

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Respuesta de plantulas de *Pinus caribaea*
Morelet var. *hondurensis* Barr. et Golf. a micro-
rización y fertilización fosfatada en un oxisol de
los Llanos Orientales de Colombia

3790

JOSE E. PEDRAZA A.

BOGOTA, D. E. 1981

1790

30 DIC. 1981

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Analizada

RESPUESTA DE PLANTULAS DE Pinus caribaea Morelet var.
hondurensis Barr. et Golf. A MICORRIZACION Y FERTILI-
ZACION FOSFATADA EN UN OXISOL DE LOS LLANOS ORIENTA -
LES DE COLOMBIA .

TESIS

Presentada a la Facultad de Agronomía
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá .

Por:

JOSE EDUARDO PEDRAZA ANGARITA

//

Como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO

Bogotá, D.E., Colombia.

1.981

"El Presidente de Tesis, el Consejo de Tesis y el Jurado examinador no serán responsables de las ideas emitidas por el candidato".

(Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional de Colombia).

PRESIDENTE DE TESIS

Rodrigo Lora Silva

Rodrigo Lora Silva, I.Q. Msc.

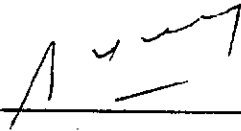
DECANO

Jaime Rodríguez Lara

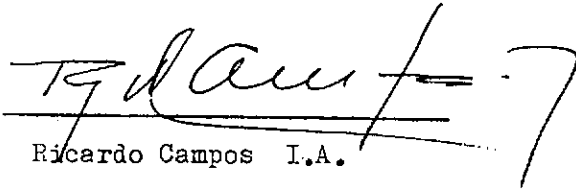
SECRETARIO

Gabriel Alvarado Alvarado

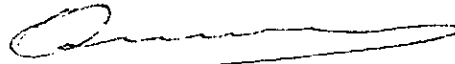
JURADO CALIFICADOR



Ricardo Guerreño R. I.A. Msc.
Presidente del Jurado



Ricardo Campos I.A.



Antonio Angarita Z. I.A. Ph.D.

DEDICATORIA

A mi Madre y hermanos por su apoyo moral y material permanentes;

A la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", por haber encontrado en ella el ambiente propicio para el desarrollo de mis inquietudes investigativas;

A Gilberto Mahecha V., Ing. Forestal, Dendrólogo, ejemplo de mