y función (diferenciación) que hacen posible la transformación de un cigoto en una planta completa, la cual esta capacitada para obtener alimento, reproducirse y

adaptarse plenamente a su ambiente (Azcón Bieto & Talón, 2000; Taiz & Zeiger, 2006).

El cuerpo primario de la planta incrementa su tamaño a partir de la producción sucesiva de métameros; que son estructuras modulares originadas de los meristemos apicales. Un métamero comprende: una hoja, un nudo al que se inserta la hoja, la yema axilar correspondiente y el entrenudo. La forma de una planta depende del patrón de ramificación. Las plantas con crecimiento secundario desarrollan meristemos laterales que originan xilema y floema secundarios y otros tejidos de protección (Larcher, 2003; Lambers *et al.* 1998).

2.4. Análisis de crecimiento vegetal

El análisis de crecimiento explica de forma matemática a través de productos algebraicos como ocurren variaciones en el peso seco y el área foliar en las plantas en función del tiempo. Para calcular los índices de crecimiento se debe obtener el peso seco de los órganos vegetales y de la planta completa a intervalos de tiempo sucesivos. El análisis de crecimiento aporta información acerca de la eficiencia con que las plantas acumulan y traslocan fotosintetizados que la sola medición de variables de crecimiento no aportan. (Hunt, 1990; Lambers *et al.* 1998).

En cuanto al análisis de crecimiento vegetal el presente trabajo evaluó los índices relación peso foliar (RPF) y relación masa radical (RMR) teniendo en cuenta la metodología propuesta por Hunt (1990), la cual se explica a continuación:

La relación de peso foliar RPF ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) indica la cantidad de peso seco total que corresponde a la fracción de hojas. La fórmula se define como $((\text{PSH1}/\text{PS1}) + (\text{PSH}/\text{PS2}))/2$; donde PSH es el peso seco de las hojas y PS es el peso seco total por planta en los tiempos 1 y 2 respectivamente (Lambers *et al.*, 1998; Hunt, 1990).

La relación de masa radical RMR ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) indica la cantidad de peso seco total que corresponde a la fracción de raíces. La fórmula se define como $(\text{PSR1}/\text{PS1}) + (\text{PSR2}/\text{PS2}))/2$; donde PSR es el peso seco raíz y PS es el peso seco total por planta en los tiempos 1 y 2 respectivamente.

La RMR puede aumentar en las plantas cuando se presenta escasez de nutrientes en la rizosfera, así mismo, las plantas que están adaptadas a crecer en suelos con escasa disponibilidad de nutrientes presentan un RMR relativamente alto comparado con plantas que crecen en suelos con suficiente disponibilidad de nutrientes y agua (Lambers et al. 1998).

2.5. Estudios realizados en *Maclura tinctoria*

Jiménez (2007) encontró que las plantas de *Maclura tinctoria* sembradas en sustratos que contenían la mezcla de suelo – arena en una proporción 1:1, presentaron una capacidad de germinación del 77.13% en comparación con las sembradas en sustrato tierra (56.19%) y sustrato arena (55.55%); también se encontró que el estado desarrollo adecuado para el trasplante de plantas de *Maclura tinctoria* a vivero es cuando las plantas han desarrollado seis hojas. Adicional a esto, se concluyó que cuando las plantas presentaron una altura de 5.29 cm y un área foliar de 0.56 cm², se favoreció la fotosíntesis para el crecimiento y desarrollo de la planta.

En un estudio realizado por Effron *et al.* (2005), se demostró que el suelo en el cual crecen plantas de *Maclura tinctoria* presenta un contenido de carbono orgánico alto comparado con el de otras especies, lo cual estaría relacionado con una mayor cantidad de residuos que aporta esta especie al suelo y con altas tasas de descomposición, condición que estimula un aumento de la actividad microbiana y mayor producción de enzimas en el suelo con el consecuente incremento en la descomposición de la materia orgánica y ciclaje de nutrientes en el suelo.

En el estudio acerca de la propagación vegetativa de *Maclura tinctoria*, realizado por Ramos *et al.* (2004), se demostró que la aplicación de hormonas reguladoras del enraizamiento como el ANA (ácido Naftilacético) y el AIB (ácido Indolbutírico) incrementan significativamente la longitud de raíz, el número de brotes y la supervivencia de la planta en comparación con plantas a las que no se les aplicaron estas hormonas.

En otros estudios, se han llevado a cabo importantes avances en el estudio de la nutrición mineral, como el reportado por Fonseca (2004), con *Tectona grandis*

("Teca") en el cual se demostró que la aplicación de elementos minerales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) disminuyen el tiempo de permanencia de la planta en vivero, mejoran el color, el vigor y aceleran el crecimiento en comparación con plantas a las cuales no se les aplicaron estos elementos minerales. En otro estudio de nutrición mineral en *Gmelina arborea* ("Melina"), Rojas *et al.* (2004), demostraron que la aplicación de fertilizante 15-15-15 (NPK) mejora el crecimiento de las plantas que crecen en vivero cuando se aplican dosis de 150 g por planta, igualmente, en esta misma especie, Zeaser (1998), reporta que la aplicación de cal, potasio y nitrógeno a plantas de vivero promueven el crecimiento de plantas de melina más vigorosas que aquellas a las que se les aplicó un nivel de nitrógeno foliar del 2.25% con respecto al peso seco.

2.6. Bioinoculantes

Un bioinoculante es un producto biológico formulado, compuesto por microorganismos, partes o productos del metabolismo de estos. Algunos bioinoculantes están compuestos por microorganismos que pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo como el nitrógeno, el fósforo y el hierro. Los microorganismos presentes en el suelo son importantes en los ciclos biogeoquímicos de nutrientes orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo (Hoflich *et al.* 2000). En el grupo de bacterias más utilizadas para producir bioinoculantes se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, PGPR ("Plant Growth Promoting Rhizobacteria") que incluyen géneros como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*, *Burkholderia* y *Bacillus*. Las rizobacterias son microorganismos que habitan en la rizósfera. La interacción planta-rizobacteria en la rizósfera (puede ser perjudicial, benéfica y/o neutral para las plantas) juega un papel central en la transformación, movilización, solubilización, etc., de una cantidad limitada de nutrientes del suelo y la subsiguiente incorporación de estos elementos esenciales por las plantas con el fin de utilizar al máximo su potencial genético (Dey *et al.* 2004; Cakmakci *et al.* 2006; Lagos, 2007).

Uno de los aportes más importantes de las rizobacterias al manejo de los cultivos de interés, es su influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los mecanismos de promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con rizobacterias, puede deberse a varios factores entre los que se incluyen: (i) la habilidad de producir ACC (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) deaminasa, enzima responsable en las raíces de las plantas en desarrollo y así, incrementar el crecimiento y longitud de raíz (Glick, 1995); (ii) la habilidad para producir hormonas como ácido indolacético (AIA), ácido giberélico y citoquininas (Patten & Glick, 2002; Attia, 1999); (iii) la fijación no simbiótica de nitrógeno (Glick, 1995); (iv) antagonismo ante microorganismos patógenos al producir sideróforos, β -1, 3-glucanasa, quitinasas, antibióticos, pigmentos fluorescentes y cianidas (Scher & baker, 1982; Pal *et al.* 2001); y (v) solubilización de fosfatos minerales y mineralización de otros nutrientes (De Freitas *et al.* 1997).

Una de las funciones que cumplen las fitohormonas producidas por las rizobacterias es el aumento en el número de raíces por unidad de área y la longitud de los pelos absorbentes de la raíz, lo cual favorece la absorción de agua y nutrientes. Esto conduce a que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones de estrés vegetal (Hernández & Escalona, 2003; Attia, 1999).

Jiménez (1996) reporta PGPRs asociadas a la raíz de especies vegetales forestales como cajeto y nogal. Mediante el protocolo de aislamiento de diazótrofos propuesto por Döbereiner (1994), se obtuvieron 106 aislamientos de posibles diazótrofos microaerófilos a partir de suelo rizosférico y raíces de *Cedrela montana* Turczaninov. De los aislamientos que presentaron actividad nitrogenasa se reportan *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas cichorii* y posibles *Azospirillum* sp; adicionalmente, Parra (1996) determinó que la aplicación de *Azospirillum lipoferum* estimuló el proceso de germinación de semillas de *Cedrela montana* y afectó positivamente la respuesta de las variables de crecimiento vegetal de la especie mediante procesos de fijación de nitrógeno y síntesis de hormonas reguladoras de crecimiento vegetal (Zimmer & Bothe, 1989; Jensen, 1954). Díaz *et al.* (2007) realizaron trabajos enfocados a

determinar la presencia de varios grupos bacterianos en suelos asociados con pastizales procedentes de diferentes fincas de la zona cafetera. Algunos de estos pastizales están asociados a árboles dentro de los cuales se encuentra *Maclura tinctoria*.

2.7. Situación de *Maclura tinctoria* (Dinde) en el eje cafetero

En los últimos 30 años, en la región cafetera comprendida entre los departamentos de Tolima, Caldas y Quindío, a raíz del cultivo intensivo de café (*Coffea arabica*) variedad caturra, se hizo un aprovechamiento indiscriminado de la mayor parte de las especies forestales maderables que allí existían naturalmente, entre las que se destacaban el dinde (*Maclura tinctoria*). Esta situación ha causado la degradación de los suelos, el detrimento en la calidad de las fuentes hídricas y la modificación de la conformación paisajística, lo que ha motivado en la actualidad a la implementación de estrategias para recuperar estas zonas con la reintroducción de las especies forestales maderables nativas y evitar así, una mayor y acelerada degradación de dichos agroecosistemas (Barbosa, 2002).

2.8. Prácticas de manejo en vivero forestal

2.8.1. Manejo de semillas

Suarez *et al.* (2001), citado por Jiménez (2007), afirma que la recolección de semillas depende del tamaño y dispersión de los frutos por lo que en cada caso la técnica empleada es diferente. En caso de frutos carnosos, es necesario limpiar las semillas para evitar la descomposición y luego almacenarlas de manera diferencial según el tipo de semilla (ortodoxa y recalcitrante) hasta el momento de siembra en las eras de germinación (semilleros). Trujillo (1989), citado por Jiménez (2007), afirma que los semilleros son los sitios en los que se produce la germinación de las semillas, los cuales generalmente se encuentran ubicados en un área específica del vivero para facilitar su manejo. Las medidas de los semilleros es variable, pero suelen tener una longitud que va de los 10 a 20 metros y un ancho de 1 metro. Las semillas sembradas en los semilleros permanecen allí hasta el momento en el que el crecimiento y desarrollo de las plantas hace necesario su traslado.

2.8.2. Desinfección de sustratos

La desinfección de sustratos incluye procesos para controlar el ataque de organismos patógenos, malezas y nematodos provenientes del suelo. Uno de los métodos más utilizados en los viveros forestales es la fumigación del suelo con químicos como el metil bromuro o Dazomet (Basamid) para controlar organismos generadores de enfermedades en los cultivos. Sin embargo, esta técnica es costosa y peligrosa para las personas que los aplican, tóxica para el ambiente y no es particularmente efectiva. Adicionalmente, estos químicos no son selectivos y su acción puede destruir organismos deseables como los hongos micorriza (Soulas *et al.* 1997). Es por lo mencionado, que se ha optado por aplicar nuevas estrategias para la desinfección de sustratos, entre estas se incluyen: La Biofumigación es un método que emplea las propiedades naturales de algunas plantas para combatir las plagas. Un ejemplo es el uso de cultivos de canola, la cual libera compuestos volátiles que resultan tóxicos para ciertos tipos de plagas cuando se incorporan en el suelo (Shanks *et al.* 2004).

La aplicación de vapor es uno de los métodos que ha demostrado ser más efectivo para el control de patógenos. El vapor es generalmente aplicado a los suelos en calderas portátiles o móviles, cuya aplicación eleva la temperatura del suelo por un periodo de tiempo suficiente para eliminar los patógenos presentes en este (Shanks *et al.* 2004).

La solarización es un método para el control de organismos patógenos y plantas no deseables presentes en el suelo. Este método involucra la captación de calor generada por los rayos solares sobre capas de plástico de polietileno, permitiendo así, el incremento de la temperatura del suelo con el fin de eliminar organismos patógenos, nematodos y malezas que se encuentren en este. Este proceso requiere que el suelo esté lo más húmedo posible, se utilice plástico limpio, muy delgado (calibre 1 a 4 mm) y resistente a rayos UV con el fin de que la solarización se realice de manera correcta. Este método es más efectivo cuando las temperaturas del suelo alcanzan un mínimo de 40 °C durante un periodo de cuatro a ocho semanas. El contacto cercano entre la superficie del suelo y el plástico es también importante para el éxito de la solarización. Este

proceso no deja residuos tóxicos y puede ser usado a pequeña y gran escala. La solarización adicionalmente, mejora la estructura del suelo, incrementa la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes esenciales, y la presencia de determinados microorganismos benéficos para las plantas (Shanks *et al.* 2004; Elmore *et al.* 1997; Soulas *et al.* 1997).

3. Formulación del problema y justificación

3.1. Formulación del problema

El problema de este trabajo se identificó a partir de diferentes procesos de potrerización (pérdida permanente de cobertura boscosa por expansión de la ganadería) que se presentan en los suelos de la zona cafetera, generados por el aprovechamiento indiscriminado de la mayor parte de las especies forestales maderables que allí existían, entre las que se destaca *Maclura tinctoria* (Dinde). Lo anteriormente expuesto ha generado el deterioro en los suelos, el detrimento en la calidad de las fuentes hídricas y la modificación de la conformación paisajística. La transformación del paisaje de la zona cafetera y la implementación de sistemas productivos basados en ganadería sin manejo silvopastoril ni uso de especies arbóreas nativas, no han estimulado el cultivo de dinde, ni su aprovechamiento sostenible. El manejo silvopastoril requiere la reintroducción de ciertos materiales en suelos de la zona cafetera para permitir el desarrollo de procesos de restauración ecológica. Dada la naturaleza que enmarca este estudio, se propuso la utilización de recursos microbianos nativos en las estrategias de manejo de la especie desde la etapa de vivero, ya que la actividad de los microorganismos y su efecto sobre las plantas hospederas puede variar de acuerdo con las condiciones edáficas, por lo cual es deseable para su evaluación, la utilización de suelos con las características físico-químicas y microbiológicas de aquellos de donde se aislaron.

3.1.1. Preguntas de investigación

- La utilización de suelo solarizado y no solarizado afecta el crecimiento, desarrollo y asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria*?
- La aplicación de bioinoculantes afecta el crecimiento, desarrollo y asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria*?

- La aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno, solubilizadoras de Fósforo y productoras de sideróforos afectan las características químicas del suelo, y de ser así, afectan estas últimas los contenidos de Nitrógeno, Fósforo y Hierro?

3.2. Justificación de la investigación

Este es un estudio del crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* con la aplicación de bioinoculantes basados en bacterias de tres grupos funcionales sobre suelo solarizado nativo. Así mismo, este estudio hace parte de una estrategia de producción en vivero con la utilización de microorganismos benéficos, de materiales forestales nativos que pueden ser empleados en programas de restauración ecológica y sistemas silvopastoriles en terrenos que han sido potrerizados.

El escaso número de árboles de *Maclura tinctoria* sobre la cuenca del río La Vieja ha limitado su uso a nivel maderable e industrial por parte de la comunidad y diferentes entidades de fomento forestal, es por ello que este estudio se podría constituir en un aporte para la producción y utilización de árboles de dinde de manera que se posibilite su uso como recurso maderero y/o industrial.

4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de tres bioinoculantes sobre el crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* sembrada en suelo solarizado de la zona cafetera durante la etapa vegetativa inicial en condiciones de vivero.

Objetivos específicos

1. Evaluar el crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* durante la etapa vegetativa inicial en suelo solarizado y no solarizado en condiciones de vivero.
2. Analizar el crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* (dinde) durante la etapa vegetativa inicial con la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y productoras de sideróforos en condiciones de vivero.
3. Evaluar el efecto de la inoculación de bacterias solubilizadoras de Fósforo, fijadoras de Nitrógeno y solubilizadoras de Hierro en la asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria* (Dinde) durante la etapa vegetativa inicial de crecimiento.

4. Determinar el efecto de la interacción suelo - bacteria sobre el crecimiento y la asimilación de N, P y Fe de *Maclura tinctoria* durante la etapa vegetativa inicial en condiciones de vivero.

5. Evaluar la relación entre el contenido de nutrientes en las hojas y la biomasa vegetal en plantas de *Maclura tinctoria* durante la etapa vegetativa inicial en condiciones de vivero.

5. Hipótesis

1. Ho: No hay diferencias en las respuestas de crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* en suelo solarizado y no solarizado.

Ha: Hay diferencias entre los tipos de suelo en cuanto al crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria*.

2. Ho: No hay diferencias en el crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* con la aplicación de bioinoculantes respecto al control positivo.

Ha: Hay diferencias entre al menos un bioinoculante y el control positivo en *Maclura tinctoria* en cuanto al crecimiento y desarrollo.

3. Ho: No hay diferencias en la asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria* con la aplicación de bioinoculantes respecto al control positivo.

Ha: Hay diferencias entre al menos un bioinoculante y el control positivo en cuanto a la asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria*.

4. Ho: No hay interacción suelo – bacteria en las variables de crecimiento evaluadas y la asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria*.

Ha: Hay interacción suelo – bacteria en al menos una variable de crecimiento y la asimilación de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en *Maclura tinctoria*.

5. Ho: No hay correlación entre el contenido de nutrientes y la biomasa vegetal en el crecimiento de *Maclura tinctoria*.

Ha: Hay correlación entre al menos una variable de biomasa y el contenido de un nutriente en *Maclura tinctoria*.

6. Materiales y métodos

6.1. Diseño de investigación

Este estudio es de tipo experimental. Se realizó bajo el diseño de parcelas divididas con bloques completos al azar, con tres repeticiones. El factor a

evaluar en la parcela principal fue el suelo solarizado y no solarizado, y en las subparcelas fueron los grupos funcionales. En el cuadro 3, se muestra la disposición de los tratamientos:

Cuadro 3. Plano vivero Bambusa.

Cama 1	Cama 2	Cama 3
T0	T2	T4
T2	T4	T3
T1	T0	T0
T4	T3	T2
T3	T1	T1
T1	T3	T2
T3	T4	T3
T4	T2	T0
T1	T0	T4
T0	T1	T1

	Suelo No solarizado
	Suelo Solarizado

T0	Sin bacteria + fertilizacion al 25%. Control negativo
T1	Solubilizadora de P + fertilizacion al 25%
T2	Fijadora de N + fertilizacion al 25%
T3	Solubilizadora de Fe + fertilizacion al 25%
T4	Sin bacteria + fertilizacion al 100%. Control positivo

6.1.1. Población de estudio y muestra

- Población de estudio

Estuvo compuesta por 1500 plantas de *Maclura tinctoria* (Dinde) propagadas a partir de semilla.

- Unidad de muestreo

Estuvo compuesta por cada repetición.

- Unidad experimental

Estuvo compuesta por cada planta de *Maclura tinctoria*.

6.2. Metodología

El trabajo se llevo a cabo en un vivero ubicado de la estación experimental Bambusa, perteneciente a la empresa Geoambiente LTDA en el municipio de Pacho, departamento de Cundinamarca (Figura 1). Se encuentra en la cuenca

media del Rionegro, en el kilómetro 8 carretera Pacho – La Palma, a una altura de 1350 msnm. La localidad del estudio presenta una temperatura promedio anual de 26 °C en la zona de vida denominada bosque seco premontano (bs-PM) (Geoambiente LTDA, 2007).



Figura 1. Vivero estación experimental Bambusa

El suelo que se utilizó para el llenado de las bolsas en el vivero, fue suelo procedente de un pastizal de la finca “Nápoles”, ubicada en la vereda Calle Larga, municipio de Montenegro, departamento del Quindío. La finca se encuentra a una altura de 1200 m.s.n.m y una temperatura promedio de 22 °C (Alcaldía de Montenegro, 2007). La cantidad de suelo que fue extraída del lugar fue de 2800 kilos (2.8 ton).

Las 2.8 toneladas de suelo traídas de la finca Nápoles, hasta la estación experimental Bambusa en Pacho, Cundinamarca, se separaron en dos partes, una de las cuales fue sometida a solarización para disminuir la carga microbiana. Para esto se hizo una cama de 7 metros por 50 cm de ancho y 10 cm. de profundidad en campo abierto con influencia directa de la luz solar, en la zona más baja del vivero Bambusa. En esta cama se colocó un plástico transparente de fondo, el cual tuvo un grosor de 50 micras y las mismas dimensiones de la cama. Después, se depositó una parte del suelo traído de la finca Nápoles en esta cama hasta llenarla y se colocó encima, el mismo plástico transparente de las mismas dimensiones que el anterior (Figura 2).



Figura 2. Cama para solarización de suelo procedente de la finca Nápoles

La cama de solarización se dejó establecida durante 20 días, con tres termómetros para suelo a lo largo de la misma (uno en el extremo izquierdo de la cama, otro en la mitad y otro en el extremo derecho de la misma). Se hizo el registro diario de la temperatura promedio (°C) (Cebolla, 2005), (Anexo A).

Para la inoculación de las plantas, se utilizaron tres aislamientos bacterianos provenientes de suelos de la finca Nápoles, ubicada en el municipio de Montenegro, Quindío. Estos aislamientos fueron obtenidos en el marco de este mismo proyecto en la Unidad de Biotecnología Vegetal (UBV), y hacen parte de la colección de microorganismos del LAMIC (Laboratorio de Asociaciones suelo – planta – Microorganismo) (Díaz *et al.* 2007)

Los bioinoculantes fueron preparados por las estudiantes Yeimy Rivera Delgado y Merislays López Ibarra de Microbiología Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, basados en las bacteria diazotrofa (GaNa2S177), siderófora (GaNa2S290) y fosfato solubilizadora (CNa3R263) e inmovilizados en compost. Para el inoculante (10^8 UFC/g), se preparo una pasta de 200 ml de carboximetilcelulosa 0.4% y en el momento de trasplante a bolsa, la raíz de cada planta se sumergió durante 15 minutos y luego la planta se sembró en las bolsas.

Se trasplantaron 1500 plantas producidas en el semillero, a bolsas de 12 x 18 cm. y de 2 Kg. de peso, utilizando el suelo solarizado y el suelo no solarizado. Las plantas se colocaron en lo alto sobre camas de madera en el centro del

invernadero, el cual consistió en una casa con malla antipajaros y cubierta de techo de plástico.

Se realizaron cuatro muestreos de frecuencia mensual. Se utilizaron para cada variable de crecimiento y desarrollo, tres repeticiones y cada una estuvo compuesta por diez individuos. Cada uno de los individuos fue seleccionado aleatoriamente.

Antes de la siembra de las plantas, se realizó un análisis fisicoquímico de suelo para conocer el estado nutricional del suelo, y así aplicar la dosis de fertilizante correspondiente.

Según la recomendación de fertilización para especies leñosas, se aplicaron por planta, nitrato de calcio (10 g), fosfato diamónico (10 g), sulfato de magnesio (10 g), cal dolomita (10 g) y borolit (5 ml) como control positivo (T4). Como control negativo (T0) y en los tratamientos de inoculación se aplicaron los mismos nutrientes al 25% de la dosis recomendada.

A cada planta extraída de su respectiva bolsa, le fueron tomados datos de variables de crecimiento. Las hojas se colocaron en el medidor de área foliar marca LICOR modelo LI-3100 para determinar el área foliar (AF). Las hojas, el tallo y la raíz se pesaron en una balanza analítica marca Acculab modelo LA-110 para determinar el peso fresco hojas (PFH), peso fresco tallo (PFT) y peso fresco raíz (PFR) (Figura 3).

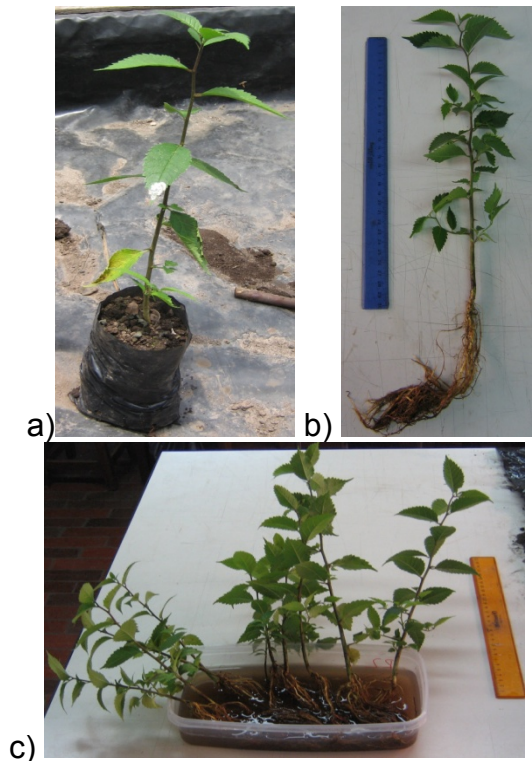


Figura 3. Plantas de *Maclura tinctoria* durante el procesamiento en laboratorio: a) Planta de dinde en bolsa; b) Planta de dinde extraída; c) Plantas de dinde en bandeja plástica.

En bolsas de papel kraft, se colocaron tallo, hojas y raíz con su respectiva etiqueta. Las muestras fueron colocadas en un horno marca Thermolyne modelo OV1160040 por 24 horas a 60 °C y posteriormente se pesaron nuevamente en la balanza analítica y se registraron los datos para las variables de crecimiento peso seco hojas (PSH), peso seco tallo (PST) y peso seco raíz (PSR).

Para realizar los análisis físico - químicos de suelo, en cada muestreo se tomo una muestra homogenizada de 500 g por cada tratamiento.

Para realizar los análisis foliares en cada muestreo, las plantas fueron separadas las plantas por órganos: hojas, tallo y raíz. Los análisis fisicoquímicos de suelo y foliares, se realizaron en el laboratorio de servicios ambientales y agrícolas (AGRILAB). Las metodologías aplicadas para dicho análisis fueron:

Nitrógeno total y foliar (%): por Kjeldhal (1883); Fósforo disponible suelo (ppm): por Bray II; Fósforo foliar (%): por descomposición vía seca (550 °C) (Bray & Kurtz, 1945); Hierro disponible suelo (ppm): por Mehlich (1984); Hierro foliar

(ppm): por descomposición vía seca (550 °C) (Mehlich, 1984); pH: por pasta saturada; Conductividad eléctrica: por extracto de saturación (dS/m); Capacidad de Intercambio catiónico: con acetato de amonio 1N y neutral (meg/100); Carbono Orgánico: por Walkley y Black (Walkley & Black 1965).

EN: Extracción de nitrógeno (g/planta) = peso seco total (gramos) x contenido de nitrógeno foliar (%) / 100; EP: Extracción de fósforo (g/planta) = peso seco total (gramos) x contenido de fósforo foliar (%) / 100; EFe: Extracción de hierro (g/planta) = peso seco total (gramos) x contenido de hierro foliar (%) / 100 (Lambers *et al.* 1998).

Para evaluar el crecimiento y desarrollo de *Maclura tinctoria* (Dinde) durante la etapa vegetativa inicial bajo las condiciones experimentales, se consideraron los siguientes parámetros:

Variables de crecimiento y desarrollo:

Longitud total LTO en (cm.): Se registró la longitud total/planta, midiendo desde el ápice de la raíz principal hasta el ápice del tallo.

Longitud aérea LA en (cm.): Se registro la longitud del tallo/planta, después de retirar las hojas completamente expandidas, midiendo la longitud desde el cuello de la raíz hasta el ápice del tallo.

Longitud raíz LR en (cm.): Se registro la longitud total de la raíz/planta, midiendo desde el cuello de la raíz hasta el extremo final de la misma.

Numero de raíces laterales (NRL): se registro el número de raíces laterales/planta, contando únicamente las raíces secundarias.

Peso fresco hojas PFH en (g): Se registro peso fresco total de hojas/planta

Peso fresco tallo PFTA en (g): Se registro peso fresco total de tallo/planta

Peso fresco raíz PFR en (g): Se registro peso fresco total de raíces/planta

Peso fresco total PFTOT en (g): Se registro peso fresco total/planta

Peso seco hojas PSH en (g): Se registro el peso seco total de hojas/planta.

Peso seco tallo PSTA en (g): Se registro el peso seco total de tallo/planta.

Peso seco raíz PSR en (g): Se registro el peso seco total de raíces/planta.

Peso seco total PSTOT en (g): Se registro el peso seco total/planta.

Área foliar (AF en cm²): Se registro el área foliar total/planta con el medidor de area foliar marca Li-COR modelo LI-3100 (Hunt, 1990).

A partir de los datos de peso seco de hojas, raíz y total, se calcularon índices de crecimiento:

RPF: Relación de Peso Foliar (g.g⁻¹.dia⁻¹) es la fracción total de la biomasa localizada en las hojas.

RMR: Relación de Masa Radical (g.g⁻¹) es la fracción total de la biomasa localizada en las raíces (Hunt, 1990).

6.3. Recolección de la información

Se utilizaron los resultados de los análisis de suelo y foliares para el registro de las variables de nutrición suelo – foliar en suelo solarizado y no solarizado, considerando parámetros tales como nitrógeno del suelo y foliar, fósforo suelo y foliar, hierro suelo y foliar, pH, etc., (Anexo B).

Para el registro de las variables de crecimiento y desarrollo en suelo solarizado y no solarizado se consideraron variables tales como número de raíces laterales, peso seco hojas, peso seco tallo, etc., (Anexo C).

6.4. Análisis estadístico de la información

El análisis realizado corresponde a un modelo completamente al azar bajo un esquema de parcelas divididas y se define como:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + r_x S_i + E_{sj} + (S_x E_s)_{ij} + r_x (S_x E_s)_{ij} + M_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} es la variable de respuesta, μ es la media general, S_i es el efecto atribuible al suelo, $r_x S_i$ es el error A, E_{sj} es el efecto atribuible al bioinoculante, $(S_x E_s)_{ij}$ es la interacción suelo por bioinoculante, $r_x (S_x E_s)_{ij}$ es el error B, M_k es el efecto atribuible al tiempo de muestreo y ϵ_{ijk} es el error C.

Se realizo un análisis de varianza y comparación de medias utilizando prueba de intervalos múltiples de Scheffe y de Tukey para comparar todas las posibles medias. Adicionalmente, se realizo un análisis de correlación de las variables de extracción con las de peso seco.

La información fue procesada con el paquete estadístico Statistix 8.0.

7. Resultados y discusión

7.1. Efecto del tipo de suelo y el muestreo sobre variables de crecimiento y desarrollo en *Maclura tinctoria*

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de varianza se encontraron diferencias significativas por efecto de la fuente de variación muestreo para todas las variables e índices de crecimiento, mientras el tipo de suelo determinó diferencias estadísticas solamente para las variables de crecimiento PSH, PST y el índice RMR (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza para las variables e índices de crecimiento por efecto del tipo de suelo

F.V	GL	LR		LA		NRL		PFH	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	307,79	**	229,24	**	5,72	**	4,85	**
Suelo	1	8,26	ns	3,58	ns	0,56	ns	0,02	ns
Muestr. X Suelo	3	169,4	ns	159,4	ns	45,72	ns	1,65	ns
R ²		0,42		0,37		0,63		0,59	
Promedio		19,79		13,9		7,06		1,23	
CV (%)		13,43		6,46		12,36		17,3	
F.V	GL	PFR		PFT		PSH		PST	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	9,84	**	4,03	**	0,43	**	0,58	**
Suelo	1	0,44	ns	0,15	ns	0,01	*	0,1	**
Muestr. X Suelo	3	5,16	ns	1,48	ns	0,07	ns	0,44	**
R ²		0,67		0,54		0,77		0,81	
Promedio		1,66		1,01		0,36		0,36	
CV (%)		23,76		24,54		13,48		13,48	
F.V	GL	PSR		AF		RPF		RMR	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	0,45	**	23525,5	**	0,04	**	0,03	**
Suelo	1	0,02	ns	1055,5	ns	3,00E-05	ns	5,42E-04	*
Muestr. X Suelo	3	0,22	ns	15322	ns	0,02	ns	0,01	ns
R ²		0,68		0,39		0,52		0,41	
Promedio		0,33		73,56		0,39		0,24	
CV (%)		24,15		37,71		3,95		4,1	

ns: No significativo; **: Diferencias altamente significativas (1%); *: Diferencias significativas (5%)

Según los resultados que se obtuvieron de los análisis de varianza para las variables de crecimiento y desarrollo (Tabla 1), se realizó la prueba de Scheffe para las variables PSH, PST y RMR (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la prueba de Scheffe según el efecto del suelo sobre las variables de crecimiento y desarrollo.

PSH Tipo	Promedio	PST Tipo	Promedio	RMR Tipo	Promedio
S	0,43 A	S	0,45 A	S	0,24 A
NS	0,34 B	NS	0,33 B	NS	0,24 A

S: Solarizado; NS: No solarizado

7.1.1. Longitud raíz (LR)

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza indicaron diferencias significativas por efecto del muestreo; mientras que en el tipo de suelo no se hallaron diferencias estadísticas en la respuesta de la LR (Tabla 1). La acumulación de materia seca en la raíz a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 101 DDT se presento el valor mas alto del estudio que fue ST0 con 33.2 cm (Figura 4).

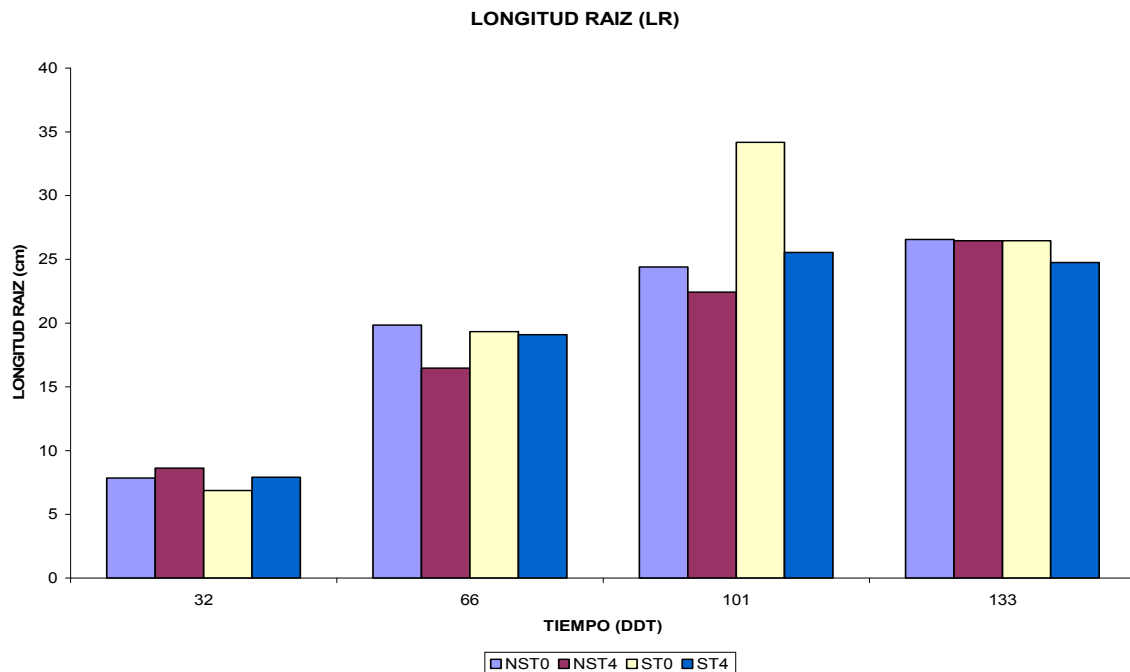


Figura 4. Comportamiento de la longitud raíz (LR) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable longitud raíz (Figura 4) en el suelo solarizado ST0 (33.2 cm), se puede atribuir a que la solarización del suelo pudo inducir en la raíz de las plantas modificaciones endógenas (factores como fitohormonas a nivel celular y molecular las cuales se encargan de diversos procesos

metabólicos y de desarrollo en la planta), lo cual de acuerdo a Gruenzweig *et al.* (1993), puede estimular la liberación de ácidos orgánicos de las raíces, que permiten la solubilización de nutrientes. Estos nutrientes son aprovechados por microorganismos que se asocian a la raíz de las plantas y les proporcionan elementos minerales que son importantes para el crecimiento. Adicionalmente, es posible que en el suelo solarizado la tasa de translocación de nutrientes en las raíces fuera superior a la que ocurrió en las raíces de las plantas del suelo no solarizado (Larcher, 2003; Glick, 1995; Havlin *et al.* 1999; Faye *et al.* 2006; Lambers *et al.* 1998; Barker & Pilbeam, 2007; Cakmakci *et al.* 2006).

7.1.2. Longitud aérea (LA)

De acuerdo a los resultados de los análisis de varianza se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo; en el caso del tipo de suelo no se encontraron diferencias estadísticas en la respuesta de la LA (Tabla 1). La acumulación y partición de asimilados en la parte aérea de las plantas a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor mas alto del estudio que fue ST4 con 26.1 cm (Figura 5).

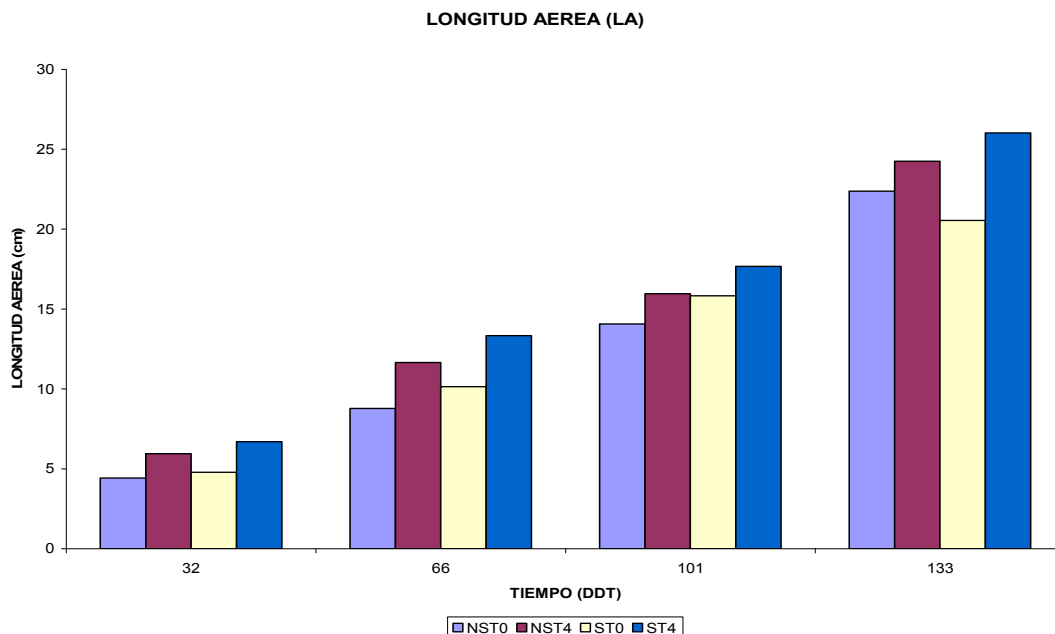


Figura 5. Comportamiento de la longitud aérea (LA) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Como se observa en la figura 5, el valor más alto de la variable longitud aérea en el suelo solarizado ST4 (26.1 cm), se puede atribuir a que el suelo solarizado estimula un cambio en la dinámica de la población microbiana edáfica, y así, estos microorganismos pueden contribuir en un incremento en la respuesta de crecimiento de los órganos aéreos de las plantas mediante la liberación de formas orgánicas de elementos minerales para las raíces (Stevens *et al.* 2003; Salisbury & Ross, 2000; Rojas Rodríguez *et al.* 2004). Adicionalmente, factores como la actividad mitótica en las hojas primarias, el alargamiento celular y la velocidad en la diferenciación bajo la influencia de factores externos directos o indirectos, posiblemente tuvieron una mayor actividad en las plantas que crecieron en el suelo solarizado ST4 en comparación con los demás tratamientos (Larcher, 2003; Taiz & Zeiger, 2006; Lambers *et al.* 1998; Walter *et al.* 2009).

7.1.3. Número de raíces laterales (NRL)

Según los resultados del análisis de varianza se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no se hallaron diferencias estadísticas en la respuesta de NRL (Tabla 1). La partición de asimilados para la formación de materia seca en las raíces laterales a través de los muestreos aumento desde los 66 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor más alto del estudio que fue ST0 con 10 raíces laterales (Figura 6).

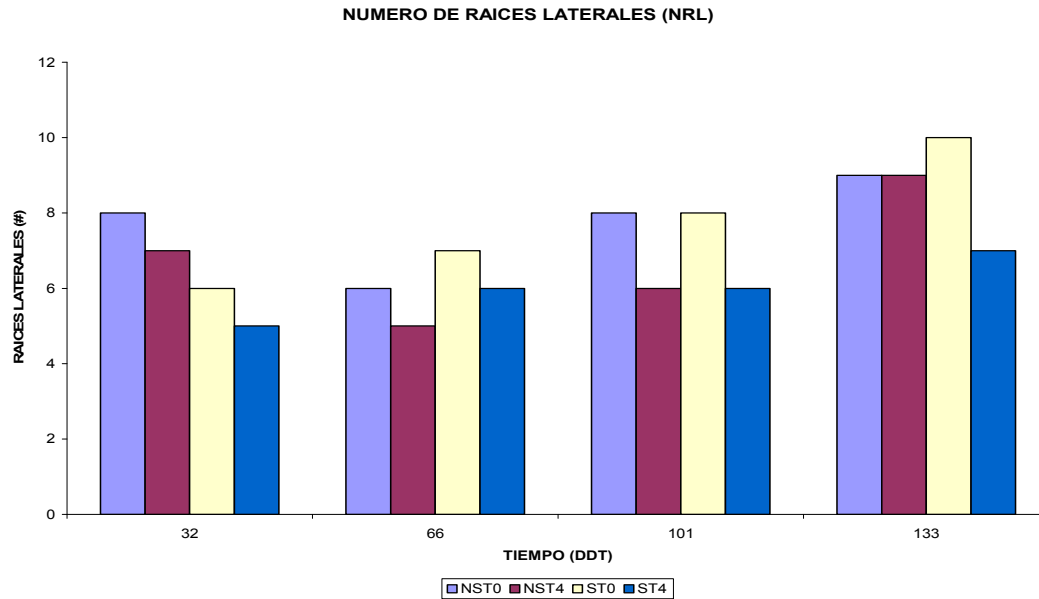


Figura 6. Comportamiento del número de raíces laterales (NRL) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Es probable que no se presentaran diferencias en las plantas en cuanto al número de raíces laterales debido a que en el momento de la extracción de la planta de la bolsa, se pudieron haber arrancado accidentalmente raíces (Taiz & Zeiger, 2006).

El valor más alto de la variable número de raíces laterales (Figura 6) en el suelo solarizado ST0 (10 raíces laterales), se puede explicar debido a que las bacterias nativas del suelo probablemente estimularon el crecimiento de las raíces laterales con el fin de asociarse a estas y estar en contacto con más fuentes de nutrientes para ser utilizados inicialmente por los microorganismos y luego ser aprovechados por las raíces de las plantas. Adicionalmente, es posible que los procesos de división y elongación celular en las raíces laterales de las plantas sembradas en ST0, se hayan presentado a una velocidad más alta que en los demás tratamientos y esto aumentó el número de raíces (Faye *et al.* 2006; Salisbury & Ross, 2000; De Freitas *et al.* 1997; Larcher, 2003).

7.1.4. Peso fresco hojas (PFH)

Dentro de los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo; en cuanto al tipo de suelo no

determinó diferencias estadísticas en la respuesta de PFH (Tabla 1). La acumulación de materia seca en las hojas a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; presentándose a los 133 DDT el valor mas alto para las plantas que se sembraron en el suelo ST4 con 3.31 g (Figura 7).

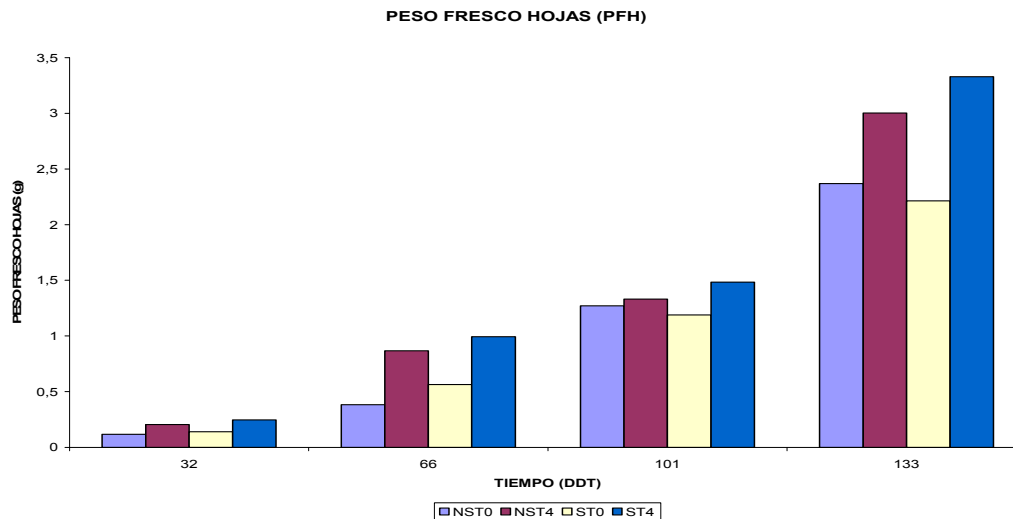


Figura 7. Comportamiento del peso fresco hojas (PFH) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Como se observa en la figura 7, el valor mas alto de la variable peso fresco hojas en el suelo solarizado ST4 (3.31 g), se puede explicar debido a que el suelo solarizado al inducir modificaciones endógenas (por fitohormonas) en la planta, aumenta el crecimiento de cada hoja, y por lo tanto la producción de fotosintatos comparado con las plantas que crecen en suelo no solarizado (Gruenzweig *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998; Taiz & Zeiger, 2006). Las células de las hojas de las plantas de dinde sembradas en el suelo solarizado ST4, probablemente presentaron una tasa de división y elongación celular más alta comparadas con las plantas de los demás tratamientos, lo cual permitió un mayor crecimiento de las hojas. Adicionalmente, las plantas en el ST4 pudieron disponer de los nutrientes suficientes para suplir la demanda nutricional debido a una mayor asociación con microorganismos nativos del suelo en las raíces y a la fertilización que presento el mismo, y de esta manera, translocar asimilados a las hojas para el crecimiento y cumplir con las funciones metabólicas que estas

requerían para su crecimiento (Lambers *et al.* 1998; Gruenzweig *et al.* 1993; Havlin *et al.* 1999; Silk, 1994; Van Iersel *et al.* 1999).

7.1.5. Peso fresco raíz (PFR)

De acuerdo al resultado del análisis de varianza se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determinó diferencias estadísticas en la respuesta de PFR (Tabla 1).

La acumulación y partición de asimilados en la raíz a través del tiempo aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; presentándose el valor mas alto del estudio que fue ST4 con 4.73 g (Figura 8).

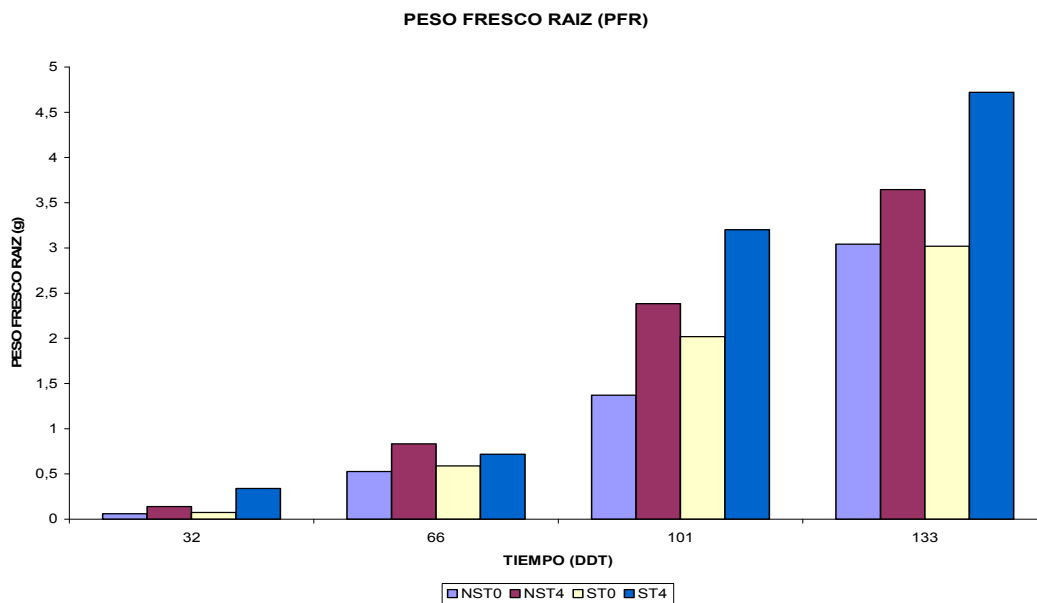


Figura 8. Comportamiento del peso fresco raíz (PFR) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable peso fresco raíz (Figura 8) en el suelo solarizado ST4 (4.73 g), se podría atribuir a que el cambio en la dinámica de la población de la microbiota edáfica debido al suelo solarizado, estimulo la absorción de nutrientes en la rizosfera de las plantas y esto contribuyo en el aumento de la respuesta de crecimiento de la raíz. Adicionalmente, es probable que las bacterias nativas presentes en el suelo se asociaran a las raíces de las plantas de dinde sembradas en ST4 y promovieron un mayor crecimiento en la raíz de las plantas mediante la conversión de compuestos inorgánicos insolubles en

compuestos orgánicos solubles, los cuales fueron utilizados por las raíces de las plantas en procesos que involucran el metabolismo energético para la división y elongación celular de las células de la raíz, con el fin de crecer y alcanzar mas fuentes de nutrientes minerales en el suelo (Salisbury & Ross, 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Havlin *et al.* 1999; Glick, 1995; Del Pozo *et al.* 2001).

7.1.6. Peso fresco tallo (PFT)

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determino diferencias estadísticas en la respuesta de PFT (Tabla 1).

La acumulación de materia seca en el tallo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; se presento el valor mas alto del estudio que fue ST4 a los 133 DDT con 3.43 g (Figura 9).

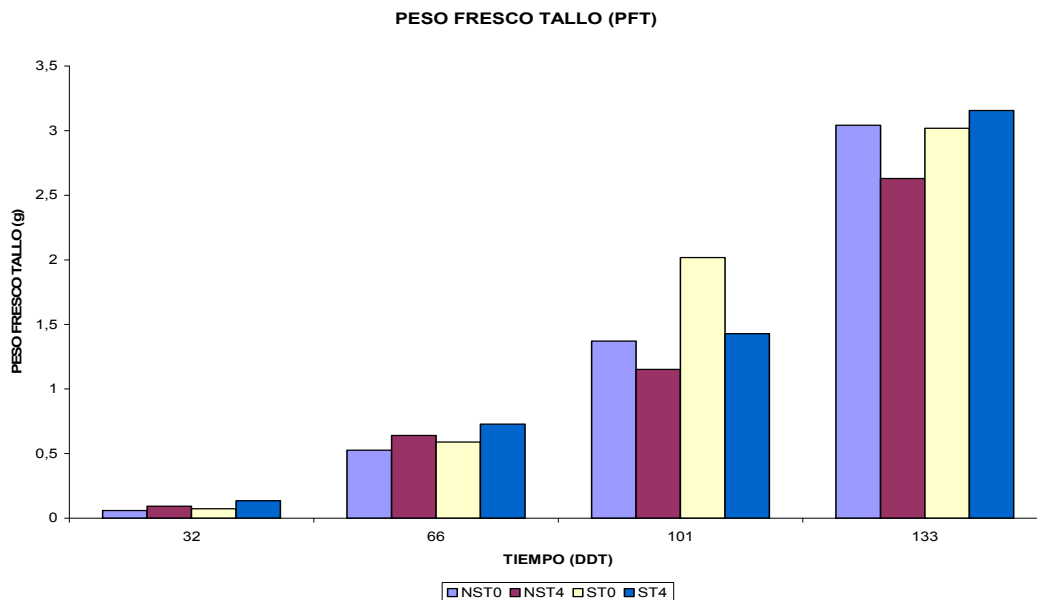


Figura 9. Comportamiento del peso fresco tallo (PFT) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable peso fresco tallo (Figura 9) en el suelo solarizado ST4 (3.43 g), se puede explicar debido a que el suelo solarizado le permite a la planta generar un mayor transporte de nutrientes como nitrógeno y fósforo vía

raíz – tallo, lo cual según Gruenzweig *et al.* 1999, propone que en varias especies de plantas la cantidad de estos elementos en el xilema es mas alto que en las plantas que crecen en suelo no solarizado. Las bacterias nativas presentes en el suelo ST4 permitieron una mayor disponibilidad de nutrientes según la demanda de las plantas sembradas en este tratamiento, y de esta forma, los fotoasimilados fueron translocados a órganos como el tallo para crecimiento, y llevar a cabo funciones en procesos como la respiración, fotosíntesis y formación de estructuras celulares (Larcher, 2003; Taiz & Zeiger, 2006; Lambers *et al.* 1998; Salisbury & Ross, 2000; Marschner, 1995; Glick, 1995).

7.1.7. Peso seco hojas (PSH)

El análisis de varianza mostró que se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo indico diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de PSH (Tabla 1). La acumulación de asimilados en las hojas a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; presentándose el valor mas alto del estudio que fue ST4 con 0.92 g (Figura 10).

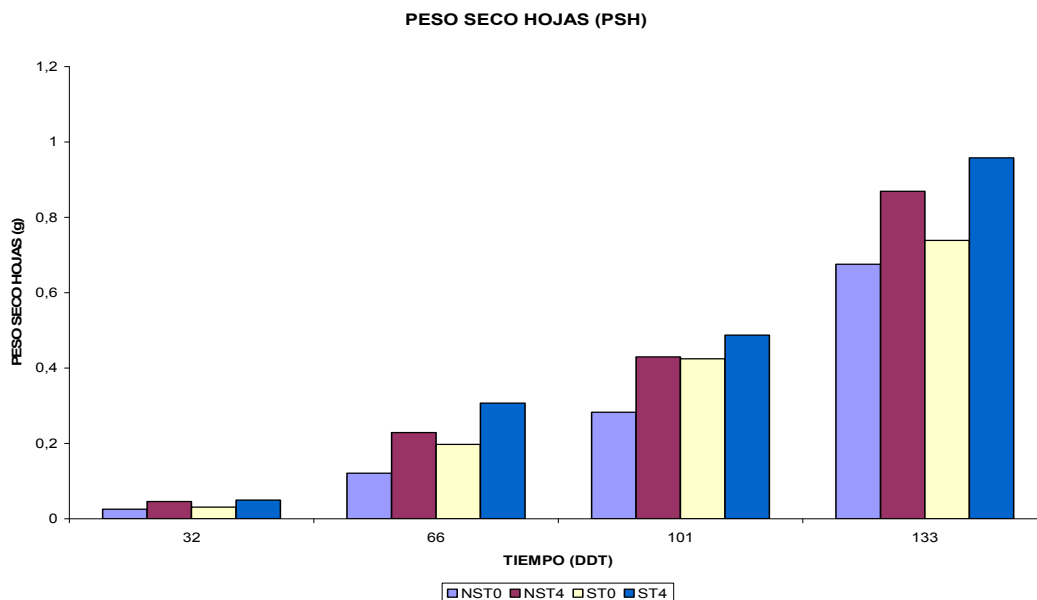


Figura 10. Comportamiento del peso seco hojas (PSH) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que el tipo de suelo influyó la respuesta del peso seco hojas, lo cual podría significar que se afectó la actividad fotosintética, y por lo tanto, la acumulación y partición de asimilados hacia las hojas (Salisbury & Ross, 2000; Marschner, 1995; Larcher, 2003; Lambers *et al.* 1998; Azcon – Bieto & Talon, 2000).

La prueba de Scheffe para el peso seco hojas (PSH) definió dos grupos: el grupo A para el suelo S en el cual las plantas presentaron el mayor peso seco hojas (PSH) con 0.43 g; y el grupo B para el suelo NS con 0.34 g (Tabla 2).

El valor más alto de la variable peso seco hojas (Figura 10) en el suelo solarizado ST4 (0.92 g), se podría atribuir a que en el suelo solarizado se encontraron en mayor cantidad formas de elementos minerales disponibles para las plantas, y esto contribuyó en un aumento en los procesos de división celular, síntesis de proteínas y extensibilidad de las paredes celulares de las células de las hojas en expansión. Adicionalmente, los microorganismos asociados a las raíces de la planta pudieron producir sustancias inhibitoras que detienen el desarrollo de patógenos o las fuentes nutricionales de los mismos, y así, permitir un eficiente aprovechamiento de los nutrientes por parte de las raíces de las plantas para luego ser usados en la síntesis de fotosintatos en las hojas (Taiz & Zeiger, 2006; Stevens, 2003; Walter *et al.* 2009; Silk, 1994; Lambers *et al.* 1998; Havlin *et al.* 1999; Glick, 1995).

7.1.8. Peso seco tallo (PST)

De acuerdo a los resultados encontrados de los análisis de varianza, se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo; en cuanto al tipo de suelo se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas en la respuesta de PST (Tabla 1). La acumulación de materia seca en el tallo a través de los muestreos aumentó desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; presentándose el valor más alto del estudio que fue ST4 con 1.12 g (Figura 11).

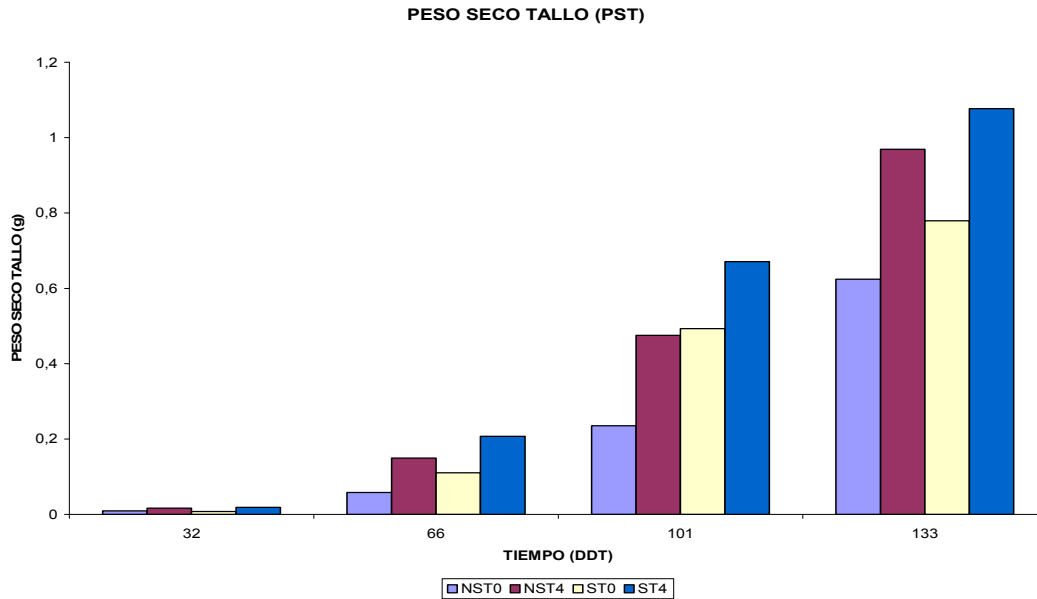


Figura 11. Comportamiento del peso seco tallo (PST) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El tipo de suelo influyo altamente sobre la respuesta del peso seco tallo, lo cual podría significar que fue afectada la tasa de toma de nutrientes, y también, la eficiencia con la cual la acumulación y partición de asimilados hacia el tallo es utilizada para el crecimiento del mismo (Salisbury & Ross, 2000; Marschner, 1995; Larcher, 2003; Van Iersel *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998; Azcon – Bieto & Talon, 2000).

Según los resultados de la prueba de Scheffe, se definieron dos grupos: el grupo A para el suelo S en el cual las plantas presentaron el mayor peso seco tallo (PST) con 0.45 g; y el grupo B para el suelo NS con 0.33 g (Tabla 2).

El valor más alto de la variable peso seco tallo (Figura 11) en el suelo solarizado ST4 (1.12 g), se podría atribuir a que en el suelo solarizado el crecimiento del tallo en las plantas tuvo una mayor tasa de expansión celular, y por ende, se presento un incremento mayor en la deposición de material de la pared en las células de este órgano (Salisbury & Ross, 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Del Pozo *et al.* 2001; Taiz & Zeiger, 2006; Lambers *et al.* 1998).

7.1.9. Peso seco raíz (PSR)

Los resultados hallados en el análisis de varianza indicaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determinó diferencias estadísticas en la respuesta de PSR (Tabla 1).

La acumulación de materia seca en la raíz a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; al final del periodo de estudio, a los 133 DDT, se presentó el valor más alto del estudio que fue ST4 con 0.96 g (Figura 12).

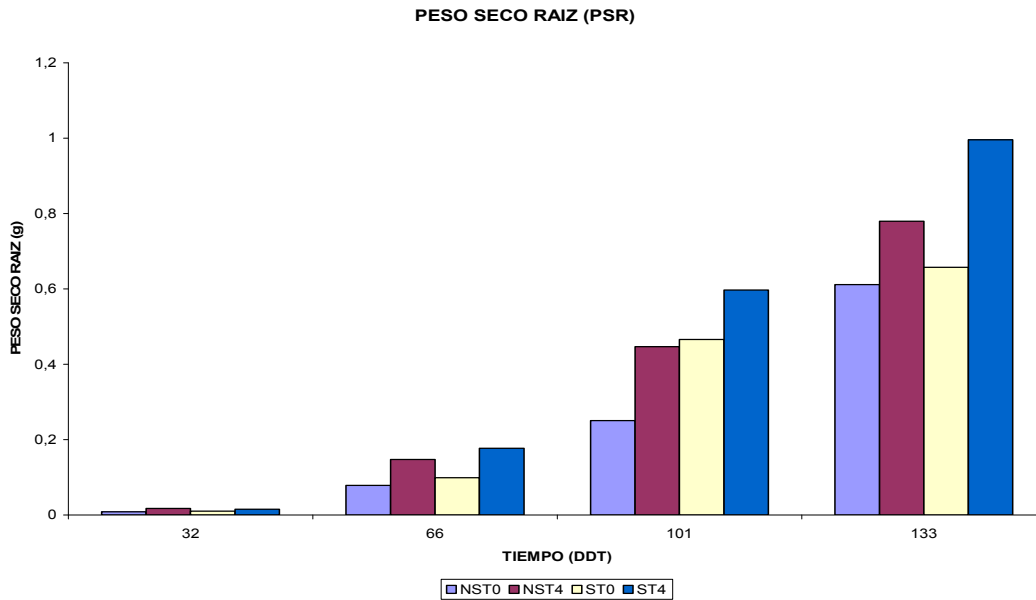


Figura 12. Comportamiento del peso seco raíz (PSR) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable peso seco raíz (Figura 12) en el suelo solarizado ST4 (0.96 g), se pudo deber a que en el suelo solarizado probablemente se presentó una mayor disponibilidad y posterior utilización de asimilados y nutrientes por parte de la raíz de las plantas, lo cual permitió un aumento en las propiedades mecánicas de la pared celular de las raíces y la expansión celular de las mismas para el crecimiento (Lambers *et al.* 1998; Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2006; Silk, 1994; Walter *et al.* 2009). Las raíces de las plantas en el suelo ST4 probablemente adquirieron una mayor cantidad de fotoasimilados y

presentaron una mayor eficiencia en la tasa de traslocación de los asimilados (Faye *et al.* 2006; Dey *et al.* 2004; Lambers *et al.* 1998; Walter *et al.* 2009).

7.1.10. Área foliar (AF)

En el resultado del análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo; mientras en el tipo de suelo no se encontraron diferencias estadísticas en la respuesta de AF (Tabla 1). El área foliar a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT el valor mas alto fue ST4 con 252.2 m² (Figura 13).

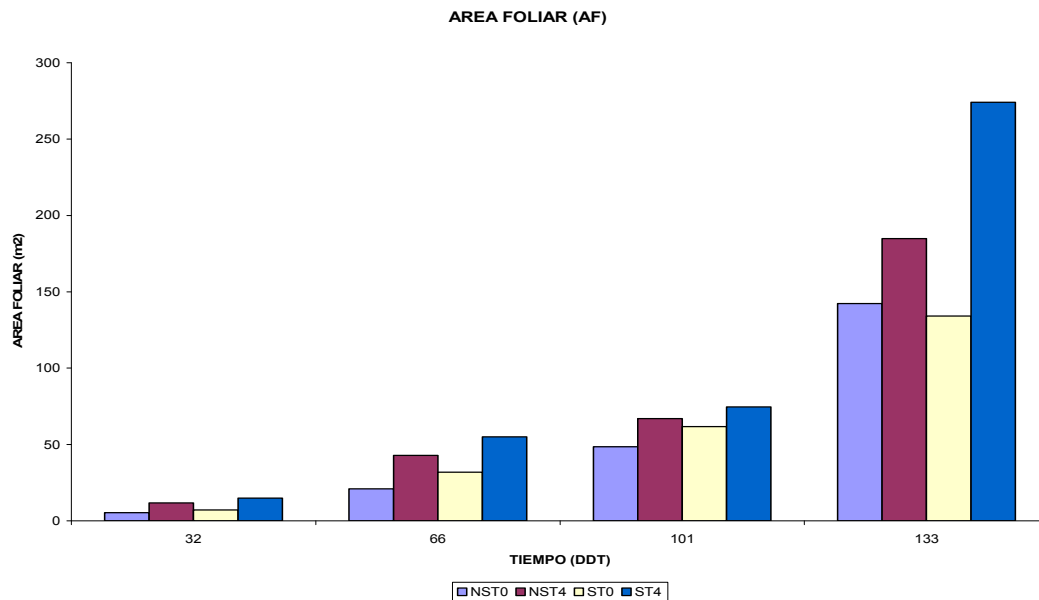


Figura 13. Comportamiento del área foliar (AF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable área foliar (Figura 13) en el suelo solarizado ST4 (252.2 m²) se puede deber a que en el suelo solarizado se presentó una mayor ganancia fotosintética de carbono, y un consecuente aumento en la tasa de crecimiento foliar debido a que el área foliar podría constituirse en el factor que dirige el proceso de crecimiento (Lambers *et al.* 1998, Taiz & Zeiger, 2006; Larcher, 2003; Walter *et al.* 2009; Del Pozo *et al.* 2001). Adicionalmente, el área foliar en las plantas sembradas en el suelo ST4, sugieren una mayor actividad fotosintética laminar, y así, una mejor utilización de la energía solar mediante una fotosíntesis más eficiente para la producción de materia seca para el

crecimiento de órganos como las hojas (Barker & Pilbeam, 2007; Gruenzweig *et al.* 1999; Havlin *et al.* 1999; Larcher, 2003; Taiz & Zeiger, 2006).

7.1.11. Relación peso foliar (RPF)

Según los resultados encontrados en los análisis de varianza, se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determino diferencias estadísticas en la respuesta de RPF (Tabla 1).

La relación peso foliar a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; desde los 101 DDT hasta los 133 DDT disminuyo. El valor más alto del estudio se presento a los 66 DDT que fue ST0 con 0.57 g.g⁻¹.dia⁻¹ (Figura 14).

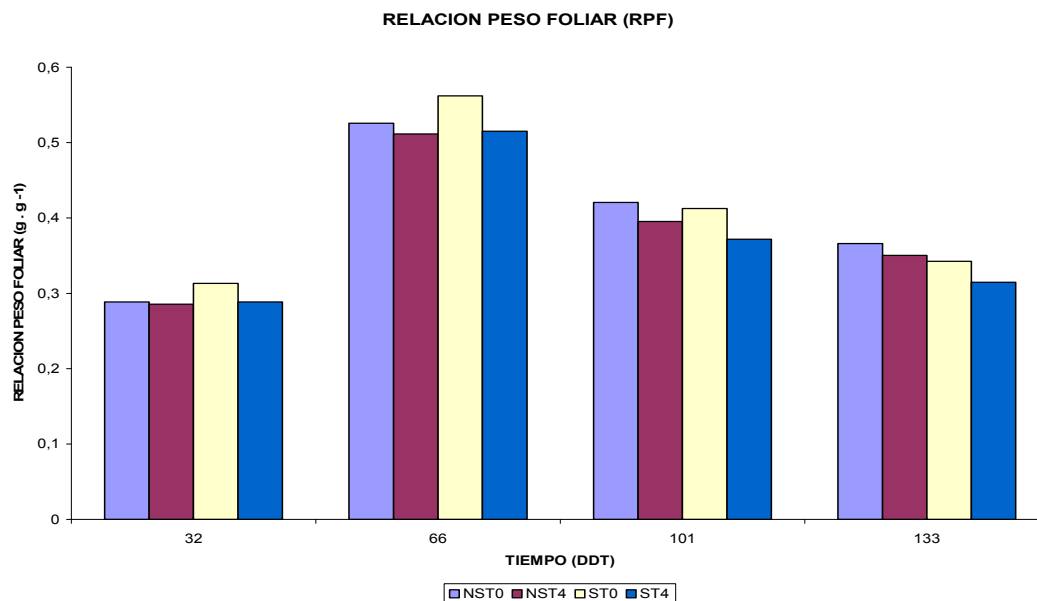


Figura 14. Comportamiento de la relación peso foliar (RPF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable relación peso foliar (Figura 14) en el suelo solarizado ST4 (0.57 g.g⁻¹.dia⁻¹) podría deberse a que las plantas dispusieron de los nutrientes minerales necesarios, y así, se pudo haber presentado una mayor tasa de traslocación de fotoasimilados hacia órganos en demanda como las hojas para el crecimiento. Adicionalmente, en este tipo de suelo, las plantas pudieron haber captado más eficientemente la radiación solar, y de esta forma, evitar un gasto energético que demandan procesos como la respiración y

aumentar la acumulación de materia seca y el crecimiento en general (Azcon – Bieto, 2000; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Walter *et al.* 2009).

7.1.12. Relación masa radical (RMR)

De acuerdo a los resultados encontrados en los análisis de varianza, se observaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que en el tipo de suelo, se hallaron diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de RMR (Tabla 1).

La acumulación de materia seca en las raíces a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor más alto del estudio que fue ST4 con 0.34 g.g^{-1} (Figura 15).

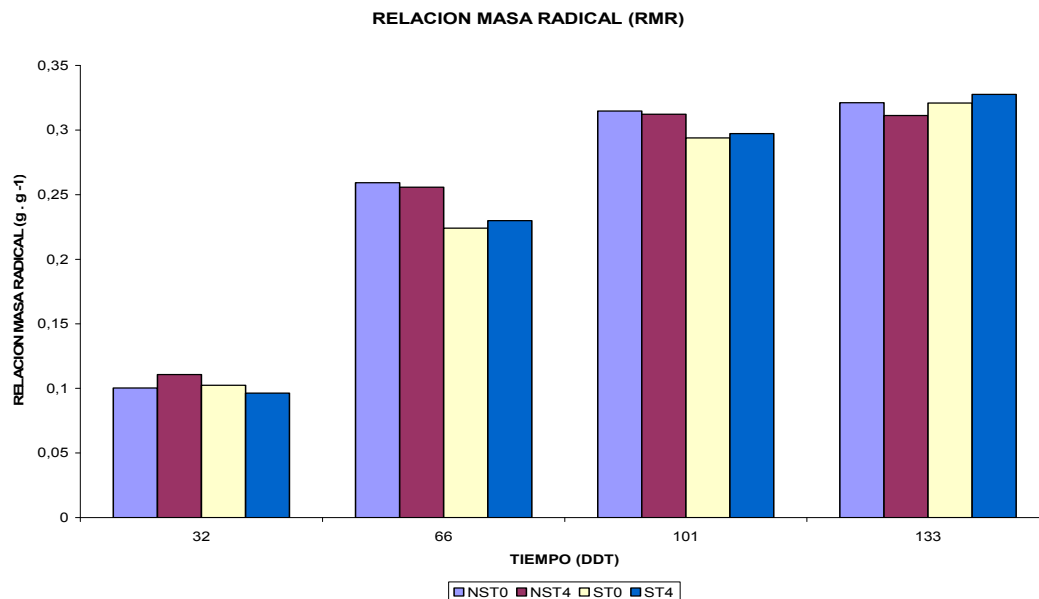


Figura 15. Comportamiento de la relación masa radical (RMR) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que el tipo de suelo influyo sobre la respuesta de la relación masa radical, lo cual podría ser atribuido a que las raíces de las plantas en este tipo de suelo lograron suplir la demanda de nutrientes necesarios para el crecimiento, y así en el suelo ST4, involucrar una mayor acumulación y partición de asimilados hacia las raíces (Salisbury & Ross, 2000; Marschner, 1995; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003; Havlin *et al.* 1999; Hunt, 1990).

Según los resultados de la prueba de Scheffe se definió un grupo: el grupo A para el suelo S en el cual las plantas presentaron un valor de masa radical (RMR) de 0.24 g.g⁻¹; y para el suelo NS el mismo valor anteriormente mencionado (Tabla 2).

El valor más alto del índice relación masa radical (Figura 15) en el suelo solarizado ST4 (0.34 g.g⁻¹) se podría atribuir a que la longitud de las raíces pudo haber facilitado la adquisición de los nutrientes minerales, y adicionalmente, la asociación de la microbiota nativa con las raíces probablemente facilito también la obtención de nutrientes minerales del suelo (Havlin *et al.* 1999; Barker & Pilbeam, 2007; Del Pozo *et al.* 2001; Taiz & Zeiger. 2006; Silk, 1994)

7.2. Efecto del tipo de suelo sobre variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe en *Maclura tinctoria*

En cuanto a los resultados obtenidos en los análisis de varianza para las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe, se presentaron diferencias significativas por efecto de la fuente de variación muestreo para todas las variables, mientras que el tipo de suelo determinó diferencias estadísticas solamente para las variables NS, FeS y EFe (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza del efecto del suelo sobre las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe.

F.V	GL	NS		NF		EN		PS	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	8,00E-03	**	1757,42	**	5,00E-03	**	9275,2	**
Suelo	1	7,00E-04	*	4	ns	1,50E-04	ns	30,2	ns
Muestr. X Suelo	3	0,03	ns	17,23	ns	4,50E-03	ns	7256,4	ns
R ²		0,71		0,42		0,31		0,38	
Promedio		0,29		23,62		0,03		107,75	
CV (%)		4,09		10,65		33,51		21,65	
F.V	GL	PF		EP		FeS		FeF	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	0,01	**	5,23E-04	**	7,03	ns	2,66	**
Suelo	1	2,76E-03	ns	3,63E-06	ns	3,05	**	2,98	ns
Muestr. X Suelo	3	0,02	ns	4,69E-05	ns	5,23	ns	4,65	ns
R ²		0,52		0,63		0,69		0,55	
Promedio		0,29		3,28E-03		1,21		3,99	
CV (%)		18,98		27,26		13,87		9,04	
F.V	GL	EFe							
		CM	Signific.						
Muestreo	3	8,68E-07	**						
Suelo	1	3,44E-08	*						
Muestr. X Suelo	3	5,13E-07	ns						
R ²		0,78							

Promedio	4,54E-04
CV (%)	17,15

ns: No significativo; **: Diferencias altamente significativas (1%); *: Diferencias significativas (5%)

Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron de los análisis de varianza para las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe (Tabla 3), se realizó la prueba de Scheffe para las variables NS, FeS y EFe (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la prueba de Scheffe según el efecto del suelo sobre las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe.

NS		FeS		EFe	
Tipo	Promedio	Tipo	Promedio	Tipo	Promedio
S	0,31 A	NS	123,75 A	S	2,43E-05 A
NS	0,30 A	S	119 A	NS	2,32E-05 A

S: Solarizado; NS: No solarizado

7.2.1. Nitrógeno total suelo (NS)

Los resultados del análisis de varianza mostraron que se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo solamente indicó diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de NS (Tabla 3).

El contenido de nitrógeno total en el suelo a través de los muestreos aumentó desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presentó el valor más alto del estudio que fue NST4 con 0.31% (Figura 16).

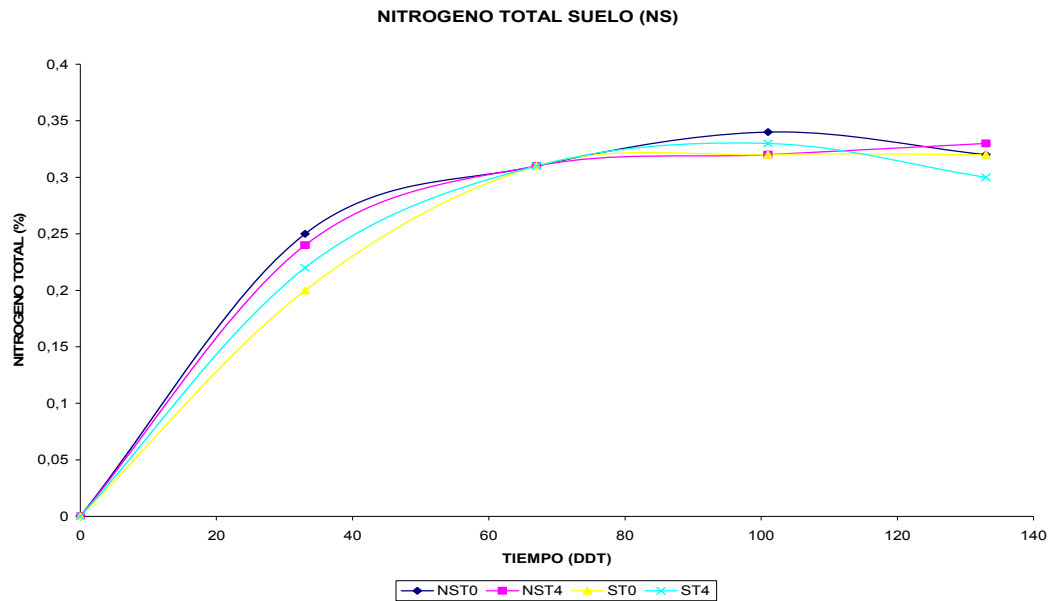


Figura 16. Comportamiento del nitrógeno total suelo (NS) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que el tipo de suelo influyo sobre la concentración de nitrógeno en el suelo, lo que podría significar que fueron afectados la cantidad de nitratos presentes en el suelo solarizado, y probablemente hubo un incremento en la tasa de descomposición de materia orgánica; lo cual pudo generar un alto nivel de nitrógeno mineral (Havlin *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998; Walter *et al.* 2009; Barker & Pilbeam, 2007; Silk, 1994).

Los resultados obtenidos en la prueba de Scheffe definieron un grupo: el grupo A para el suelo S y NS en los cuales las plantas presentaron el mayor contenido de nitrógeno suelo (NS) con 0.31% y 0.30 % respectivamente (Tabla 4).

El valor más alto de la variable nitrógeno total suelo en el suelo no solarizado NST4 (0.31%) (Figura 16), se podría atribuir a que las bacterias nativas del suelo además de proporcionar formas asimilables de determinados elementos minerales, permitieron la obtención de formas asimilables de nitrógeno en la rizosfera de las plantas, y así acumular estas formas en el suelo (Havlin *et al.* 1999; Cakmakci *et al.* 2006; Glick, 1995; Kuo *et al.* 2000; Lambers *et al.* 1998).

7.2.2. Nitrógeno foliar (NF)

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determinó diferencias estadísticas en la respuesta de NF (Tabla 3). El contenido de nitrógeno foliar a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 101 DDT; y desde los 101 DDT hasta los 133 DDT aumento. El valor más alto del estudio se presentó a los 32 DDT que fue ST4 con 5.32 % (Figura 17).

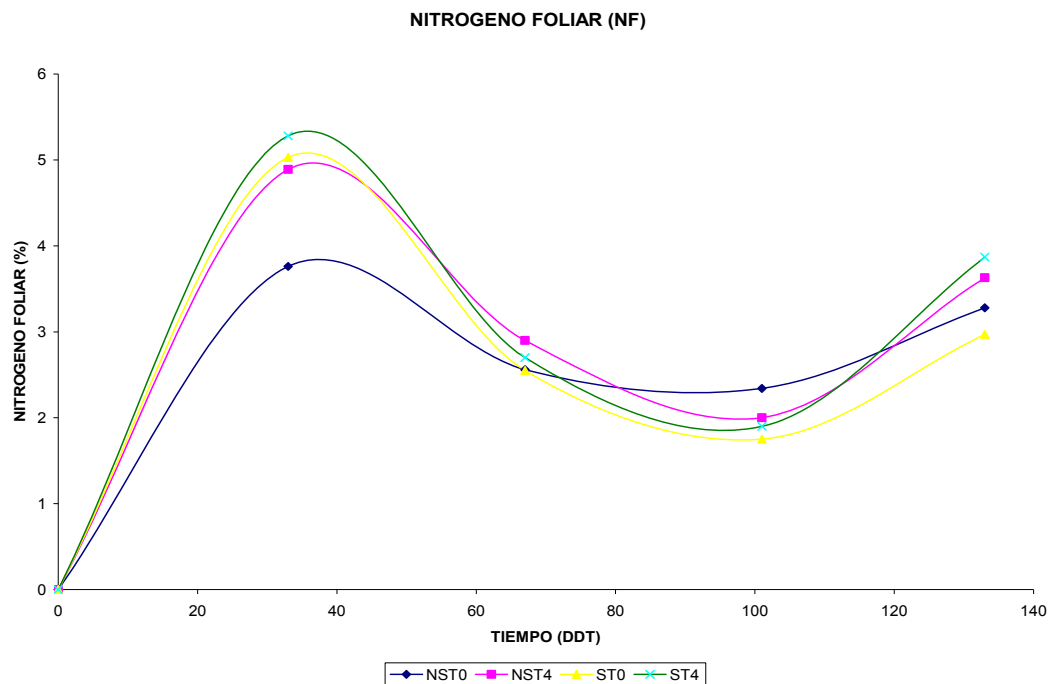


Figura 17. Comportamiento del nitrógeno foliar (NF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable nitrógeno foliar (Figura 17) en el suelo solarizado ST4 (5.32%), se podría atribuir a que el suelo solarizado facilitó una mayor absorción de nitrógeno mineral, con el fin de sostener los procesos bioquímicos como la síntesis de fotosintatos en las hojas en crecimiento, por efecto de la demanda de la planta (Taiz & Zeiger, 2006; Gruenzweig *et al.* 1999; Salisbury & Ross, 2000; Walter *et al.* 2009; Barker & Pilbeam, 2007; Del Pozo *et al.* 2001). Sin embargo, a partir de los cuarenta días aproximadamente se presenta una disminución del nitrógeno en las hojas, probablemente atribuida a una

disminución en el contenido de nutrientes a nivel foliar por procesos de removilización y ciclaje de nutrientes (Lambers *et al.* 1998; Azcon – Bieto, 2000; Dey *et al.* 2004; Chen *et al.* 2005; Kuo *et al.* 2000).

7.2.3. Extracción de nitrógeno (EN)

Según los resultados observados en el análisis de varianza, se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no mostró diferencias estadísticas en la respuesta de EN (Tabla 3).

La extracción de nitrógeno a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT que fue ST4 con 0.13 g/planta (Figura 18).

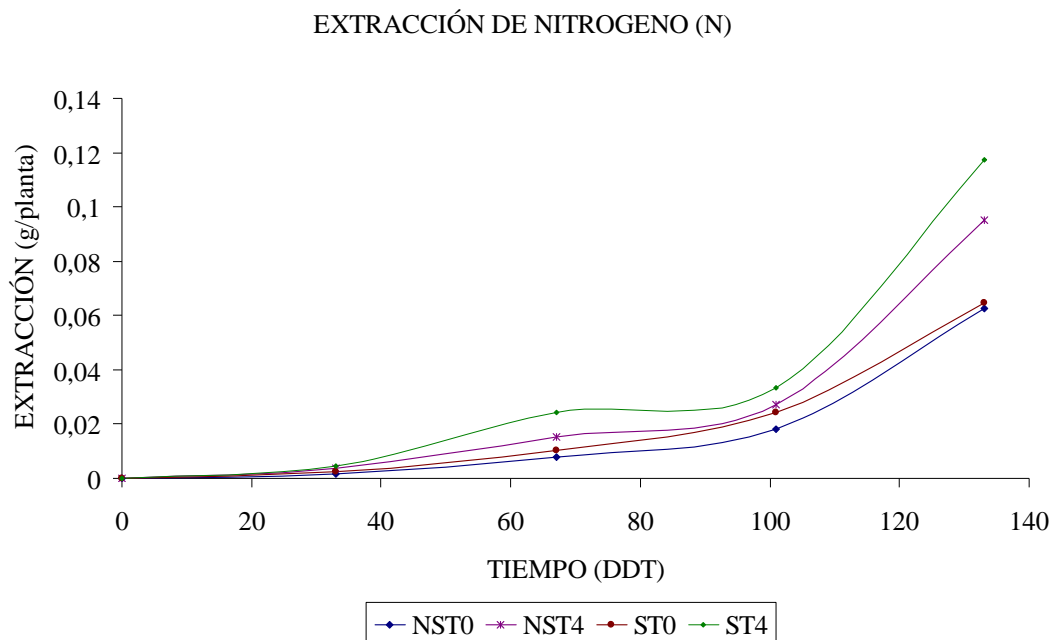


Figura 18. Comportamiento de la extracción de nitrógeno (EN) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*.

El valor más alto de la variable extracción de nitrógeno (Figura 18) en el suelo solarizado ST4 (0.13 g/planta), se puede explicar debido a que la descomposición de materia orgánica pudo ser una fuente importante de nitrógeno para el crecimiento de las plantas de dinde a través de procesos de mineralización, y esto permitió una mayor extracción de nitrógeno sin presentar efectos asociados de toxicidad por exceso de formas asimilables de este elemento ya que la tasa de absorción probablemente no excedió la tasa de

asimilación (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2006; Azcon – Bieto, 2000; Lambers *et al.* 1998; Barker & Pilbeam, 2007; Navarro Cerrillo *et al.* 2003).

7.2.4. Fósforo disponible suelo (PS)

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no se observaron diferencias estadísticas en la respuesta de PS (Tabla 3).

El fósforo disponible suelo a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 101 DDT; y presento un aumento desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT que fue NST4 con 271.22 ppm (Figura 19).

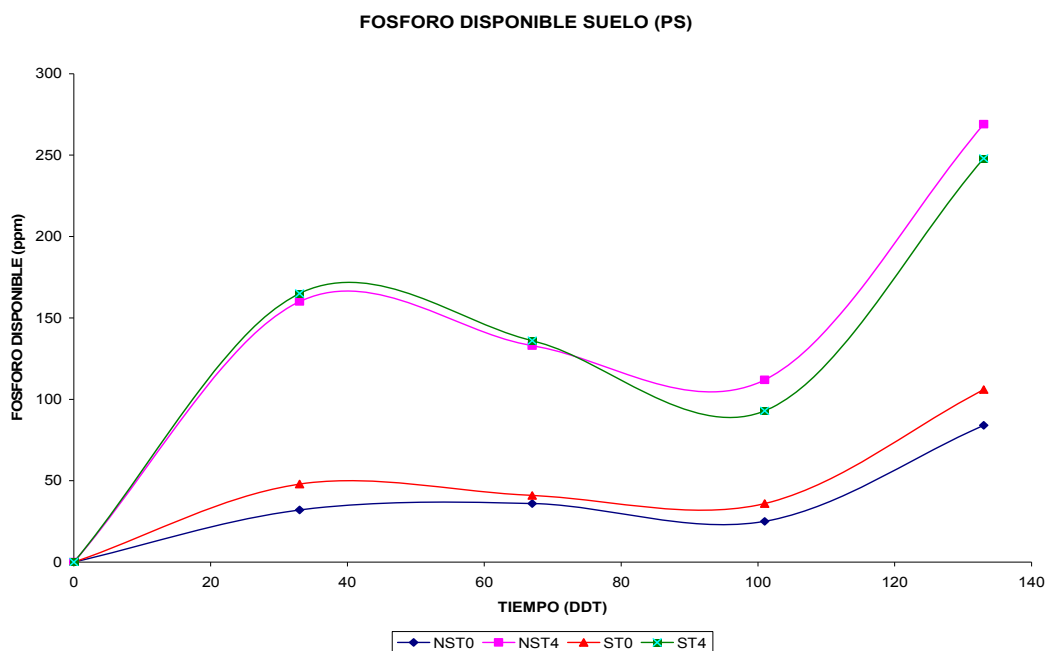


Figura 19. Comportamiento del fósforo disponible suelo (PS) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable fósforo disponible suelo (Figura 19) en el suelo no solarizado NST4 (271.22 ppm), se podría atribuir a que en el suelo no solarizado los microorganismos nativos permitieron a la planta una eficiente liberación de los ácidos orgánicos de las raíces de las mismas mediante la degradación de fuentes de fósforo, y así fueron estimulados para el aprovechamiento de fuentes inorgánicas de fósforo que se encontraban en el suelo para luego ser utilizadas por la planta. Adicionalmente, es posible que este

suelo contenga materiales que participen en procesos de fijación de fósforo como carbonato de calcio, el cual también promueve un suelo alcalino (Stevens *et al.* 2003; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Silk, 1994; Lagos, 2007; Marschner, 1995; Hernández & Escalona, 2003).

7.2.5. Fósforo foliar (PF)

El análisis de varianza mostró diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que en el tipo de suelo no se hallaron diferencias estadísticas en la respuesta de PF (Tabla 3).

El fósforo foliar a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; y aumento desde los 66 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presentó a los 32 DDT que fue ST4 con 0.57% (Figura 20).

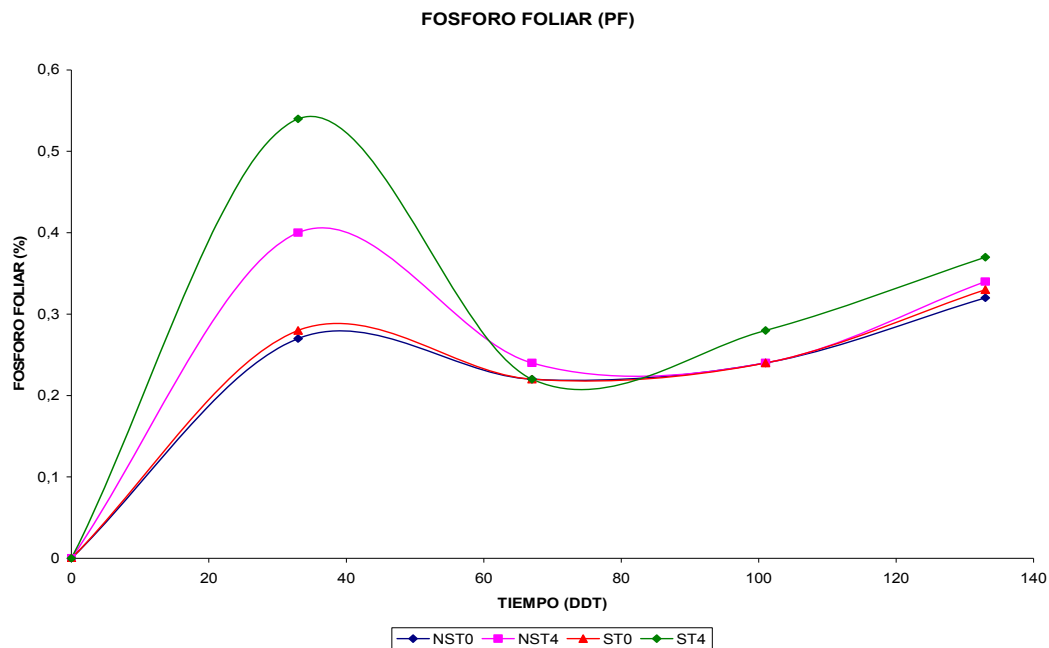


Figura 20. Comportamiento del fósforo foliar (PF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la concentración de fósforo foliar (Figura 20) en el suelo solarizado ST4 (0.57%), se podría atribuir a que en suelo solarizado se presenta probablemente un marcado efecto en el transporte raíz – tallo de minerales como el fósforo que son traslocados a las hojas de la planta dada su movilidad en la misma. También es posible que el fósforo foliar estuvo asociado a una mayor absorción de fósforo que la requerida para soportar los procesos de

transferencia de energía y para procesos de crecimiento, por efecto de la demanda de la planta. Se presenta una disminución en la concentración de fósforo a partir de los 32 DDT, por efecto de la dilución de este elemento mineral como resultado del proceso de crecimiento de las plantas y posterior extracción (Havlin *et al.* 1999; Barker & Pilbeam, 2007; Hoflich *et al.* 2000; Faye *et al.* 2006; Lambers *et al.* 1998; Chen *et al.* 2005; Walter, 2009).

7.2.6. Extracción de fósforo (EP)

Los resultados hallados en los análisis de varianza, muestran que se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determinó diferencias estadísticas en la respuesta de EP (Tabla 3).

La extracción de fósforo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT que fue ST4 con 0.011 g/planta (Figura 21).

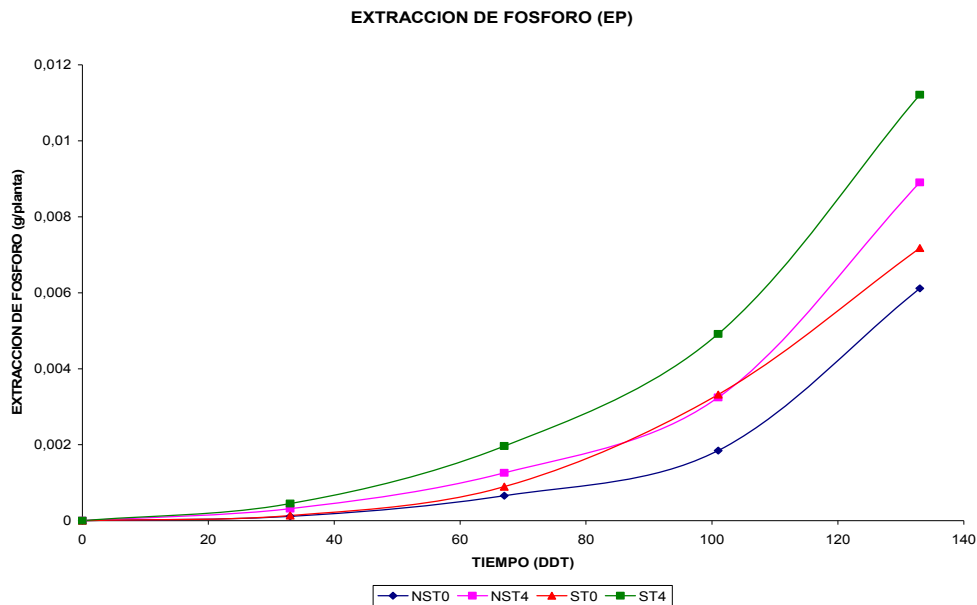


Figura 21. Comportamiento de la extracción de fósforo (EP) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable fósforo foliar (Figura 21) en el suelo solarizado ST4 (0.011 g/planta), se podría atribuir a que en el suelo solarizado se pudo presentar un aumento en la disponibilidad de fuentes de fósforo para las raíces

de la planta y mediante asociaciones en sus tejidos con microorganismos benéficos en el suelo, pudo absorber y movilizar este nutriente. Es posible además que las bacterias nativas del suelo hayan degradado a una tasa mas alta las fuentes inorgánicas de fósforo, y esto permitió que las plantas absorbieran y movilizaran estas formas de este elemento mineral para la formación y acumulación de materia seca, y por lo tanto, el crecimiento de los órganos para cumplir funciones en la actividad fotosintética, respiración y en todo el metabolismo energético (Havlin *et al.* 1999; Barker & Pilbeam, 2007; Taiz & Zeiger, 2006; Walworth, 1992; Zimmer & Bothe, 1989; Pal *et al.* 2001; Landis, 1989).

7.2.7. Hierro disponible suelo (FeS)

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de varianza, se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo determino diferencias estadísticas altamente significativas en la respuesta de FeS (Tabla 3).

El hierro disponible suelo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 101 DDT, a partir de los 101 DDT disminuyo hasta los 133 DDT; a excepción de NST0 que a partir de los 66 DDT aumento hasta los 101 DDT, y desde allí, disminuyo hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio fue NST0 con 182 ppm (Figura 22).

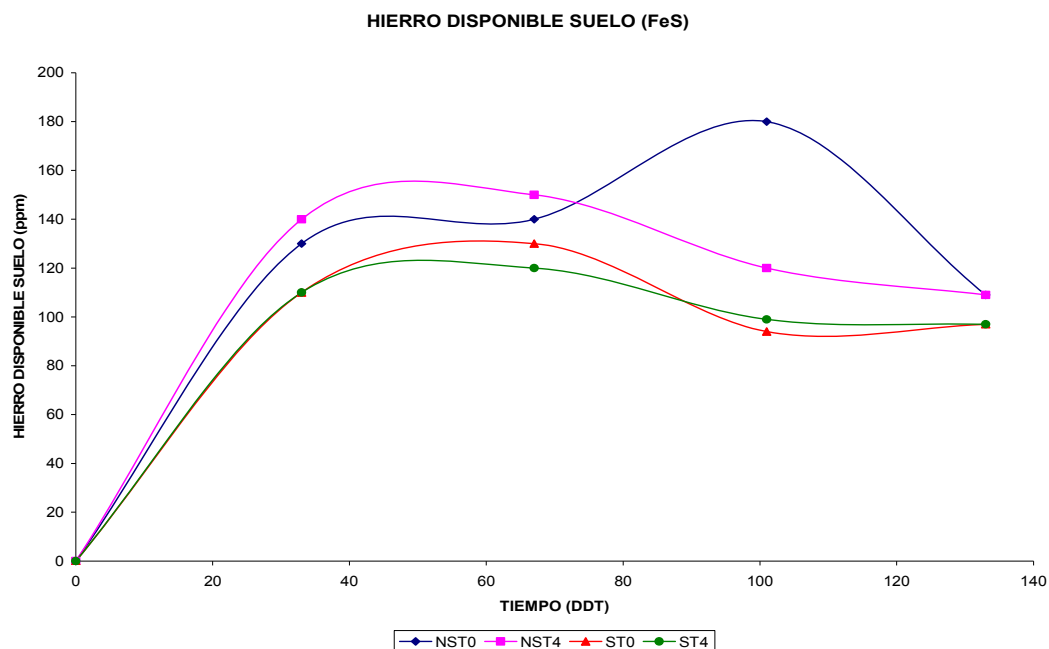


Figura 22. Comportamiento del hierro disponible suelo (FeS) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que el tipo de suelo influyo sobre la concentración de hierro disponible, lo que podría significar que fueron afectados la cantidad de formas asimilables de hierro presentes en el suelo no solarizado, y probablemente en este tipo de suelo se presento acidificación de pH en la rizosfera de las plantas, y una baja cantidad de carbonato de calcio lo cual facilito la asimilación de hierro por parte de las plantas en este tipo de suelo (Havlin *et al.* 1999; Pal *et al.* 2001; Larcher, 2003; Landis, 1989; Barker & Pilbeam, 2007; Van Iersel *et al.* 1999).

Según los resultados de la prueba de Scheffe, se definió un grupo: el grupo A para el suelo S y NS en los cuales las plantas presentaron el mayor contenido de hierro disponible suelo (FeS) con 123.75 ppm y 119 ppm respectivamente (Tabla 4).

El valor más alto de la variable hierro disponible en el suelo (Figura 22) no solarizado (NST0), se podría atribuir a que en el suelo no solarizado los exudados de las plantas actuaron como agentes quelantes de metales en la rizosfera lo que pudo aumentar la disponibilidad de micronutrientes metálicos como el hierro. Estos agentes quelantes forman complejos con los iones presentes en el suelo. El hierro es reducido ya que se encuentra unido a

partículas del suelo y así se incrementa su solubilidad y movilidad hacia las raíces de las plantas (Taiz & Zeiger, 2006; Ristaino *et al.* 1991; Marschner, 1995; Lambers *et al.* 1998; Havlin *et al.* 1999; Dey *et al.* 2004; Chen *et al.* 2005).

7.2.8. Hierro foliar (FeF)

En los análisis de varianza se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determinó diferencias estadísticas en la respuesta de FeF (Tabla 3).

El hierro foliar a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; y aumento desde los 66 DDT hasta los 101 DDT, y disminuyó nuevamente desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presentó a los 101 DDT que fue NST0 con 522.12 ppm (Figura 23).

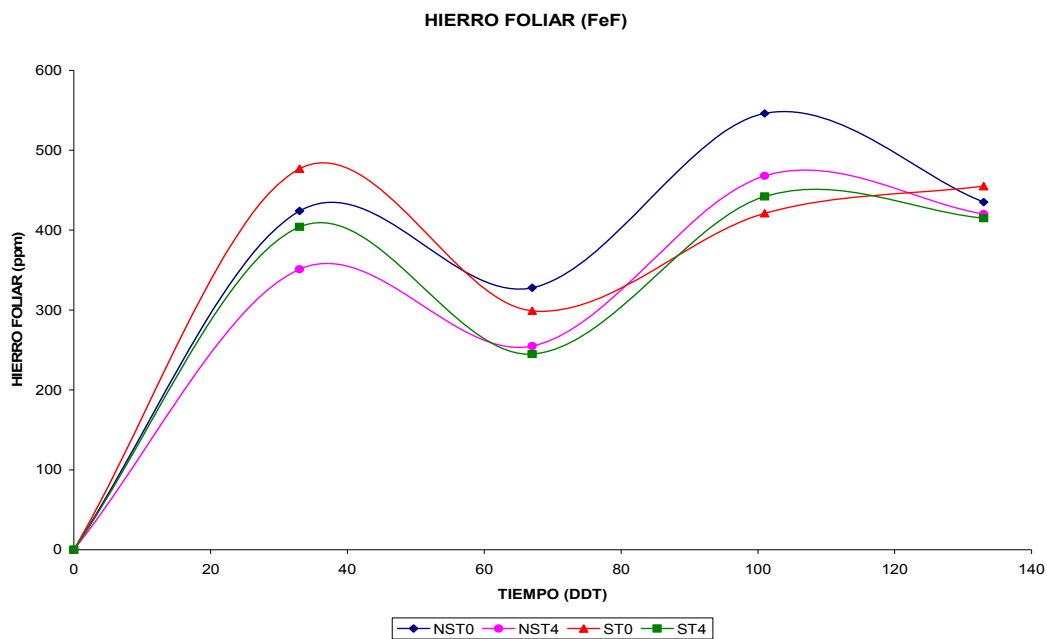


Figura 23. Comportamiento del hierro foliar (FeF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable hierro foliar (Figura 23) en el suelo no solarizado (NST0), se podría atribuir a que en el suelo no solarizado las plantas obtienen hierro del suelo, donde está presente principalmente como ion ferrico (Fe^{+3}). Para absorber grandes cantidades de hierro de la solución del suelo y cumplir con la demanda de este elemento mineral hacia las hojas para llevar a cabo funciones en la conformación de citocromos y proteínas involucradas en la

fotosíntesis y respiración, las raíces acidifican el suelo y liberan agentes quelantes que forman complejos mas solubles y reducen el hierro a la forma ferrosa Fe^{+2} . Una vez las raíces absorben el hierro como un quelato de hierro, este es oxidado a la forma ferrica y traslocado a las hojas en un complejo electroestático con citrato (Taiz & Zeiger, 2006; Marschner, 1995; Lambers *et al.* 1998; Azcon – Bieto, 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Hoflich *et al.* 2000; Larcher, 2003).

7.2.9. Extracción de hierro (EFe)

Los resultados observados en los análisis de varianza que se encontraron, mostraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo, se hallaron diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de EFe (Tabla 3).

La extracción de hierro en el suelo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor más alto del estudio que fue ST4 con 0.0013 g/planta (Figura 24).

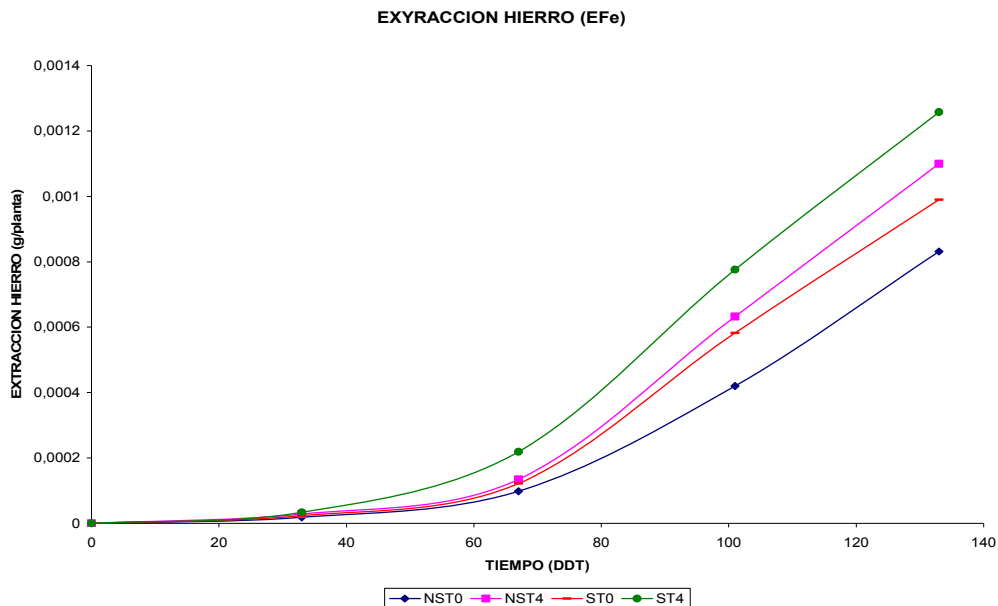


Figura 24. Comportamiento de la extracción de hierro (EFe) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que el tipo de suelo influyo sobre la extracción de hierro, lo que podría significar que fueron afectados la cantidad de formas asimilables de hierro presentes en el suelo solarizado, y mediante la acidificación de la rizosfera de las plantas, estas formas de hierro fueron asimiladas eficientemente lo que permitió su absorción y posterior traslocación a órganos de la planta que demandan este elemento mineral como las hojas para cumplir con funciones en la conformación de sustancias como la clorofila para la fotosíntesis y respiración (Azcon – Bieto, 2000; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Lambers *et al.* 1998; Barker & Pilbeam, 2007; Silk, 2004; Larcher, 2003).

De acuerdo a los resultados de la prueba de Scheffe se definio un grupo: el grupo A para el suelo S y NS en los cuales las plantas presentaron el mayor contenido de extracción hierro (EFe) con 2.43E-05 g/planta y 23.32E-05 g/planta respectivamente (Tabla 4).

El valor más alto de la variable extracción de hierro (Figura 24) en el suelo solarizado ST4 (0.0013 g/planta), se podría atribuir a que en este suelo, el hierro podría aumentar su disponibilidad mediante la acidificación del suelo y la liberación de compuestos que forman complejos estables, y así liberar el hierro incrementando su solubilidad y movilidad hacia los órganos de la planta (Taiz & Zeiger, 2006; Havlin *et al.* 1999; Hoflich *et al.* 2000; Lambers *et al.* 1998; Marschner, 1995; Barker & Pilbeam, 2007; Salisbury & Ross, 2000; Walter, 2009).

7.3. Efecto del tipo de suelo sobre variables relacionadas con características químicas del suelo como pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica en *Maclura tinctoria*

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis de varianza para las variables relacionadas con características químicas del suelo, se encontraron diferencias significativas por efecto de la fuente de variación muestreo para las variables pH y %C Orgánico. El tipo de suelo indico diferencias estadísticas solamente para la variable pH (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza del efecto del suelo sobre las variables relacionadas con características químicas del suelo.

F.V	GL	pH		CIC		C.E.		%C Organico	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	1,61E-01	**	5,64E-01	ns	1,34E-01	ns	3,92E-01	**
Suelo	1	1,60E-01	*	1,91	ns	2,97E-02	ns	6,08E-02	ns
Muestr. X Suelo	3	1,59E-01	ns	5,62E-01	ns	2,89E-01	ns	3,45E-01	ns
R ²		0,76		0,22		0,31		0,28	
Promedio		5,4		7,06		2,34E-01		2,34	
CV (%)		2,37		11,91		37,48		6,31	

ns: No significativo; **: Diferencias altamente significativas (1%); *: Diferencias significativas (5%)

Según los resultados que se obtuvieron de los análisis de varianza para las variables relacionadas con características químicas del suelo (Tabla 5), se realizó la prueba de Scheffe para la variable pH (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de la prueba de Scheffe según el efecto del suelo sobre las variables relacionadas con características químicas del suelo.

pH	
Tipo	Promedio
NS	5,51 A
S	5,45 A

S: Solarizado; NS: No solarizado

7.3.1. pH del suelo

De acuerdo a los resultados de los análisis de varianza observados, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo determinó diferencias estadísticamente significativas para el pH del suelo (Tabla 5).

El pH del suelo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 101 DDT; y disminuyo desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. Se presento el valor mas alto del estudio que fue NST0 con un pH de 5.8 (Figura 25).

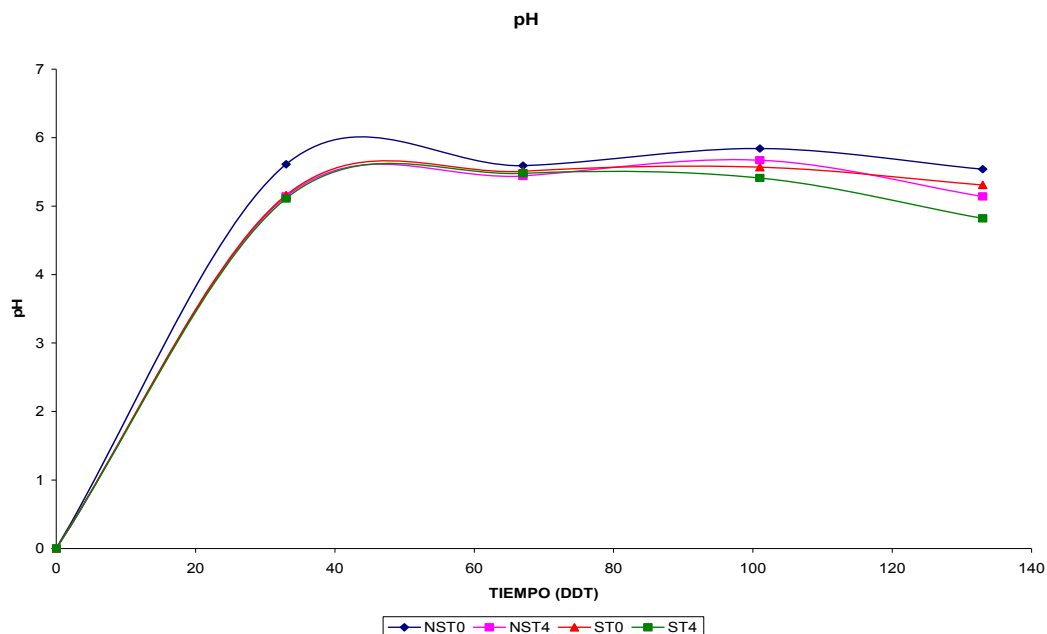


Figura 25. Comportamiento del pH en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que el tipo de suelo influyo sobre el valor del pH del suelo, lo que podría significar que en el suelo no solarizado las raíces de las plantas liberaron ácidos orgánicos para disminuir el pH del medio, y esto también pudo promover la movilización de compuestos fosfatados, y en general, aumentar disponibilidad de nutrientes como nitrato y potasio (Havlin *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003; Barker & Pilbeam, 2007; Chen *et al.* 2005; Faye *et al.* 2006).

Según los resultados de la prueba de Scheffe, se definió un grupo: el grupo A para el suelo NS y S en los cuales el suelo presento un pH de 5.51 y 5.45 respectivamente (Tabla 6).

El valor más alto de la variable pH (Figura 25) en el suelo no solarizado NST0 (5.8), se podría atribuir a que las bacterias nativas del suelo se encontraron con un nivel de pH óptimo para su crecimiento. Adicionalmente, el pH es importante para la disponibilidad de nutrientes dado que altas concentraciones de iones hidrogeno pueden causar incrementos e la entrada de nutrientes por aumento en la tasa de meteorización, pero mayor perdida de bases catiónicas

intercambiables por lixiviación (Dey *et al.* 2004; Barker & Pilbeam, 2007; Pal *et al.* 2001; Salisbury & Ross, 2000; Soulas *et al.* 1997; Stevens *et al.* 2003).

7.3.2. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los resultados de los análisis de varianza indican que no se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no presento diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de CIC (Tabla 5).

La capacidad de intercambio catiónico a través de los muestreos disminuyo desde los 32 DDT hasta los 101 DDT, a excepción de NST4; y aumento desde los 101 DDT hasta los 133 DDT, a excepción de NST4 el cual disminuyo desde los 101 DDT hasta los 133 DDT . Se presento el valor mas alto del estudio que fue NST4 con un CIC de 10.3 me/100g (Figura 26).

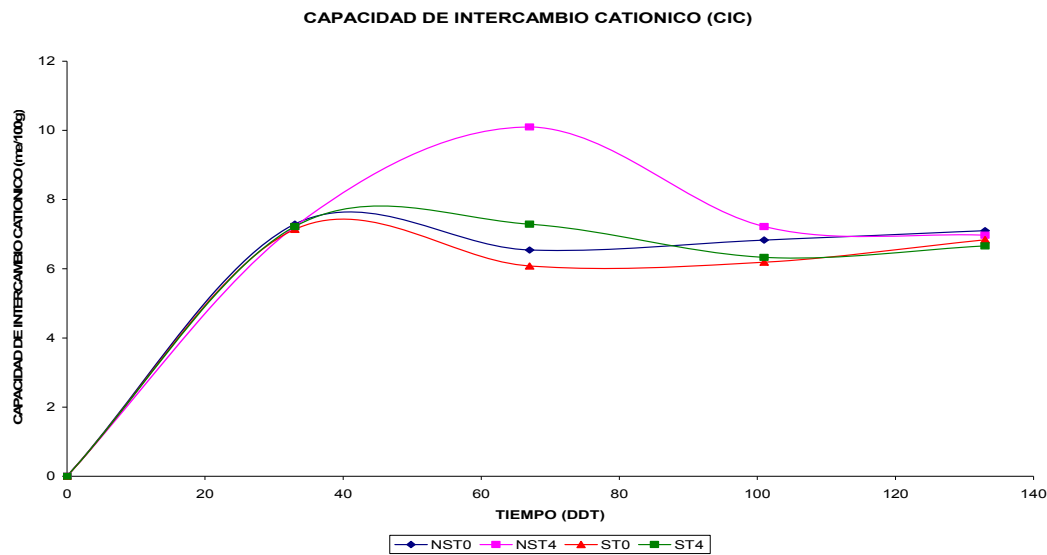


Figura 26. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable CIC (Figura 26) en el suelo no solarizado NST4 (10.3 me/100g), se podría atribuir a que en este suelo la acidificación por parte de las raíces de las plantas, y posterior disminución del pH, pudo incrementar las bases catiónicas intercambiables y evitar su pérdida por procesos de lixiviación, sin embargo, Havlin *et al.* 1999, sugieren que un valor menor a 20 meq/100g podría incrementar la pérdida de nutrientes por lixiviación. Esta variable es útil

porque ayuda en la determinación del grado de fertilidad de un sustrato ya que indica la capacidad del mismo de retener, intercambiar y permitir el almacenamiento de nutrientes aprovechables por la planta (Lambers *et al.* 1998; Barker & Pilbeam, 2007; Marschner, 1995; Hoflich *et al.* 2000; Glick, 1995; Azcon – Bieto, 2000).

7.3.3. Conductividad eléctrica (C.E)

Según los resultados obtenidos en los análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que el tipo de suelo no determinó diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de C.E (Tabla 5).

La conductividad eléctrica a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 101 DDT; y aumento desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. Se presento el valor más alto del estudio que fue ST0 con un C.E de 0.55 ds/m (Figura 27).

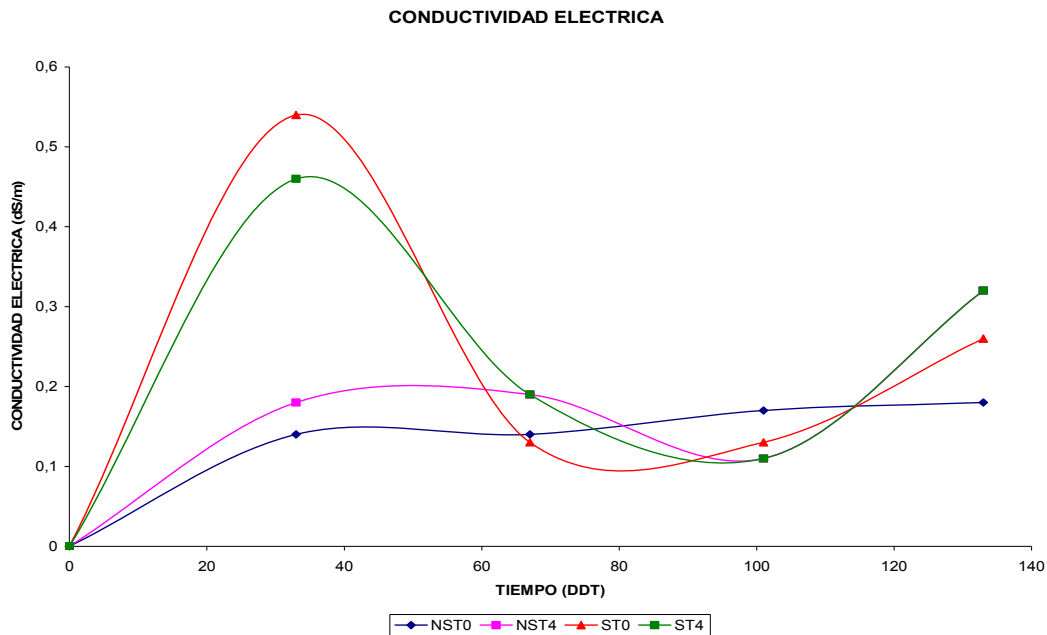


Figura 27. Comportamiento de la conductividad eléctrica en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable C.E (0.55 ds/m) en el suelo solarizado ST0 (0.55 ds/m), se podría atribuir a que el contenido de sales en este suelo fue mas alto que en el suelo no solarizado. Sin embargo, según Cervantes, 1981, el agua de

riego de las plantas deben tener conductividad entre 0,1 y 0,75 ds/m e inferior. Si se utilizan aguas de riego que posean una conductividad que sobrepasan estos límites se incurre en el peligro de crear una salinidad alta, pero en ninguno de los suelos de este trabajo se sobrepaso este limite.

7.3.4. Porcentaje de carbono orgánico

Los resultados hallados en los análisis de varianza presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras en el caso del tipo de suelo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de % C Orgánico (Tabla 5).

El porcentaje de carbono orgánico a través de los muestreos disminuyo desde los 32 DDT hasta los 133 DDT, a excepción de ST4 que aumento desde los 32 DDT hasta los 66 DDT y posteriormente disminuyo desde los 66 DDT hasta los 133 DDT. Se presento el valor más alto del estudio que fue ST4 con un % C orgánico de 2.94 % (Figura 28).

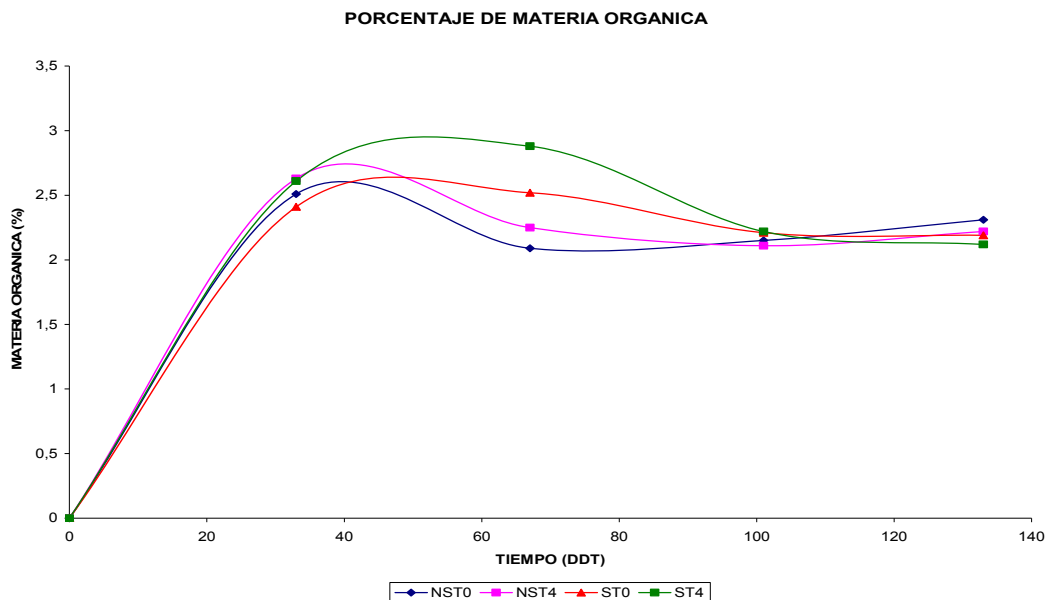


Figura 28. Comportamiento del porcentaje de materia orgánica en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable % C Orgánico (2.94 %) en el suelo solarizado ST4, se podría atribuir a que la solarización aumento la tasa de descomposición de materia orgánica y así la disponibilidad de nutrientes minerales para la

microflora edáfica y las plantas sembradas en el suelo, mediante procesos como la mineralización y fijación de elementos minerales (Gruenzweig *et al.* 1999; Barker & Pilbeam, 2007; Lambers *et al.* 1998; De Freitas *et al.* 1997; Ristaino *et al.* 1991; Walter *et al.* 2009).

7.4. Efecto de bioinoculantes sobre variables de crecimiento y desarrollo respecto al control positivo en *Maclura tinctoria*

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de varianza para las variables de crecimiento y desarrollo respecto al control positivo, se presentaron diferencias significativas por efecto de la fuente de variación muestreo para todas las variables. Los bioinoculantes evaluados diferencias estadísticas para las variables LA, PFH, PFT, PSH y PSR (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza del efecto de bioinoculantes sobre las variables de crecimiento y desarrollo respecto al control positivo.

F.V	GL	LR		LA		NRL		PFH	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	307,79	**	229,24	**	5,72	**	4,85	**
Bioinocula.	4	12,63	ns	26,44	**	7,56	ns	0,64	**
Muestr. X Bioin.	12	158,23	ns	201,33	ns	3,62	ns	2,69	ns
R ²		0,41		0,77		0,64		0,79	
Promedio		1,98		1,39		7,06		1,23	
CV (%)		13,43		6,46		12,36		17,31	
F.V	GL	PFR		PFT		PSH		PST	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	9,84	**	4,03	**	0,43	**	0,58	**
Bioinocula.	4	1,74	ns	0,86	**	0,04	**	0,11	ns
Muestr. X Bioin.	12	7,56	ns	7,56	ns	0,31	ns	0,32	ns
R ²		0,62		0,79		0,8		0,65	
Promedio		1,67		1,01		3,67E-01		3,69E-01	
CV (%)		23,76		24,54		13,48		25,17	
F.V	GL	PSR		AF		RPF		RMR	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	0,45	**	23525,5	**	0,04	**	0,03	**
Bioinocula.	4	0,06	*	4658,7	ns	2,40E-03	ns	1,16E-06	ns
Muestr. X Bioin.	12	0,21	ns	18696,2	ns	0,01	ns	0,02	ns
R ²		0,69		0,68		0,61		0,52	
Promedio		3,35E-01		7,36		3,92E-01		2,42E-01	
CV (%)		24,15		37,71		3,95		4,11	

ns: No significativo; **: Diferencias altamente significativas (1%); *: Diferencias significativas (5%)

Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron de los análisis de varianza para las variables de crecimiento y desarrollo respecto al control positivo (Tabla 7), se realizó la prueba de Scheffe para las variables LA, PFH, PFT, PSH y PSR (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados de la prueba de Scheffe según el efecto de bioinoculantes sobre las variables de crecimiento y desarrollo respecto al control positivo.

LA		PFH		PFT		PSH	
Trat.	Promedio	Trat.	Promedio	Trat.	Promedio	Trat.	Promedio
T4	15,61 A	T4	1,46 A	T4	1,27 A	T4	0,54 A
T2	13,35 B	T3	1,12 B	T3	0,90 B	T3	0,44 B
T3	13,18 B	T2	1,04 B	T2	0,81 B	T2	0,32 B
T0	12,68 B	T0	1,03 B	T0	0,78 B	T0	0,32 B
T1	11,72 B	T1	0,91 B	T1	0,68 B	T1	0,28 B
PSR							
Trat.	Promedio						
T4	0,41 A						
T3	0,29 B						
T0	0,27 B						
T2	0,27 B						
T1	0,21 B						

7.4.1. Longitud raíz (LR)

Según los resultados obtenidos de los análisis de varianza, se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras en los bioinoculantes no se encontraron diferencias estadísticas en la respuesta de la LR (Tabla 7). La acumulación y partición de asimilados en la raíz a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor mas alto del estudio que fue NST1 con 27.93 cm (Figura 29).

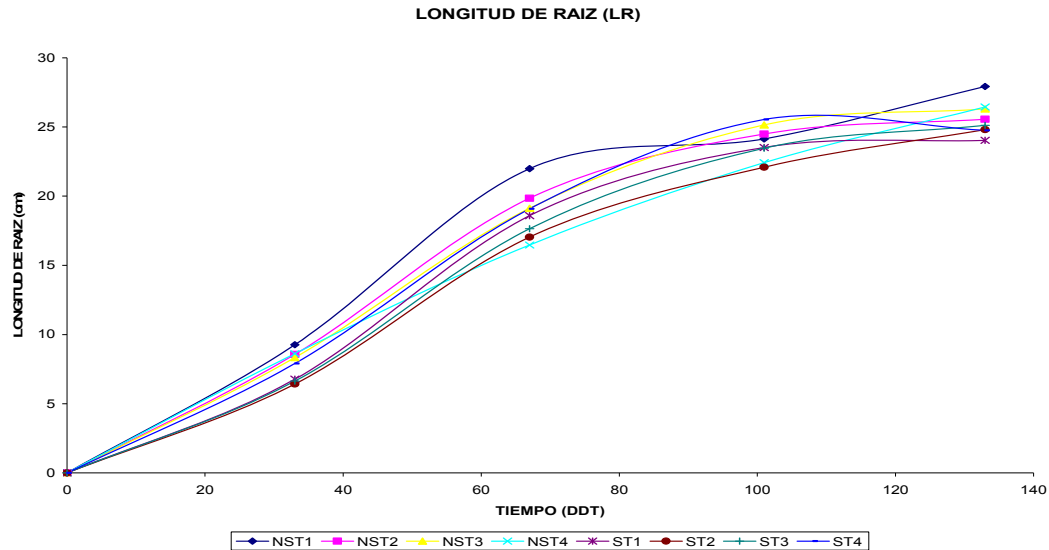


Figura 29. Comportamiento de la longitud de raíz (LR) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable longitud raíz (Figura 29) en el suelo no solarizado NST1 (27.93 cm), se puede atribuir a que en el suelo NST1 las bacterias solubilizadoras de fósforo degradaron a una tasa un poco mas alta que los demás tipos de suelo, las fuentes de origen de fósforo, y también es posible que hayan presentado un sinergismo con alguna parte de la microbiota nativa lo que les permitió establecerse en la rizosfera de las plantas y determinar una alta disponibilidad de fósforo para ser absorbido por las raíces de las plantas, lo que permitió una absorción y movilización de este nutriente a los órganos, como la raíz, considerando que el fósforo cumple funciones estructurales en las células y en el metabolismo energético de las mismas como en procesos de división y elongación celular (Barker & Pilbeam, 2007; Taiz & Zeiger, 2006; Havlin *et al.* 1999; Faye *et al.* 2006; Glick, 1995; Lagos, 2007; Marschner, 1995).

7.4.2. Longitud aérea (LA)

Los resultados de los análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo; mientras que los bioinoculantes no determinaron diferencias estadísticas en la respuesta de la LA (Tabla 7). La acumulación de materia seca en el tallo a través de los muestreos aumento

desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presentó el valor más alto del estudio que fue ST4 con 26.1 cm (Figura 30).

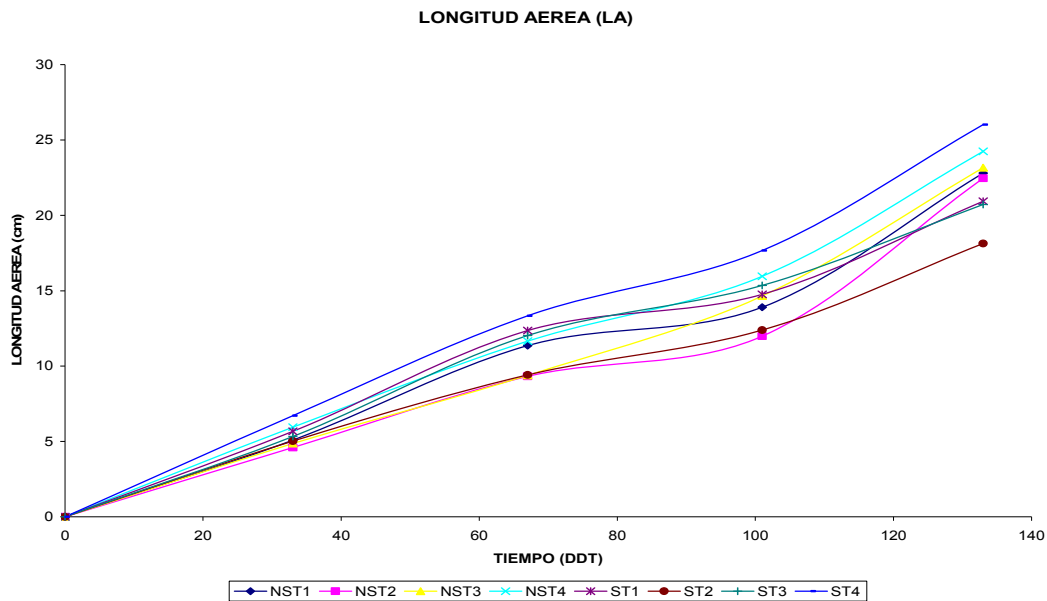


Figura 30. Comportamiento de la longitud aérea (LA) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que los bioinoculantes influyeron sobre la respuesta de la longitud aérea, lo cual podría significar que fue afectada la tasa de acumulación y partición de asimilados, y por lo tanto, la acumulación de materia seca para crecimiento de este órgano (Gruenzweig, 1999; Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Van Iersel *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998).

En cuanto a los resultados de la prueba de Scheffe, se definieron dos grupos: el grupo A para el suelo T4 en el cual las plantas presentaron la mayor longitud aérea (LA) con 15.61 cm; y el grupo B en el cual T2 presentó 13.35 cm; T3 con 13.18 cm; T0 con 12.68 cm; y T1 con 11.72 cm (Tabla 8).

El valor más alto de la variable longitud aérea (Figura 30) en el suelo solarizado ST4 (26.1 cm), se podría atribuir a que en el suelo ST4 en la rizosfera de las plantas hayan tenido una mayor disponibilidad de nutrientes necesarios para cumplir con la demanda nutricional para el crecimiento y funciones metabólicas que requieren, y llevar a cabo la formación y acumulación de materia seca en órganos como el tallo y las raíces. Adicionalmente, es posible que el sinergismo

de la microbiota nativa en el suelo solarizado, haya aumentado la disponibilidad de nutrientes para las raíces de las plantas en la rizosfera (Kuo *et al.* 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Havlin *et al.* 1999; Gruenzweig *et al.* 1993; Jensen, 1954; Taiz & Zeiger, 2006; Walter *et al.* 2009).

7.4.3. Número de raíces laterales (NRL)

De acuerdo a los resultados observados en los análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que los bioinoculantes no indicaron diferencias estadísticas en la respuesta del NRL (Tabla 7). La acumulación y asignación de asimilados en las raíces laterales a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; y aumento desde los 66 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presentó en el suelo NST1 con 11 raíces laterales (Figura 31).

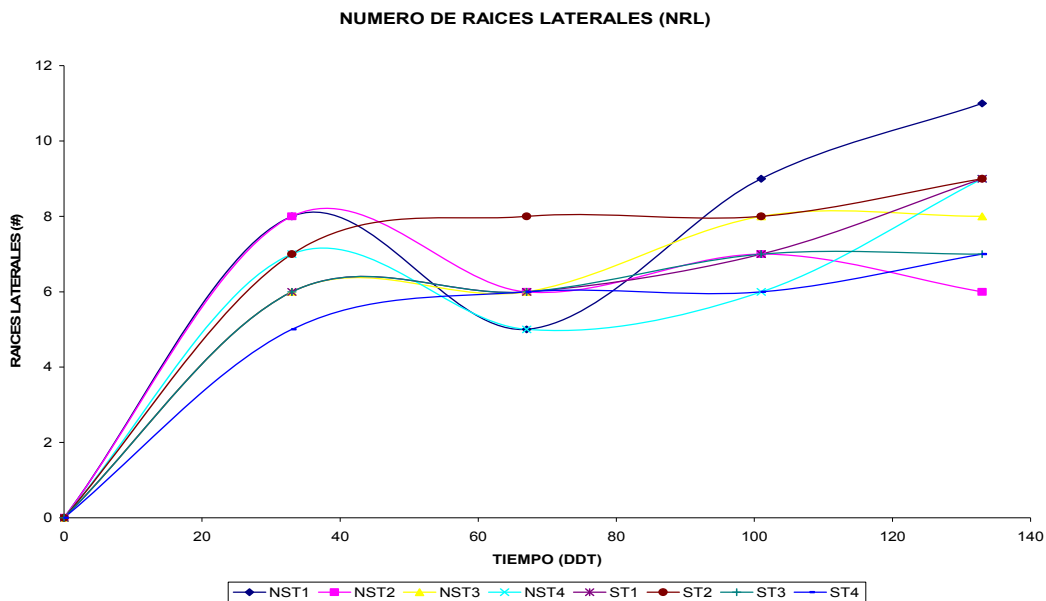


Figura 31. Comportamiento del número de raíces laterales (NRL) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable número de raíces laterales (Figura 31) en el suelo no solarizado NST1 (11 raíces laterales), se puede atribuir a que en este suelo, las bacterias solubilizadoras de fósforo degradaron las fuentes inorgánicas de fósforo a una tasa más alta que los demás tipos de suelo, y es posible que permitieran una mayor disponibilidad, absorción y movilización de este elemento

mineral a las raíces de las plantas. En las células de la raíz, el fósforo cumple funciones claves en el metabolismo energético y tienen un papel estructural a nivel celular importante en la división y elongación lo que permitiría un mayor crecimiento de raíces laterales en la raíz para obtener nutrientes en la rizosfera (Havlin *et al.* 1999; Faye *et al.* 2006; Barker & Pilbeam, 2007; Azcon – Bieto, 2000; Van Iersel *et al.* 1999; Walter *et al.* 2009; Larcher, 2003).

7.4.4. Peso fresco hojas (PFH)

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza, mostraron diferencias significativas por efecto del muestreo; mientras que los bioinoculantes se encontraron diferencias estadísticas en la respuesta de PFH (Tabla 7). La acumulación de materia seca en las hojas a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor mas alto del estudio que fue ST4 con 3.32 g (Figura 32).

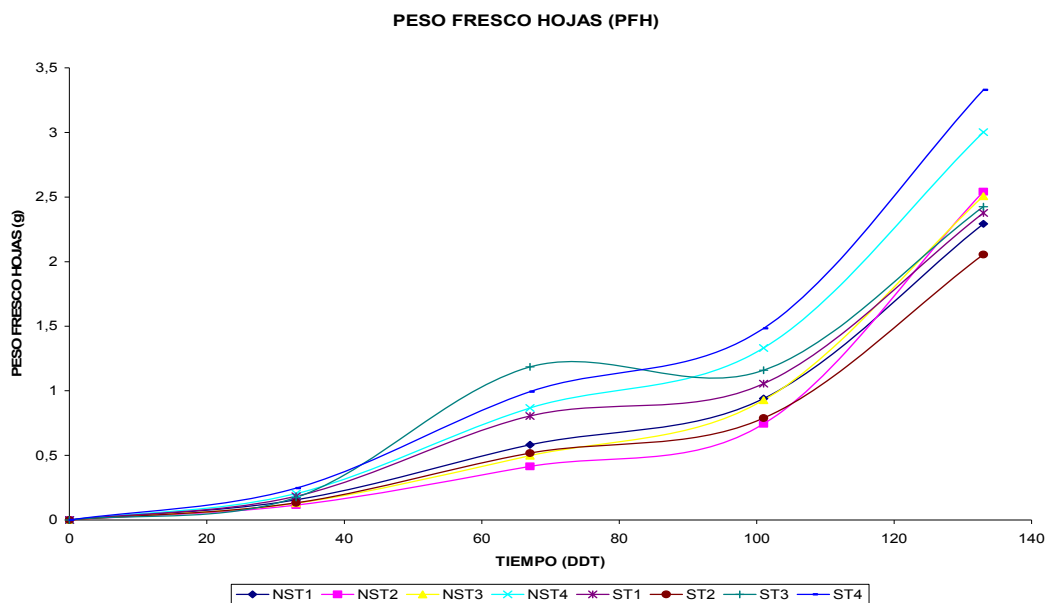


Figura 32. Comportamiento del peso fresco hojas (PFH) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

Este resultado muestra que los bioinoculantes influenciaron la respuesta de peso fresco hojas, lo cual podría significar que fue afectada la actividad fotosintética, y de esta manera, la acumulación y partición de asimilados hacia las hojas, y por lo tanto, la acumulación de materia seca para el crecimiento de este órgano

(Marschner, 1995; Silk, 1994; Walter *et al.* 2009; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Lambers *et al.* 1998).

Los resultados de la prueba de Scheffe se definieron dos grupos: el grupo A para el suelo T4 en el cual las plantas presentaron el mayor peso fresco hojas (PFH) con 1.46 g; y el grupo B en el cual T3 presento 1.12 g; T2 con 1.04 g; T0 con 1.03 g; y T1 con 0.91 g (Tabla 8).

El valor más alto de la variable peso fresco hojas (Figura 32) en el suelo solarizado ST4 (3.32 g), se podría atribuir a que la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera de las plantas fuera mayor que en los otros suelos ya que en el suelo solarizado la planta encontró la cantidad de nutrientes suficientes para cubrir la demanda nutricional que necesitaba y esto le permitió, como en este caso, traslocar asimilados a órganos como las hojas para la acumulación de materia seca y cumplir con funciones como la fotosíntesis y la respiración (Taiz & Zeiger, 2006; Barker & Pilbeam, 2007; Kuo *et al.* 2000; Faye *et al.* 2006; Del Pozo *et al.* 2001; Chen *et al.* 2005).

7.4.4. Peso fresco raíz (PFR)

Según los análisis de varianza se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que los bioinoculantes no determinaron diferencias estadísticas en la respuesta de PFR (Tabla 7). La acumulación y partición de asimilados en las raíces a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 4.71 g (Figura 33).

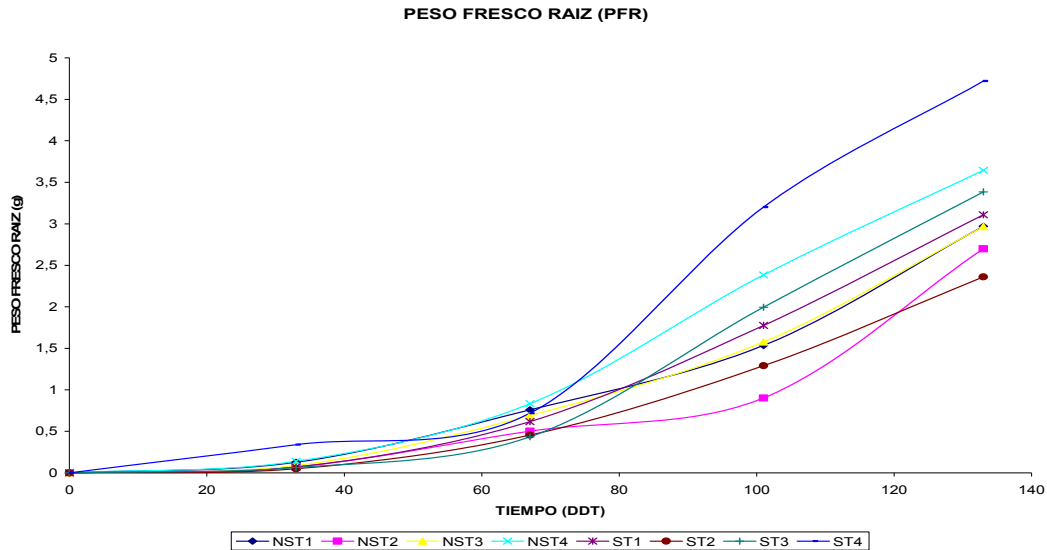


Figura 33. Comportamiento del peso fresco raíz (PFR) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable peso fresco raíz (Figura 33) en el suelo solarizado ST4 (4.71 g), se puede atribuir a que la demanda de nutrientes que las plantas necesitaban para su crecimiento y desarrollo, hayan sido cubiertas en gran parte por la buena disponibilidad de nutrientes y formas asimilables para la toma por parte de las raíces de las plantas, y así, la raíz tomar los nutrientes necesarios de la rizosfera y utilizarlos para la acumulación de materia seca y llevar a cabo las funciones metabólicas necesarias. Adicionalmente, las bacterias nativas del suelo probablemente promovieron un mayor crecimiento de la raíz mediante la conversión de compuestos inorgánicos insolubles en compuestos solubles para su posterior utilización en procesos que involucran división y elongación celular de la raíz, con el fin de crecer y alcanzar más fuentes de nutrientes minerales en el suelo (Salisbury & Ross, 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Marschner, 1995; Lagos, 2007; Gruenzweig *et al.* 1999; Chen *et al.* 2005).

7.4.5. Peso fresco tallo (PFT)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que los bioinoculantes determinaron diferencias estadísticas en la respuesta de PFT

(Tabla 7). La acumulación de materia seca en el tallo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor mas alto del estudio que fue ST4 con 3.15 g (Figura 34).

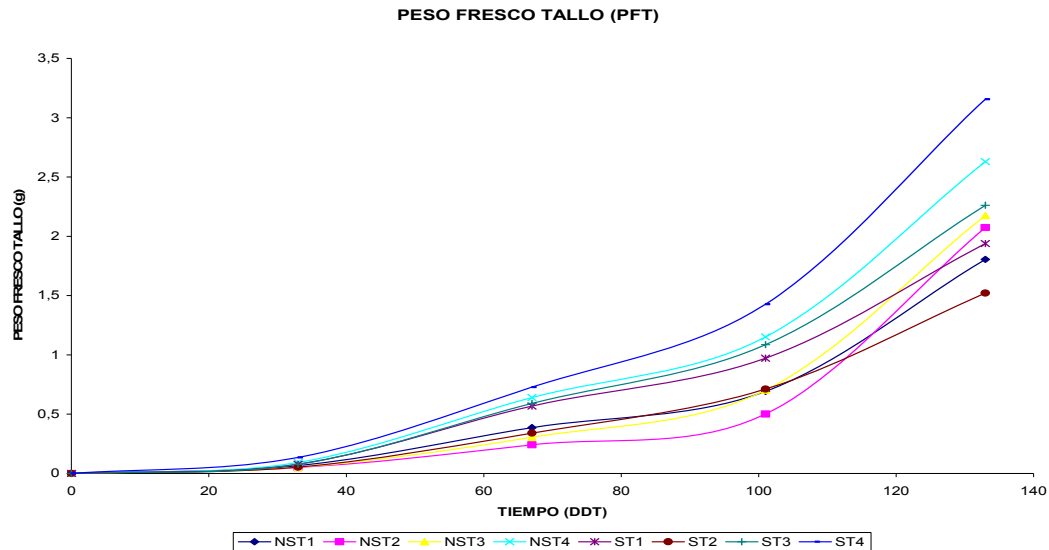


Figura 34. Comportamiento del peso fresco tallo (PFT) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que los bioinoculantes influyeron altamente sobre la respuesta de esta variable, lo cual podría significar que fue afectada la actividad fotosintética y la disponibilidad de nutrientes, y de esta manera, la acumulación y partición de asimilados hacia el tallo para la acumulación de materia seca en el crecimiento de este órgano (Walter *et al.* 2009; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Lambers *et al.* 1998; Dey *et al.* 2004; Glick, 1995; Landis, 1989; Parra, 1996).

Los resultados de la prueba de Scheffe definieron dos grupos: el grupo A para el suelo T4 en el cual las plantas presentaron el mayor peso fresco tallo (PFT) con 1.27 g; y el grupo B en el cual T3 presento 0.90 g; T2 con 0.81 g; T0 con 0.78 g; y T1 con 0.68 g (Tabla 8).

El valor más alto de la variable peso fresco tallo (Figura 34) en el suelo solarizado ST4 (3.15 g), se podría atribuir a que el suelo tuvo todos los nutrientes necesarios para cubrir la demanda de la planta de acuerdo a su etapa vegetativa inicial de desarrollo. Las bacterias nativas del suelo probablemente

suministraron los nutrientes necesarios para cubrir la demanda mediante sinergismos en la raíz de las plantas. Los nutrientes fueron tomados por las raíces y movilizados a los órganos en crecimiento, como el tallo, donde se cumplen funciones de actividad fotoquímica (Barker & Pilbeam, 2007; Kuo *et al.* 2000; Lambers *et al.* 1998; Cakmakci *et al.* 2006; De Freitas *et al.* 1997; Faye *et al.* 2006; Hoflich *et al.* 2000).

7.4.6. Peso seco hojas (PSH)

Los resultados encontrados en los análisis de varianza indican que se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes mostraron diferencias estadísticas en la respuesta de PSH (Tabla 7). La acumulación y partición de asimilados en las hojas a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presentó el valor más alto del estudio que fue ST4 con 0.95 g (Figura 35).

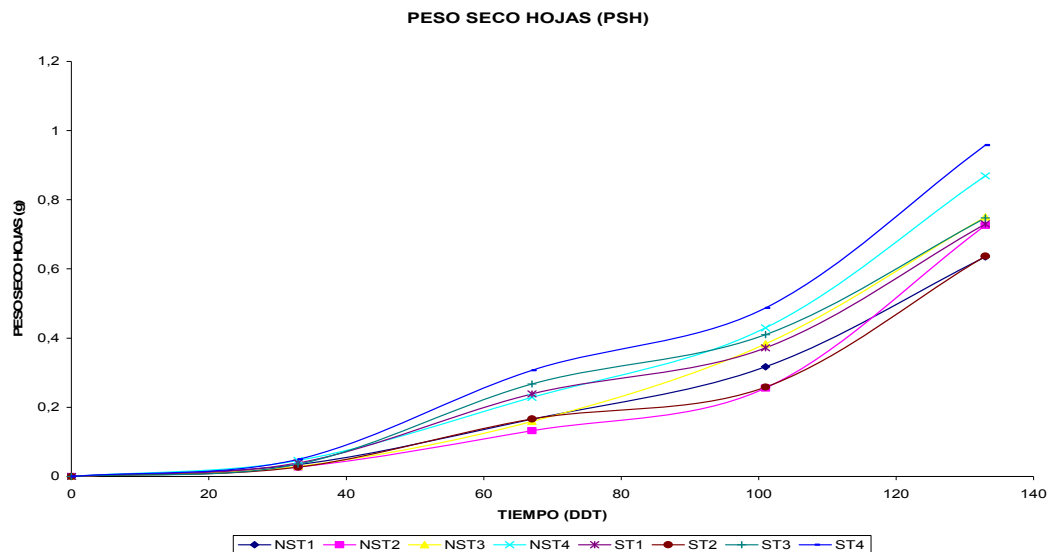


Figura 35. Comportamiento del peso seco hojas (PSH) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

De acuerdo al resultado encontrado, los bioinoculantes influyeron sobre la respuesta de esta variable, lo cual podría significar que fue afectada la actividad fotosintética y la formación de materia seca, y por lo tanto, la acumulación y partición de asimilados para el crecimiento de las hojas (Marschner, 1995; Taiz

& Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Lambers *et al.* 1998; Gruenzweig *et al.* 1993; Kuo *et al.* 2000; Azcon – Bieto, 2000; Barker & Pilbeam, 2007).

Según los resultados observados de la prueba de Scheffe se definieron dos grupos: el grupo A para el suelo T4 en el cual las plantas presentaron el mayor peso seco hojas (PSH) con 0.54 g; y el grupo B en el cual T3 presento 0.44 g; T2 con 0.32 g; T0 con 0.32 g; y T1 con 0.28 g (Tabla 8).

El valor más alto de la variable peso seco hojas (Figura 35) en el suelo solarizado ST4 (0.95 g), se podría atribuir a que la disponibilidad de nutrientes fuera mas alta en la rizosfera que en los demás tipos de suelo debido a un posible sinergismo entre las bacterias nativas del suelo y las raíces de las plantas, lo cual facilito la absorción de formas solubles orgánicas de los nutrientes necesarios para cubrir la demanda de la planta en cuanto a la acumulación y traslocación de asimilados hacia las hojas, y así, llevar a cabo funciones en la fotosíntesis y respiración (Walter *et al.* 2009; Silk, 1994; De Freitas *et al.* 1997; Del Pozo *et al.* 2001; Glick, 1995; Havlin *et al.* 1999; Lagos, 2007).

7.4.7. Peso seco tallo (PST)

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis de varianza obtenidos, se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo; en tanto los bioinoculantes no presentaron diferencias estadísticas en la respuesta del PST (Tabla 7). La acumulación de materia seca en el tallo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 1.07 g (Figura 36).

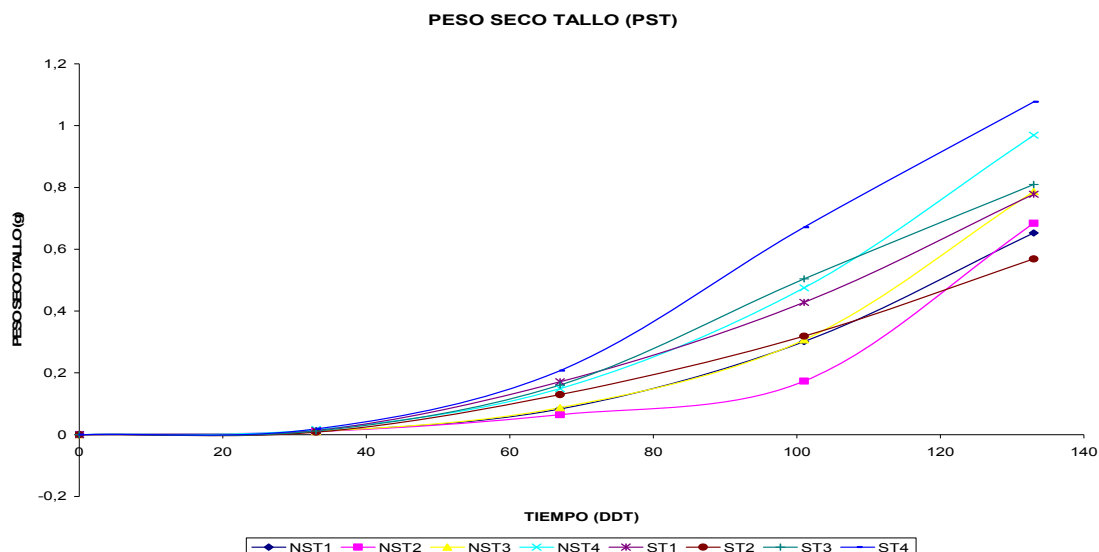


Figura 36. Comportamiento del peso seco tallo (PST) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable peso seco tallo (Figura 36) en el suelo solarizado ST4 (1.07 g), se puede atribuir a la disponibilidad de nutrientes fuera mayor que en los demás tipos de suelo debido a un sinergismo entre las bacterias nativas del suelo y las raíces de las plantas en la rizosfera, en donde probablemente formas inorgánicas de elementos minerales fueron convertidos a formas orgánicas solubles por microorganismos, para ser aprovechados por las plantas y esto permitió cubrir las demandas nutricionales de las plantas y que estas pudieran tomar estos nutrientes a través de las raíces, para posteriormente traslocarlos a los diferentes órganos de la planta como el tallo para la acumulación de materia seca y el crecimiento (Barker & Pilbeam, 2007; Marschner, 1995; Azcon – Bieto, 2000; Chen *et al.* 2005; Dey *et al.* 2004; Landis, 1989; Larcher, 2003; Parra, 1996).

7.4.8. Peso seco raíz (PSR)

Los resultados hallados en los análisis de varianza mostraron que se diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras que los bioinoculantes indicaron diferencias estadísticas en la respuesta de PSR (Tabla 7). La acumulación y

partición de asimilados en las raíces a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a los 133 DDT se presento el valor mas alto del estudio que fue ST4 con 0.99 g (Figura 37).

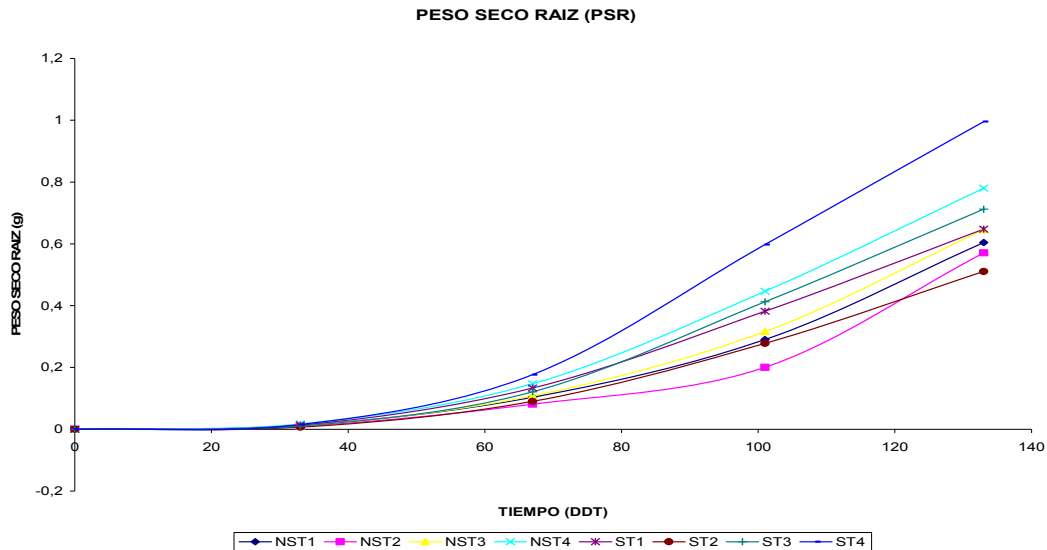


Figura 37. Comportamiento del peso seco raíz (PSR) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que los bioinoculantes influyeron sobre la respuesta de esta variable, lo cual podría significar que fue afectada la tasa de asimilación de nutrientes, y por lo tanto, la acumulación y partición de asimilados hacia la raíz para la formación de materia seca y el crecimiento de este órgano (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2006; Salisbury & Ross, 2000; Lambers *et al.* 1998; Gruenzweig *et al.* 1993; Kuo *et al.* 2000; Azcon – Bieto, 2000; Barker & Pilbeam, 2007).

La prueba de Scheffe definió dos grupos: el grupo A para el suelo T4 en el cual las plantas presentaron el mayor peso seco hojas (PSH) con 0.54 g; y el grupo B en el cual T3 presento 0.44 g; T2 con 0.32 g; T0 con 0.32 g; y T1 con 0.28 g (Tabla 8).

El valor más alto de la variable peso seco raíz (Figura 37) en el suelo solarizado ST4 (0.99 g), se podría atribuir a que en este suelo la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera y el sinergismo con las bacterias nativas del suelo fue mayor que en los demás tratamientos, y esto permitió cubrir la demanda de

nutrientes de las plantas para la posterior síntesis, acumulación y partición de fotoasimilados para llevar a cabo funciones de crecimiento estructural y energético, y en general, la formación de materia seca en el crecimiento de las raíces (Walter *et al.* 2009; Lambers *et al.* 1998; Azcon – Bieto, 2000; Parra, 1996; Patten & Glick, 2002; Silk, 1994; Taiz & Zeiger, 2006).

7.4.9. Área foliar (AF)

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de varianza, se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no se presentaron diferencias estadísticas en la respuesta del AF (Tabla 7). El área foliar a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 274.16 m² (Figura 38).

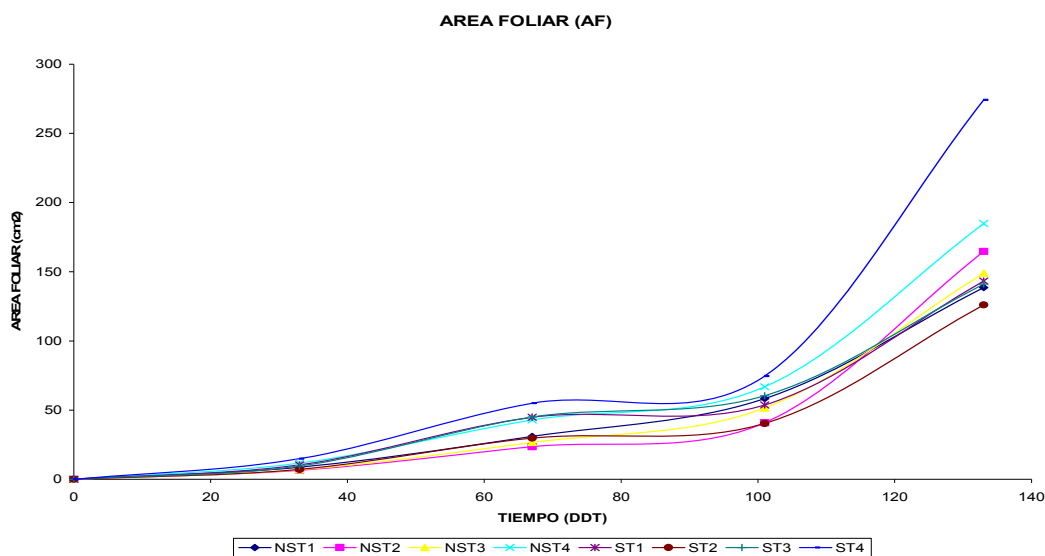


Figura 38. Comportamiento del área foliar (AF) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable área foliar (Figura 38) en el suelo solarizado ST4 (274.16 m²), se pudo deber probablemente a una mayor cantidad de elementos minerales disponibles en formas asimilables para las raíces de las plantas que en los de mas tratamientos. Adicionalmente, se puede atribuir a una eficiente utilización de la energía solar mediante una alta actividad fotosintética laminar, velocidad de crecimiento y tamaño final de las hojas. Esta situación contribuye a

una alta tasa de síntesis, acumulación, partición y traslocación de fotoasimilados hacia las hojas para llevar a cabo funciones en reacciones de oxido – reducción, respiración y fotosíntesis (Salisbury & Ross, 2000; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003; Dey *et al.* 2004; Gruenzweig *et al.* 1999; Glick, 1995; Landis, 1989; Lagos, 2007; Mantovani *et al.* 2003).

7.4.10. Relación peso foliar (RPF)

Según los resultados de los análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no presentaron diferencias estadísticas en la respuesta de la RPF (Tabla 7). La relación peso foliar a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; y disminuyo desde los 66 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 66 DDT en el suelo ST3 con $0.55 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (Figura 39).

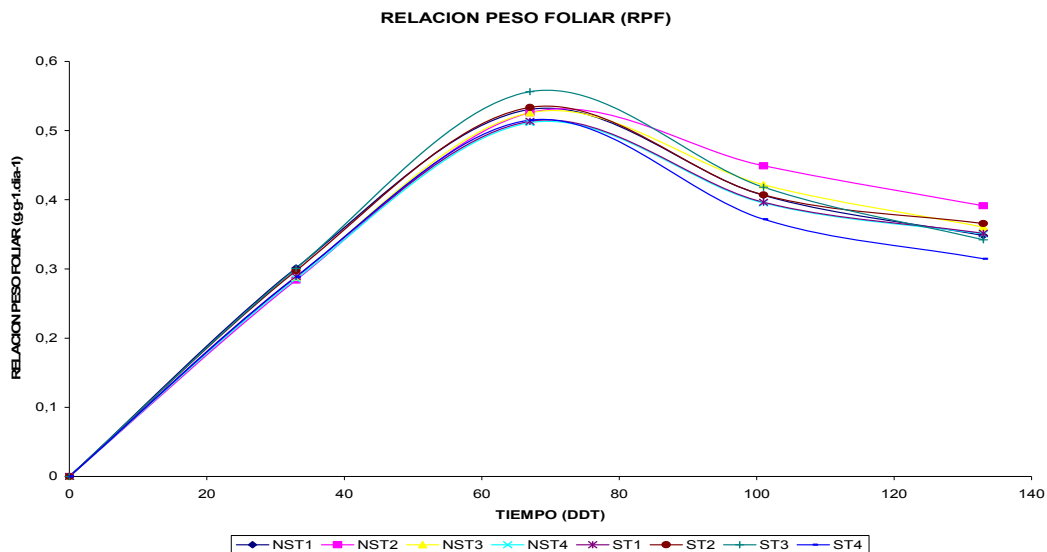


Figura 39. Comportamiento de la relación peso foliar (RPF) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto del índice relación peso foliar (Figura 39) en el suelo solarizado ST3 ($0.55 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) se puede atribuir a que las plantas destinaron la mayoría de sus fotoasimilados para la formación de materia seca en las hojas mediante la acumulación, partición y traslocación hacia los puntos de demanda que hasta los 66 DDT fue alta hacia las hojas, y luego se presento una disminución de este

índice en el suelo dado que se incremento la demanda hacia la formación de los demás órganos de la planta dada la actividad fotosintética y la tasa de asimilación de nutrientes. Adicionalmente, el suelo ST3 posee bacterias sideroforas las cuales probablemente proporcionaron formas asimilables de hierro que fueron aprovechadas por las plantas para la constitución de citocromos y proteínas involucradas en la respiración y la fotosíntesis (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2006; Havlin *et al.* 1999; Faye *et al.* 2006; Chen *et al.* 2005; Barker & Pilbeam, 2007; Cakmakci *et al.* 2006; Kuo *et al.* 2000; Van Iersel *et al.* 1999; Zimmer & Bothe, 1989).

7.4.11. Relación masa radical (RMR)

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no mostraron diferencias estadísticas en la respuesta de la RMR (Tabla 7). La relación masa radical a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 0.32 g.g^{-1} (Figura 40).

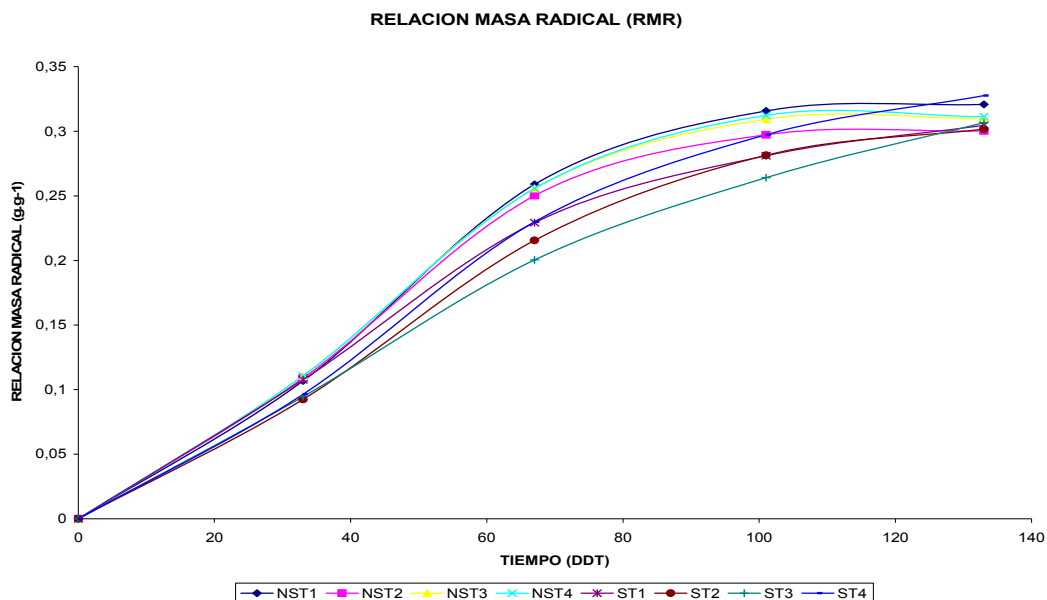


Figura 40. Comportamiento de la relación masa radical (RMR) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto del índice relación masa radical (Figura 40) en el suelo solarizado ST4 (0.32 g.g^{-1}) se puede atribuir a que las raíces de las plantas dispusieron de los nutrientes necesarios en la rizosfera, y probablemente presentaron sinergismo con las bacterias nativas del suelo para la toma de formas asimilables de elementos minerales. Adicionalmente, la actividad fotosintética pudo haber influido en este comportamiento, y por lo tanto, la acumulación y partición de fotoasimilados para la formación de materia seca en un órgano demanda como las raíces, y así llevar a cabo funciones en la división y elongación celular, y el metabolismo energético (Marschner, 1995; Salisbury & Ross, 2000; Ristaino *et al.* 1991; Silk, 1994; Walter *et al.* 2009; Lambers *et al.* 1998).

7.5. Efecto de bioinoculantes sobre variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe respecto al control positivo en *Maclura tinctoria*

Según los resultados obtenidos en los análisis de varianza para las variables de nutrición sustrato - foliar respecto al control positivo, se hallaron diferencias significativas por efecto de la fuente de variación muestreo para todas las variables, excepto FeS. Los bioinoculantes mostraron diferencias estadísticas para las variables PS y FeF (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de varianza del efecto de bioinoculantes sobre las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe respecto al control positivo.

F.V	GL	NS		NF		EN		PS	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	8,46E-03	**	5,52	**	5,32E-03	**	9275,2	**
Bioinocula.	4	1,00E-05	ns	5,37E-01	ns	1,04E-03	ns	5,15	**
Muestr. X Bioin.	12	9,23E-03	ns	5,01	ns	3,22E-02	ns	9123,9	ns
R ²		0,52		0,47		0,37		0,79	
Promedio		2,96E-01		3,21		3,20E-02		1,08	
CV (%)		4,09		12,17		33,51		21,65	
F.V	GL	PF		EP		FeS		FeF	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	0,01	*	5,23E-05	**	7,03	ns	2,66	**
Bioinocula.	4	1,63E-02	ns	9,01E-06	ns	1,27	ns	9,26	*
Muestr. X Bioin.	12	0,02	ns	4,85E-05	ns	6,94	ns	3,25	ns
R ²		0,31		0,58		0,23		0,74	
Promedio		2,97E-01		3,28E-03		1,21		3,99	
CV (%)		18,98		27,26		13,87		9,04	
F.V	GL	EFe							
		CM	Signific.						
Muestreo	3	8,68E-07	**						
Bioinocula.	4	7,50E-08	ns						
Muestr. X Bioin.	12	7,86E-07	ns						
R ²		0,63							
Promedio		4,54E-04							
CV (%)		17,15							

ns: No significativo; **: Diferencias altamente significativas (1%); *: Diferencias significativas (5%)
De acuerdo a los resultados que se obtuvieron de los análisis de varianza para las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe respecto al control positivo (Tabla 9), se realizó la prueba de Scheffe para las variables PS y FeF (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados de la prueba de Scheffe según el efecto de bioinoculantes sobre las variables de nutrición sustrato – foliar y extracción de N, P y Fe respecto al control positivo.

PS		FeF	
Trat.	Promedio	Trat.	Promedio
T4	164,51 A	T3	123,75 A
T2	53,25 B	T0	119,12 A
T0	51,11 B	T4	118,13 A
T1	50,79 B	T1	111,88 A
T3	50,25 B	T2	109,38 A

7.5.1. Nitrógeno total suelo (NS)

En cuanto a los resultados obtenidos de los análisis de varianza, mostraron diferencias significativas por efecto del muestreo, en tanto los bioinoculantes no determinaron diferencias estadísticas en la respuesta de NS (Tabla 9). El contenido de nitrógeno total suelo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 101 DDT en el suelo ST2 con 0.34% (Figura 41).

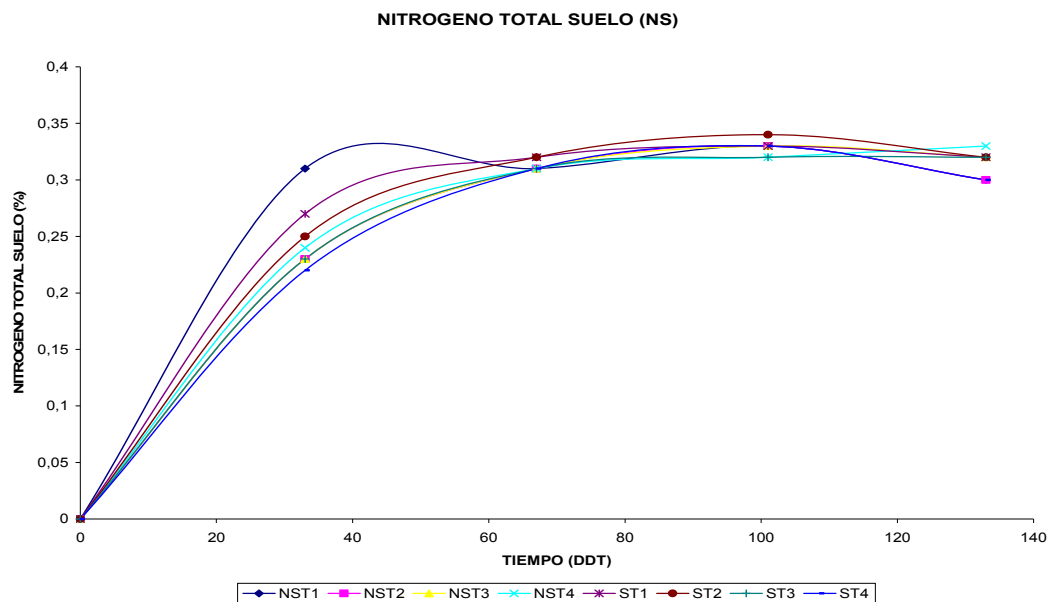


Figura 41. Comportamiento del nitrógeno total suelo (NS) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable nitrógeno total suelo (Figura 41) en el suelo solarizado ST2 (0.34%), puede ser debido a que las bacterias fijadoras de nitrógeno aumentaron probablemente los niveles de nitrato asimilable para las plantas en la rizosfera, y además aumentaron la tasa de descomposición de materia orgánica, lo cual pudo generar un alto nivel de nitrógeno mineral, y así colaborar en cubrir la demanda de este elemento mineral para las plantas en este tratamiento (Havlin *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003; Kuo *et al.* 2000; Faye *et al.* 2006; Del Pozo *et al.* 2001).

7.5.1. Nitrógeno foliar (NF)

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza observados, indicaron diferencias significativas por efecto del muestreo; mientras los bioinoculantes no se hallaron diferencias estadísticas en la respuesta de NF (Tabla 9). El contenido de nitrógeno foliar a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 101 DDT; y aumento desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presentó a los 32 DDT en el suelo ST4 con 5.28% (Figura 42).

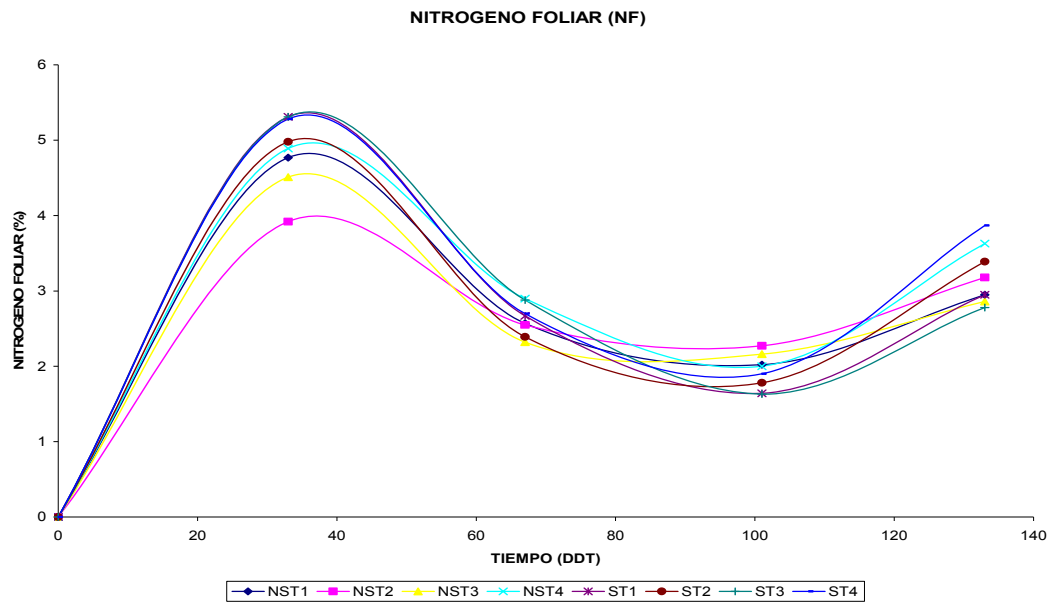


Figura 42. Comportamiento del nitrógeno foliar (NF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable nitrógeno foliar (Figura 42) en el suelo solarizado ST4 (5.28 %), se puede atribuir a que las formas asimilables de los elementos minerales necesarios para cubrir la demanda nutricional de las plantas, hayan sido eficientemente trasladados a las hojas por efecto de la demanda de la planta para la acumulación y partición de asimilados hacia las hojas, y así, llevar a cabo funciones como síntesis de proteínas, cloroplastos y otras sustancias indispensables para realizar procesos de fotosíntesis y respiración (Taiz & Zeiger, 2006; Azcon – Bieto, 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Cakmakci *et al.* 2006; Lambers *et al.* 1998; Silk, 1994).

7.5.2. Extracción de nitrógeno (EN)

Según los análisis de varianza hallados, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no mostraron diferencias estadísticas en la respuesta de EN (Tabla 9). La extracción de nitrógeno a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 0.11 g/planta (Figura 43).

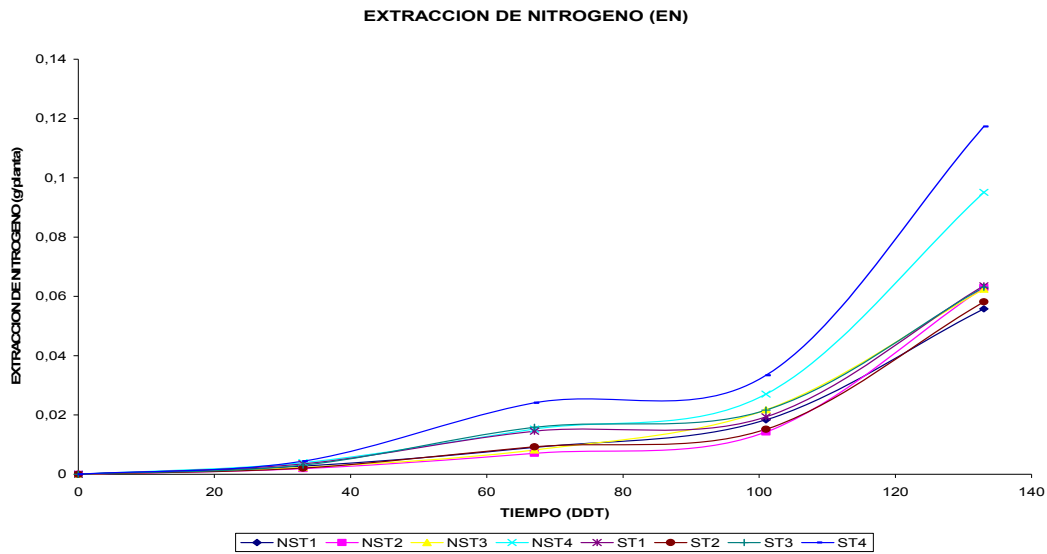


Figura 43. Comportamiento de la extracción de nitrógeno (EN) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*.

El valor más alto de la variable extracción de nitrógeno (Figura 43) en el suelo solarizado ST4 (0.11 g/planta), se puede atribuir a que en este suelo se presento una mayor disponibilidad de formas asimilables, como nitratos, para las raíces de las plantas mediante procesos de mineralización, y también, por sinergismos entre las bacterias nativas y las raíces de las plantas en la rizosfera. Probablemente, la toma de formas asimilables y solubles de nitrógeno en este suelo, permitió una mayor tasa de acumulación, partición y traslocación de fotoasimilados hacia los diferentes órganos de la planta para la producción de materia seca comparado con los demás tratamientos (Salisbury & Ross, 2000; Taiz & Zeiger, 2006; Gruenzweig *et al.* 1993; Hernandez & Escalona, 2003; Kuo *et al.* 2000; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003).

7.5.3. Fósforo disponible suelo (PS)

Basándose en los resultados de los análisis de varianza encontrados, mostraron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes presentaron diferencias estadísticas en la respuesta de PS (Tabla 9). El contenido de fósforo disponible suelo a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 101 DDT; y aumento desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. Se presentó el valor más alto del estudio que fue NST4 con 269 ppm (Figura 44).

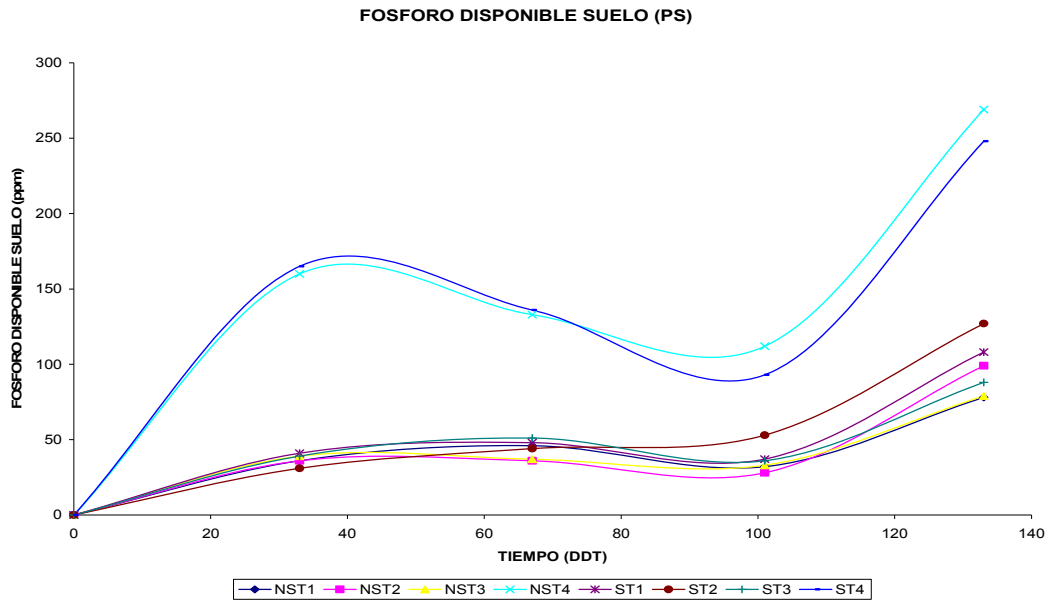


Figura 44. Comportamiento del fósforo disponible suelo (PS) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

Los bioinoculantes influyeron sobre la respuesta de esta variable, lo cual podría significar que fue afectada la disponibilidad de fósforo en el suelo del tratamiento NST4, y por lo tanto, la acumulación de formas inorgánicas de este elemento mineral que potencialmente pueden ser aprovechados por los microorganismos nativos del suelo y las plantas para su crecimiento (Havlin *et al.* 1999; Hoflich *et al.* 2000; Larcher, 2003; Glick, 1995; Faye *et al.* 2006; Efron *et al.* 2006; Dey *et al.* 2004; Walter *et al.* 2009)

De acuerdo a los resultados de la prueba de Scheffe, se definieron dos grupos: el grupo A para el suelo T4 en el cual el suelo presentó el mayor fósforo

disponible suelo con 164.51 ppm; y el grupo B en el cual T2 presento 53.25 ppm; T0 con 51.11 ppm; T1 con 50.79 ppm; y T3 con 50.25 ppm (Tabla 10).

El valor más alto de la variable fósforo disponible suelo (Figura 44) en el suelo no solarizado NST4 (269 ppm), se pudo atribuir a que probablemente este suelo poseía mayor cantidad de formas de fósforo, y materiales que participan en procesos de fijación de este elemento mineral en comparación con los demás tratamientos. Adicionalmente, los microorganismos nativos estimularon a las plantas para realizar una eficiente liberación de los ácidos orgánicos de las raíces, y así fueron aprovechadas las fuentes inorgánicas de fósforo que se encontraban en el suelo (Dey *et al.* 2004; De Freitas *et al.* 1997; Lambers *et al.* 1998; Larcher, 2003; Glick, 1995; Kuo *et al.* 2000; Lagos, 2007; Salisbury & Ross, 2000).

7.5.4. Fósforo foliar (PF)

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza indicaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no determinaron diferencias estadísticas en la respuesta de PF (Tabla 9). El fósforo foliar a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; y aumento desde los 66 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 32 DDT en el suelo ST4 con 0.54 % (Figura 45).

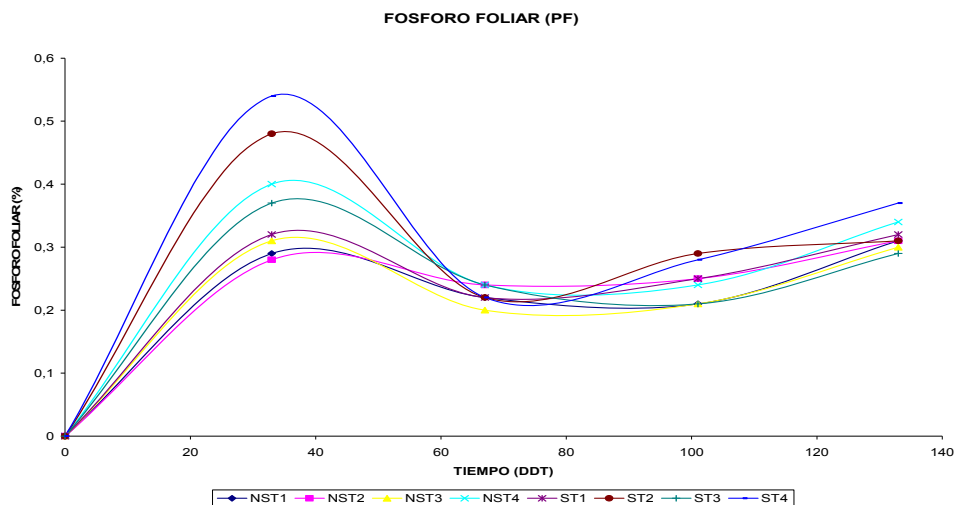


Figura 45. Comportamiento del fósforo foliar (PF) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable fósforo foliar (Figura 45) en el suelo solarizado ST4 (0.54%), pudo deberse a una mayor disponibilidad de formas orgánicas de fósforo para el aprovechamiento por parte de las raíces de las plantas, mediante procesos de mineralización, o de transformación de fuentes insolubles de fósforo a solubles. Probablemente, fue mayor la tasa de traslocación de formas orgánicas de fósforo en el suelo ST4 en comparación a los demás tratamientos, lo cual permitió la acumulación y partición de fotoasimilados para la formación de materia seca en órganos como las hojas (Havlin et al. 1999; Larcher, 2003; Taiz & Zeiger, 2006; Van Iersel et al. 1999; Walter et al. 2009; Faye et al. 2006; Glick, 1995; Del Pozo et al. 2001).

7.5.5. Extracción de fósforo (EP)

Según los resultados de los análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas por efecto del muestreo; en el caso de los bioinoculantes no se hallaron diferencias estadísticas en la respuesta de EP (Tabla 9). La extracción de fósforo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 0.011 g/planta (Figura 46).

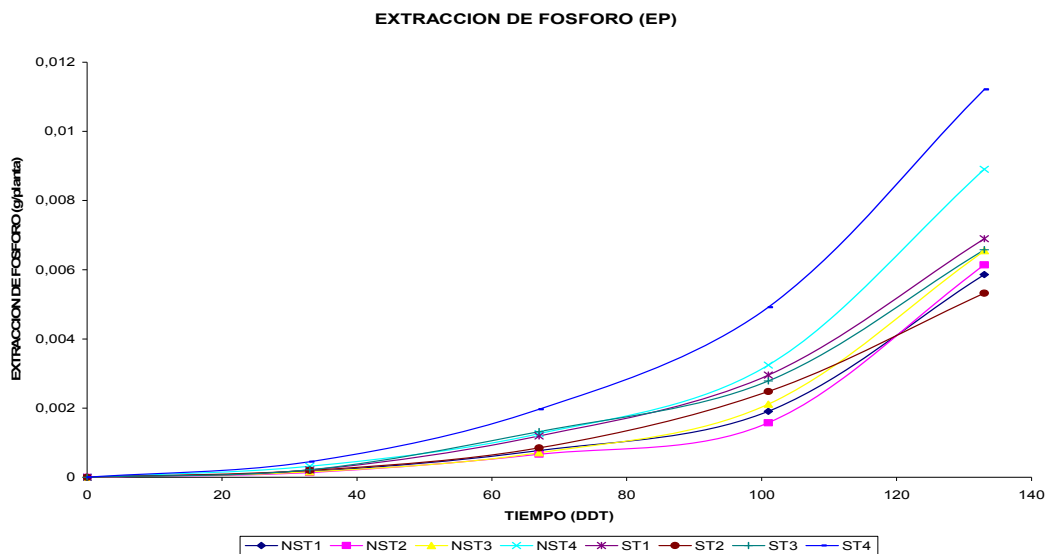


Figura 46. Comportamiento de la extracción de fósforo (EP) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable extracción de fósforo (Figura 46) en el suelo solarizado ST4 (0.011 g/planta), probablemente se atribuyó a que en este suelo se pudo presentar una mayor cantidad y disponibilidad de formas asimilables de fósforo para las raíces de las plantas, y mediante sinergismos entre las bacterias nativas del suelo y las raíces, aumentar la tasa de traslocación de fotoasimilados hacia los órganos demanda para la formación de materia seca y cumplir con funciones en reacciones bioquímicas que involucran el uso de energía (Larcher, 2003; Lambers *et al.* 1998; Faye *et al.* 2006; Walter *et al.* 2009; Silk, 1994; Marschner, 1995; Salisbury & Ross, 2000).

7.5.6. Hierro disponible suelo (FeS)

De acuerdo a los resultados de los análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo, y tampoco los bioinoculantes determinaron diferencias estadísticas en la respuesta de FeS (Tabla 9). El contenido de hierro disponible suelo a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; disminuyo desde los 66 DDT hasta los 133 DDT, a excepción de ST2 y NST2 que aumentaron su contenido. El valor más alto del estudio se presento a los 66 DDT en el suelo NST3 con 170 ppm (Figura 47).

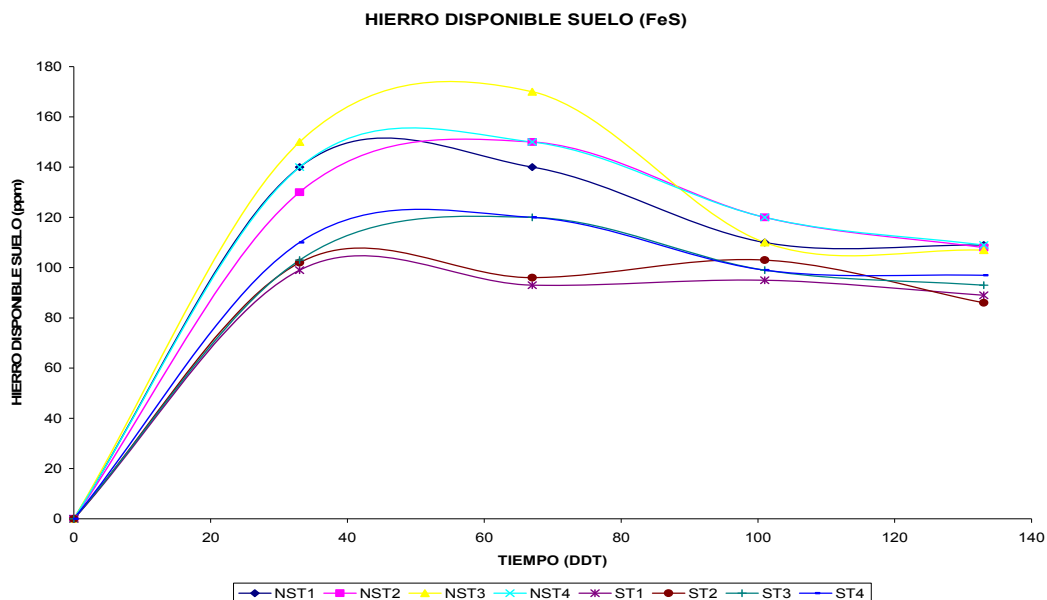


Figura 47. Comportamiento del hierro disponible suelo (FeS) en los tratamientos control en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable hierro disponible suelo (Figura 47), en el suelo no solarizado NST3 (170 ppm), se podría atribuir a que las bacterias productoras de sideroforos, aumentaron la disponibilidad de formas de hierro en el suelo. Adicionalmente, los exudados de las plantas pudieron actuar como queladores de metales en la rizosfera, y así, aumentaron la disponibilidad de micronutrientes metálicos como el hierro. Una vez el hierro es liberado de un complejo metálico en el suelo, se incrementa su solubilidad y movilidad hacia las raíces de las plantas (Havlin *et al.* 1999; Larcher, 2003; Lambers *et al.* 1998; Azcon – Bieto, 2000; Del Pozo *et al.* 2000; Barker & Pilbeam, 2007; Dey *et al.* 2004).

7.5.7. Hierro foliar (FeF)

Según los resultados obtenidos de los análisis de varianza, indicaron diferencias significativas por efecto del muestreo; en el caso de los bioinoculantes se encontraron diferencias estadísticas en la respuesta de FeF (Tabla 9). El contenido de hierro foliar a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; aumento desde los 66 DDT hasta los 101 DDT; y disminuyó desde los 101 DDT hasta los 133 DDT. Se presentó el valor más alto del estudio que fue NST3 con 676 ppm (Figura 48).

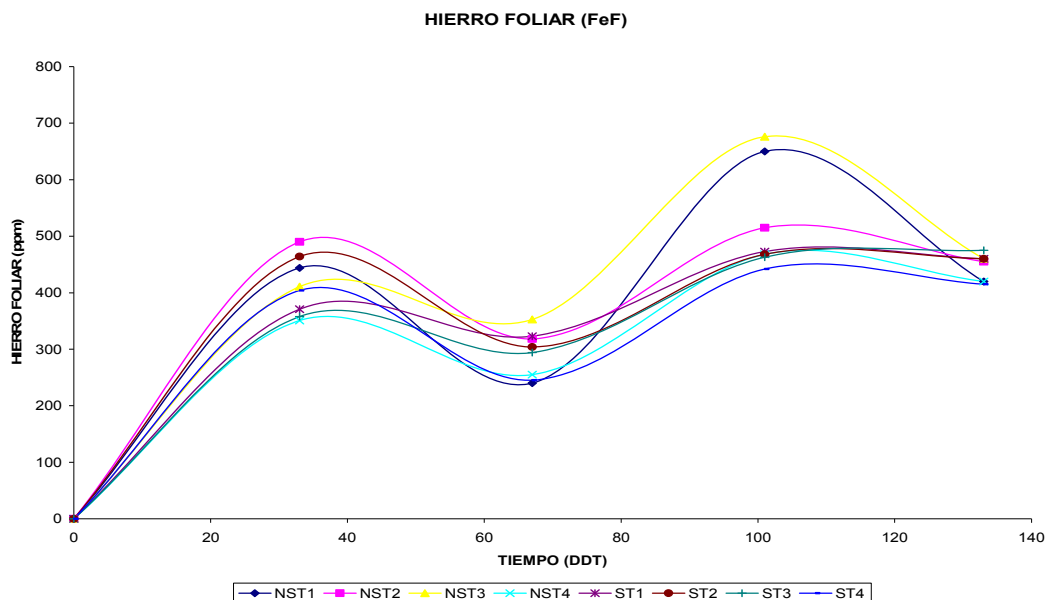


Figura 48. Comportamiento del hierro foliar (FeF) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

Este resultado indica que los bioinoculantes influyeron sobre la respuesta de esta variable, lo cual podría significar que fue afectada la disponibilidad y cantidad de hierro en el suelo del tratamiento NST3, y por lo tanto, la acumulación de formas inorgánicas de este elemento mineral que potencialmente pudieron ser aprovechados por los microorganismos nativos del suelo y las plantas para su crecimiento (Hoflich *et al.* 2000; Taiz & Zeiger, 2006; Larcher, 2003; Glick, 1995; Faye *et al.* 2006; Dey *et al.* 2004; Walter *et al.* 2009). Teniendo en cuenta los resultados de la prueba de Scheffe se definió un grupo: el grupo A para el suelo T3 en el cual el suelo presento el mayor hierro foliar con 123.75 ppm; T0 presento 119.12 ppm; T4 con 118.13 ppm; T1 con 111.88 ppm; y T2 con 109.38 ppm (Tabla 10).

El valor más alto de la variable hierro foliar (Figura 48) en el suelo no solarizado NST3 (676 ppm), se podría atribuir a que probablemente las bacterias productoras de sideroforos aumentaron la disponibilidad de formas asimilables de hierro que fueron aprovechadas por las raíces de las plantas para cubrir la demanda de este elemento mineral. Una vez las raíces absorben el hierro, este es oxidado a la forma férrica y es traslocado a las hojas en un complejo electrostático con citrato para cumplir funciones en la fotosíntesis y la respiración (Lambers *et al.* 1998; Taiz & Zeiger, 2006; Larcher, 2003; Dey *et al.* 2004; Attia, 1999; Cakmakci *et al.* 2006; Gruenzweig *et al.* 1999; Marschner, 1995).

7.5.8. Extracción de hierro (EFe)

Teniendo en cuenta los resultados observados en los análisis de varianza, se hallaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no mostraron diferencias estadísticas en la respuesta de EFe (Tabla 9). La extracción de hierro a través de los muestreos aumento desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presento a los 133 DDT en el suelo ST4 con 0.012 g/planta (Figura 49).

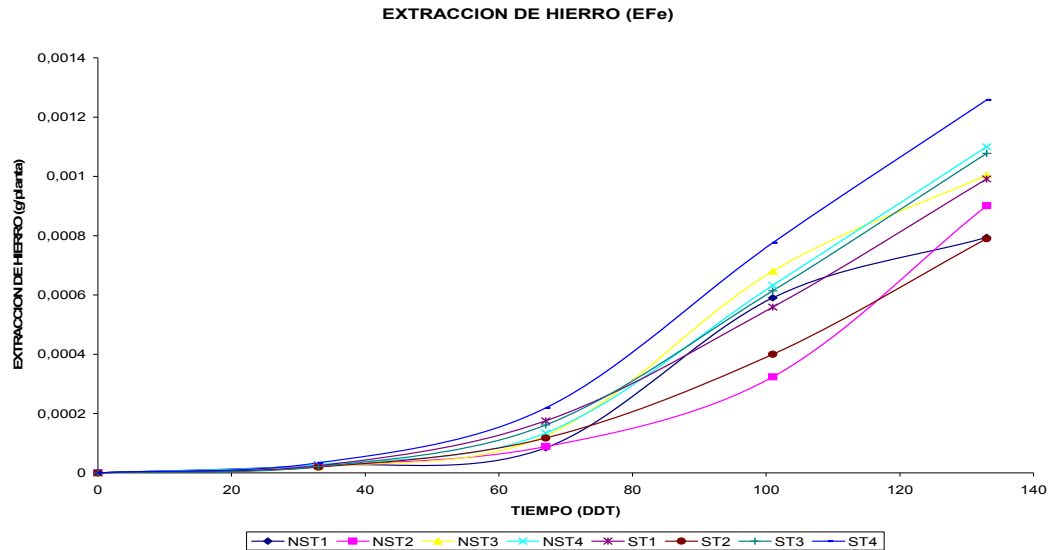


Figura 49. Comportamiento de la extracción de hierro (EFe) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable extracción de hierro (Figura 49), en el suelo solarizado ST4 (0.012 g/planta), se pudo atribuir a que el suelo presento probablemente una mayor cantidad y disponibilidad de formas asimilables de hierro para las raíces de las plantas, mediante sinergismos entre las bacterias nativas del suelo y las raíces. También, la acidificación del suelo y la liberación de formas de hierro que están formando complejos con otros compuestos, permiten incrementar la solubilidad y movilidad hacia las raíces en comparación con los demás tratamientos (Lambers *et al.* 1998; Salisbury & Ross, 2000; Marschner, 1995; Landis, 1989; Dey *et al.* 2004; Attia, 1999; Cakmakci *et al.* 2006; Taiz & Zeiger, 2006).

7.6. Efecto de bioinoculantes sobre variables relacionadas con características químicas del suelo como pH y capacidad de intercambio catiónico respecto al control positivo

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de varianza para las variables relacionadas con características químicas del suelo respecto al control positivo, se presentaron diferencias significativas por efecto de la fuente de variación muestreo para todas las variables, excepto FeS. Los bioinoculantes determinaron diferencias estadísticas para las variables PS y FeF (Tabla 9).

Tabla 10. Análisis de varianza del efecto de bioinoculantes sobre variables relacionadas con características químicas del suelo como pH y capacidad de intercambio catiónico respecto al control positivo.

F.V	GL	pH		CIC		%C Organico	
		CM	Signific.	CM	Signific.	CM	Signific.
Muestreo	3	1,61E-01	**	5,64E-01	ns	1,25E-01	ns
Bioinocula.	4	2,30E-01	ns	1,56	ns	2,64E-02	ns
Muestr. X Bioin.	12	1,32E-01	ns	5,22E-01	ns	1,22E-01	ns
R ²		0,37		0,35		0,41	
Promedio		5,4		7,06		2,34	
CV (%)		2,37		11,91		7,88	

7.6.1. pH

El análisis de varianza indica que se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo; en el caso de los bioinoculantes no se hallaron diferencias estadísticas en la respuesta del pH (Tabla 10). El pH a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 66 DDT; y aumento ligeramente desde los 66 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presentó a los 32 DDT en el suelo NST1 con un pH de 5.72 (Figura 50).

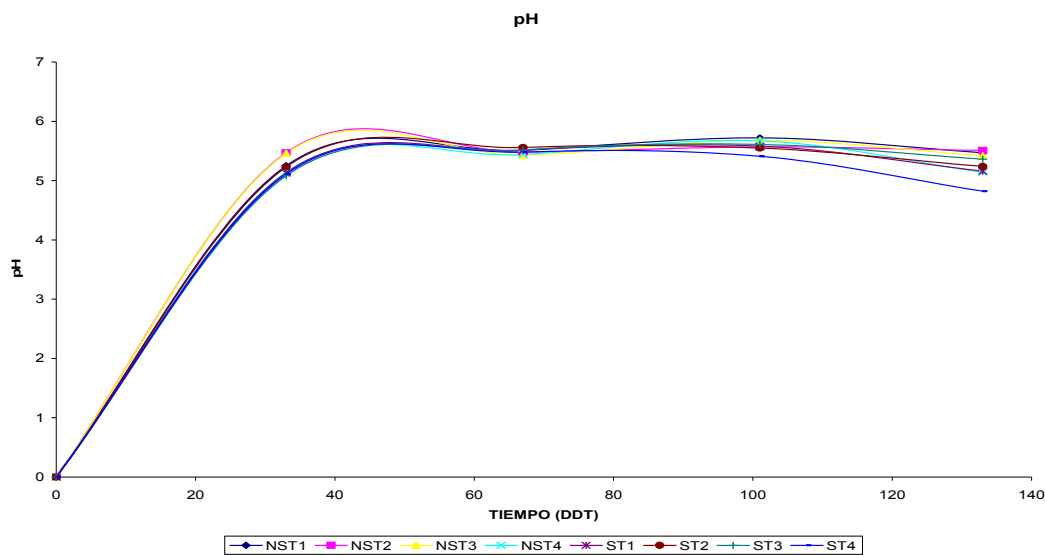


Figura 50. Comportamiento del pH en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable pH (Figura 50) en el suelo no solarizado NST1 (5.72), se pudo deber a la liberación de ácidos orgánicos de las raíces de las

plantas en cantidades suficientes para disminuir el pH del medio, y esto también pudo aumentar los niveles de nutrientes en general, los cuales posteriormente pudieron ser aprovechados en su forma inorgánica por los microorganismos del suelo para ser convertidos a su forma orgánica y ser aprovechados por las raíces de las plantas (Havlin *et al.* 1999; Larcher, 2003; Taiz & Zeiger, 2006; Del Pozo *et al.* 2001; Chen *et al.* 2005; Faye *et al.* 2006).

7.6.2. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas por efecto del muestreo; en los bioinoculantes tampoco se encontraron diferencias estadísticas en la respuesta de la CIC (Tabla 10). El CIC a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 133 DDT; a excepción de los tratamientos ST3 y NST4. El valor más alto del estudio se presentó a los 66 DDT en el suelo NST4 con un CIC de 10.1 me/100 (Figura 51).

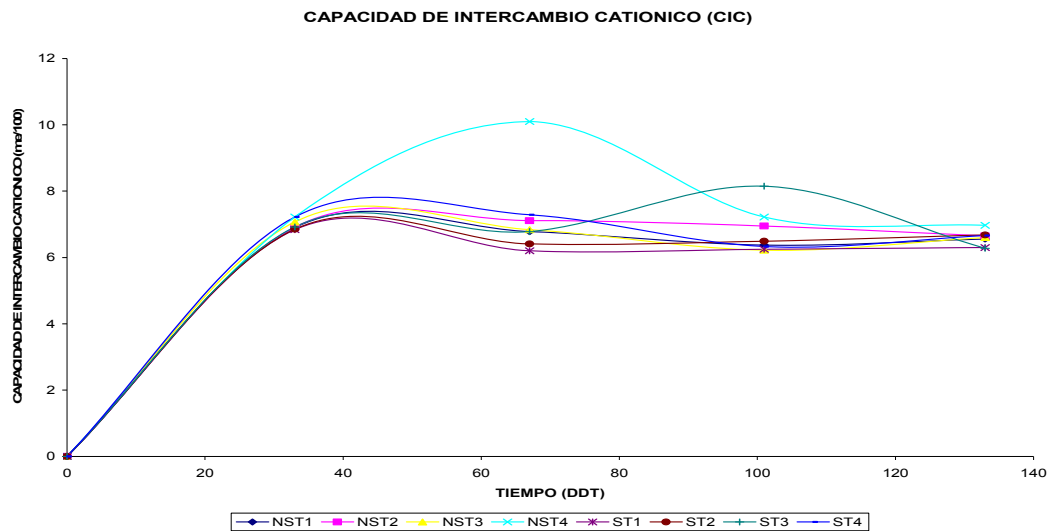


Figura 51. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable CIC (Figura 51), en el suelo no solarizado NST4 (10.1 me/100), se podría atribuir a que en el suelo la acidificación generada por las raíces de las plantas, y posterior disminución de pH, pudo incrementar las bases catiónicas intercambiables y evitar su pérdida por procesos de lixiviación (Havlin *et al.* 1999; Larcher, 2003; Faye *et al.* 2006; De Freitas *et al.* 1997; Del Pozo *et al.* 2001; Taiz & Zeiger, 2006; Landis, 1985; Marschner, 1995).

7.6.3. Porcentaje de carbono orgánico (%)

En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas por efecto del muestreo, mientras los bioinoculantes no determinaron tampoco diferencias estadísticas en la respuesta del porcentaje de carbono orgánico (Tabla 10). El % C Orgánico a través de los muestreos disminuyó desde los 32 DDT hasta los 133 DDT. El valor más alto del estudio se presentó a los 32 DDT en el suelo ST1 con un porcentaje de 3.02 (Figura 52).

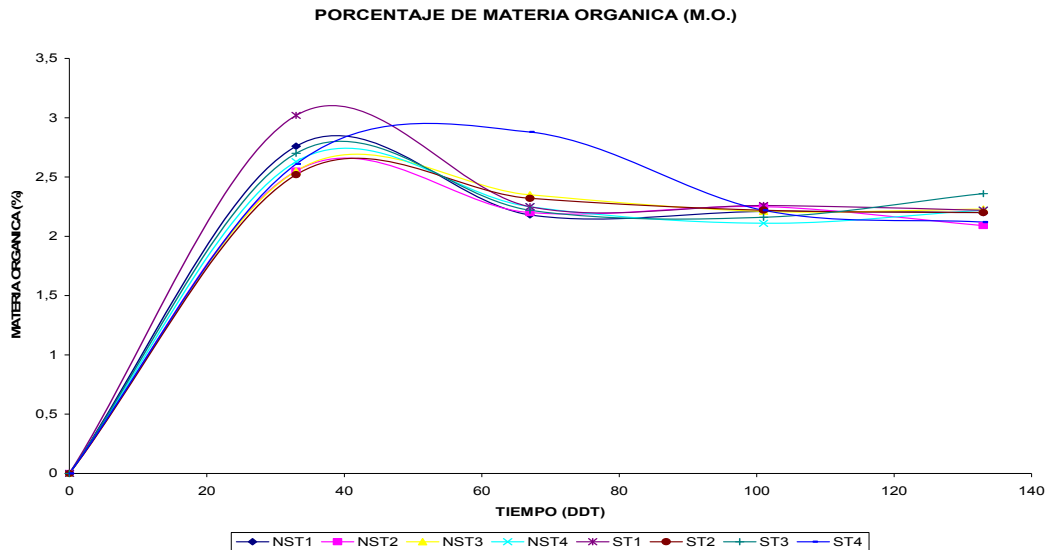


Figura 52. Comportamiento del porcentaje de carbono orgánico en los bioinoculantes y en el control positivo en *Maclura tinctoria*

El valor más alto de la variable % C Orgánico (Figura 52), en el suelo solarizado ST1 (3.02%), pudo deberse a que la tasa de descomposición de materia orgánica fue más alta en este tratamiento en comparación a los demás. Esta tasa de descomposición también probablemente favoreció la disponibilidad de formas orgánicas de elementos minerales que no son de fácil acceso para las raíces de las plantas, y así pudieron ser aprovechadas (Havlin *et al.* 1999; Lambers *et al.* 1998; Dey *et al.* 2004; De Freitas *et al.* 1997; Faye *et al.* 2006; Glick, 1995; Gruenweig *et al.* 1993).

7.7. Efecto de la interacción suelo – bacteria sobre variables de crecimiento y la asimilación de N, P, Fe en *Maclura tinctoria*

Teniendo en cuenta los resultados descritos en las secciones anteriores (Tabla 1 y Tabla 2); con relación al efecto de los suelos, bioinoculantes y su interacción, se encontraron diferencias significativas en las variables de crecimiento y asimilación de N, P y Fe de *Maclura tinctoria* durante la etapa vegetativa inicial en condiciones de vivero.

7.7.1. Efecto de la interacción suelo*bioinoculante

PSH

Los resultados indican un efecto de la interacción suelo*bioinoculante sobre únicamente 1 variable de crecimiento y desarrollo.

7.8. Correlación entre variables de extracción de nutrientes y biomasa vegetal en *Maclura tinctoria*

Para el estudio de las relaciones entre las variables de extracción de nutrientes y biomasa vegetal evaluadas, se realizó un análisis de correlación múltiple de Pearson para las variables de extracción de nitrógeno, extracción de fósforo, extracción de hierro, peso seco raíz, peso seco tallo y peso seco hojas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Correlaciones estadísticas entre las variables evaluadas

Correlación	Estadístico	Significancia
EN-PSR	0,9622	0,000
EN-PST	0,9829	0,000
EN-PSH	0,9991	0,000
EP-PSR	0,9783	0,000
EP-PST	0,9929	0,000
EP-PSH	0,9998	0,000
EFe-PSR	0,9975	0,000
EFe-PST	0,9977	0,000
EFe-PSH	0,9983	0,000

Significancia (p<0.01)

Las variables de extracción de nutrientes EN, EP y EFe están correlacionadas con el PSR, PST y PSH. La cantidad de nutrientes que extraen las plantas están

matemáticamente asociadas con el peso seco por órganos de la planta (Taiz & Zeiger, 2006; Hunt, 1990; Lambers *et al.* 1998; Kuo *et al.* 2000).

Las correlaciones estadísticas entre las variables de extracción y las variables de peso seco mostraron que las plantas de dinde poseen una alta capacidad metabólica en los procesos de movilización y síntesis de sustancias orgánicas para la formación de órganos y funcionamiento de las estructuras celulares. Estos procesos podrían atribuir una favorabilidad en la actividad fotosintética, y síntesis y acumulación de carbohidratos solubles, adicionalmente, una mayor utilización de las reservas de las plantas asociadas a una mayor actividad respiratoria relacionada con el crecimiento (Del Pozo *et al.* 2001; Taiz & Zeiger, 2006; Lambers *et al.* 1998; Salisbury & Ross, 2000; Gruenzweig *et al.* 1999; Silk, 1994; Walter *et al.* 2009).

8. Conclusiones

- El tipo de suelo afecto la respuesta de las variables de crecimiento y desarrollo peso seco hojas (PSH), peso seco tallo (PST) y el índice relación masa radical (RMR). La mejor respuesta de crecimiento se observo en el suelo solarizado ST4 (control positivo).
- El tipo de suelo afecto la respuesta de las variables de nutrición sustrato – foliar nitrógeno total suelo (NS), hierro suelo (FeS) y extracción de hierro (EFe). La mejor respuesta se observo en el suelo solarizado ST4 (control positivo).
- El tipo de suelo afecto únicamente la respuesta del pH dentro de las variables relacionadas con características químicas. La respuesta según el efecto del tipo de suelo fue variable.
- Los bioinoculantes respecto al control positivo afectaron la respuesta de las variables de crecimiento y desarrollo longitud aérea (LA), peso fresco hojas (PFH), peso fresco tallo (PFT), peso seco hojas (PSH) y peso seco raíz (PSR). La mejor respuesta de crecimiento se observo en el suelo solarizado ST4 (control positivo).
- Los bioinoculantes respecto al control positivo afectaron la respuesta de las variables de nutrición sustrato – foliar fósforo suelo (PS) y hierro foliar (FeF). La mejor respuesta se observo en el suelo solarizado ST4 (control positivo).
- La interacción suelo – bacteria afecto únicamente la respuesta de la variable de crecimiento y desarrollo peso seco hojas (PSH).

9. Recomendaciones

- Definir los niveles de macro y micronutrientes exigidos por la planta con el fin de establecer líneas de investigación para definir la dosificación de bioinoculantes o fertilizantes según sea el caso.
- Estudiar a profundidad cual etapa de desarrollo de *Maclura tinctoria* es la que presenta mayor extracción de nutrientes.
- Continuar en la realización de estudios de cuales bioinoculantes específicamente podrían cubrir la demanda de nutrientes necesaria para un óptimo crecimiento y desarrollo, no solo en la etapa vegetativa, sino en las etapas posteriores a la misma.
- Realizar estudios del tipo de suelo donde se pretende trasplantar individuos de *Maclura tinctoria*, ya que esto puede modificar la respuesta de crecimiento.

10. Referencias

- Alcaldía de Montenegro (2007). Alcaldía de Montenegro, Quindío [en línea]: Municipio de Montenegro, localización geográfica. <<http://www.alcaldiademontenegro.gov.co/html/sitio/>> [Consulta: 2 Mar. 2009].
- Attia, M. 1999. The efficiency improvements of mineral fertilizers used and maize yield by arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria. *Annals of Agricultural Science* (Cairo) 44 (1): 41-53
- Azcon-Bieto, J., & Talon, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Primera edición. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Edicions Universitat de Barcelona. 522p
- Barbosa, C. 2002. Estado de la información forestal en Colombia [en línea]: II. Estado actual de la información sobre árboles fuera del bosque. Depósito de documentos (FAO) <<http://www.fao.org/docrep/006/AD392S/AD392s04.htm>> 252 p. [Consulta: 2 Mar. 2008].
- Barker, A. & Pilbeam, D. 2007. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group. CRC Press. 662 pp.
- BBCH. 2001. Monografía. Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas [en línea]: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura <<http://www.bba.de/veroeff/bbch/bbchspa.pdf>> 149 pp. [Consulta 2 de Mar. 2009].
- Bray, R.H & Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Cakmakci, R.; Donmez, F.; Aydin, A. & Sahin, F. 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology and Chemistry* 38 (2006): 1482 – 1487.
- CATIE (1997: Puerto Rico). CATIE [en línea]: Maclura tinctoria (L.) D. Don. Ex Steud. [Puerto Rico]: CATIE. <www.fao-sict.un.hn/especies%20forestales/maclura%20tinctoria.pdf> [Consulta: 2 Mar. 2009].
- Cebolla, V. 2005. La solarización como método de desinfección del suelo. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Serie *Horticultura* No. 3. 2 p.

- Center Tropical Forest Science (2008). Center Tropical Forest Science [en línea]: Árboles del área del canal de Panamá.: Maclura tinctoria (L.) D. Don. ex Steud. <<http://ctfs.si.edu/webatlas/spanish/maclti.html>> [Consulta: 2 Mar. 2009].
- Cervantes, C. & Mojica, F. 1981. Manual de laboratorio de edafología. EUNA. San José, Costa Rica. 6 pp.
- Chen, H., Mendelssohn I.A., Lorenzen, B., Brix, H., & Miao S. 2005. Growth and nutrient responses of *Elocharis cellulosa* (Cyperaceae) to phosphate level and redox intensity. *American Journal of Botany* 92(9): 1457-1466.
- Cordero, J.; Boshier, D.; Barrance, A.; Beer, J.; Chamberlain, J. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. CATIE. Costa Rica. 1079 p.
- De Freitas, J.R., Banerjee, M.R., Germida, J.J., 1997. Phosphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but no phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). *Biology of Fertilized Soils* 24, 358–364.
- Del Pozo P.P., Herrera, R.S., Garcia, M., Cruz, A., & Romero, A. 2001. Analisis del crecimiento y desarrollo del pasto estrella con y sin adición de fertilizante nitrogenado. *Revista Cubana de Ciencia Agricola*, tomo 35, No. 1.
- Dey, R.; Pal, K.K.; Bhatt, D.M. & Chauhan, S.M. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 159(2004): 371 – 394.
- Döbereiner, J.1994. Isolation and Identification of aerobic N – fixing bacteria from soil and plants. IN: Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press Ltd. London. *In press*. p. 1-16.
- Díaz *et al.* 2007. Informe final 2007. Asociaciones suelo – planta – microorganismo presentado al CIEBREG. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Effron, D.N.; Jiménez, M.P.; Defrieri R.L. & Prause, J. 2006. Relación de la Actividad de Fosfatasa Ácida con Especies Forestales Dominantes y con Algunas Propiedades del Suelo de un Bosque Argentino. *Información tecnológica*, 2006, vol.17, no.1, p.3-7. ISSN 0718-0764.

- Elmore, C.L.; Stapleton, J.J.; Bell, C.E. & Devay, J.E. 1997. Soil Solarization: A Nonpesticidal Method for Controlling Diseases, Nematodes and Weeds. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California. USA. 17 pp.
- Faye, I., Diouf, O., Guisse, A., Sene, M. & Diallo, N. 2006. Characterizing root responses to low Phosphorus in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *Journal of Agronomy* 98:1187-1194.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica [en línea]: Fertilización en vivero. <http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf> 120 p. [Consulta: 2 Mar, 2009].
- Geoambiente LTDA (2007). Geoambiente LTDA. Productos y servicios ambientales [en línea]: Generalidades estación Bambusa. <<http://www.geoambienteltda.com/geoambiente.html>> [Consulta: 2 Mar. 2009].
- Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth promotion by free living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41, 533 – 536.
- Gruenzweig, J., Rabinowitch, D. & Katan, J. 1993. Physiological and developmental of increased plant growth in solarised soils. *Annual Applied Biology* 122: 579-591
- Gruenzweig, J., Katan, J., Ben-Tal, Y. & Rabinowitch, H. 1999. The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soils. *Plant and soil* 206: 21-27
- Havlin, J. L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall, Inc. 499p.
- Hernandez, L.G. & Escalona M.A. 2003. Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica Universidad de Veracruz.*, Vol. 16, no. 1, p. 23-26
- Hoflich-G; Tauschke-M; Kuhn-G & Rogasik-J. 2000. Influence of agricultural crops and fertilization on microbial activity and microorganisms in the rhizosphere. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184:(1): 49-54.

- Hunt, R. 1990. Basic Growth Analysis. Plant growth analysis for beginners. Published by the Academic Division of Unwin Hyman Ltd. London. 110p.
- IPNI (2008). The International Plant Name Index [en línea]: Moraceae, *Maclura tinctoria*. <<http://www.ipni.org/index.html>> [Consulta: 2 Mar. 2009]
- Jensen, H.L. 1954. *The Azotobacteriaceae bacteriological reviews*. Vol. 18. N4. p 195-214.
- Jiménez, A. 1996. Aislamiento y caracterización de diazotrofos microaerófilos presentes en suelo rizosférico y raíces de *Cedrela montana* Turczaninow en dos ambientes diferentes. Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá, Colombia. 140 pp.
- Jiménez, K.E.. 2007. Estudio de fisiología de semillas y propagación sexual de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. Ex Steud (Dinde). Pregrado en Biología. Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). Facultad de ciencias básicas. Bogotá. 213 p.
- Kjeldhal, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Annals of Chemistry*. 22:366-382
- Kuo, S., Bristow, P.R., Jellum, E.J. & Okiro, M. 2000. Nitrogen mineralization of lime-stabilized fishwaste in acid soils and its effect on plant growth. *Journal Environmental Quality* 29: 380-387.
- Lagos P., L. 2007. Evaluación de *Pantoea* como bacteria promotora del crecimiento vegetal en cuatro genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Artículo científico*.
- Lambers, H.; Chapin III, F.S. & Pons, T.L. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer-Verlag, New York. 540 p.
- Landis, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality, In: Duryea, M. (Ed.), Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests. Forest Research Laboratory, Oregon State University, pp. 29 – 48.

- Landis, T.D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E., Barnett, J.P. (Eds.), *The Container Nursery Manual*, vol. 4. Agriculture Handbook No. 674. USDA Forest Service, pp. 1 – 70.
- Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology*. Springer. 4 edition. 512 p.
- Mantovani, M., A.R. Ruschel, M. Sedrez dos Reis, A. Puchalski & R.O. Nodari. 2003. Fenologia reproductiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. *Rev. Árvore* 27: 451-458.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. London. 2 edition. 889 p.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Science* 15: 1409-1416.
- Navarro Cerrillo R.M., Arribas Garcia M.A., Gallegos Perula V. y Alcantara Vara E. 2003. Deficiencias minerales en plantas de una savia de dos especies de frondosas mediterráneas (*Quercus suber* L. y *Ceratonia siliqua* L.). *Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales* (2003) 12 (1), 61 – 73.
- Pal, K.K., Tilak, K.V.B.R., Saxena, A.K., Dey, R., Singh, C.S. 2001. Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminearum* by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 156, 209–223.
- Parra, C. 1996. Efecto de la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno en el desarrollo inicial de *Cedrela montana* Turczaninov. Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá, Colombia. 108 pp.
- Patten, C.L. & Glick, B.R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indol-acetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology* 68, 3795 – 3801.
- Perez Garcia, E.; Meave, J.; Gallardo, C. 2001. Vegetación y flora de la región de Nizanda, Oaxaca, Mexico. *Acta Botánica Mexicana* 56, 19-88.
- Ramírez, C. 2003. Análisis de la fisiología de la nutrición mineral en plantas de clavel miniatura (*Dianthus caryophyllus* cv. Rony) en condiciones de producción

a nivel comercial. Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. 297 p.

- Ramos, G.; Vanguardia, J. & Jorquera, L. 2004. Enraizamiento y producción de hormonas vegetales en especies forestales. *Instituto de Investigación y Servicios Forestales (UNA)*. Pp 98 – 112.

- Ristaino, J.B.; Perry, K.B. and Lumsden, R.D. 1991. Effect of solarization and *Gliocladium virens* on sclerotia of *Sclerotium rolfsii*, soil microbiota, and disease incidence on tomato. *Phytopathology* 81, 1117-1124.

- Rojas Rodríguez, F.; Arias Aguilar, D.; Roque Moya, R.; Montoya Meza, A.; Murillo Gamboa, O. & Arguedas Gamboa, M. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica, Cartago [en línea]: Fertilización. <http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf> 314 p. [Consulta: 25 Abr. 2009].

- Salisbury, F.B. & Ross, C.W. 2000. Fisiología de las plantas. Tomo 3: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Paraninfo Thomson Learning. 480 pp.

- Scher, F.M., Baker, R., 1982. Effect of *Pseudomonas putida* and a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to Fusarium wilt pathogens. *Phytopathology* 72, 1567–1573.

- Shanks, A.; Mattner, S.; Brett, R.; Porter, I.J.; Tostovrsnik, N. & Dignam, B. 2004. A Guide to Soil Disinfestation. Strategies in the Absence of Methyl Bromide. Department of Primary Industries, Victoria. Knoxfield Centre, Australia. 27 pp.

- Silk, W.K. 1994. Kinematics and dynamics of primary growth. *Biomimetics* 2: 199-213.

- Soulas, M.L.; Bihan, B.L.; Camporota, P.; Jarosz, C.; Salerno, M.I. & Perrin, R. 1997. Solarization in a forest nursery: effect on ectomycorrhizal soil infectivity and soil receptiveness to inoculation with *Laccaria bicolor*. *Mycorrhiza* 7: 95-100.

- Stevens, C.; Khan, V.A.; Rodriguez-Kabana, R.; Ploper, L.D.; Backman, P.A.; Collins, J.E.; Brown, J.E.; Wilson, M.A. & Igwegbe, E.C.K. 2003. Integration of

soil solarization with chemical, biological and cultural control for the management of soilborne diseases of vegetables. *Plant and Soil* 253: 493-506.

- Suarez, F.; Forcen, J.; Sanchez, J. & Molina, L. 2001. Manual de producción ecológica de plantas forestales autóctonas. WWF/ADENA. Madrid. 36 p.

- Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. Fourth Edition. Copyright 2006 by Sinauer Associates, Inc. Publishers. U.S.A. 764 p.

- Trujillo, E. 1989. Fundamentos para el manejo de semillas, viveros y plantación inicial. Editora Guadalupe. Primera edición. Serie tecnica numero 1. Bogota. 157 p.

- van den Driessche, R. (Ed.), 1991. Mineral nutrition of Conifer Seedlings. CRC Press, Boca Raton, FL, 274 pp.

- Van Iersel M.W.; Beverly R.B.; Thomas, P.A.; Latimer, J.G. & Mills, H.A. 1999. Fertilizer effects on the growth of *Impatiens*, *Petunia*, *Salvia*, and *Vinca* plug seedlings. *HortScience* 33(4):678-682.

- Vargas, W. 2002. Guía ilustrada de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Primera edición. Universidad de Caldas. Centro editorial. Manizales. 814 p.

- Walkley A. y C. A. Black. 1965. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy: 1372-1375.

- Walter, A.; Silk, W.K.; Schurr, U. 2009. Environmental effects on spatial and temporal patterns of leaf and root growth. *Annual Review Plant Biology* 60, 279 – 304.

- Walworth, J. 1992. Soil drying and rewetting, or freezing and thawing, affects soil solution composition. *Soil Science Society American Journal*, 56: 433-437

- Zimmer, W. y Bothe, A. 1989. The phytohormonal interactions between *Azospirillum* and wheat. In: *Development in plant and soil sciences* 35: 137-145.

11. Anexos

Anexo A. Planilla para registro de temperatura de suelo solarizado proveniente de la hacienda Nápoles, Montenegro, Quindío.

REGISTRO TEMPERATURA SUELO SOLARIZADO				
Fecha	Hora	Temperatura = T (°C)		
		T1	T2	T3

Anexo B. Periodos de evaluación para el registro de las variables de nutrición sustrato-foliar en suelo solarizado y en suelo no solarizado (Ramírez, 2003).

	1-4 SDS	4-8 SDS	8-12 SDS	12-16 SDS
NS				
NF				
PS				
PF				
FeS				
FeF				
pH				
C.E				
C.I.C				
M.O.				

SDS: Semanas Después de la Siembra

Anexo C. Periodos de evaluación para el registro de las variables e índices de crecimiento y desarrollo en suelo solarizado y en suelo no solarizado (Ramírez, 2003).

	1-4 SDS	4-8 SDS	8-12 SDS	12-16 SDS
LTO				
LTA				
LR				
NRL				
PFH				
PFTA				
PFR				
PFTOT				
PSH				
PSTA				
PSR				
PSTOT				
AF				
RPF				
RMR				

SDS: Semanas Después de la Siembra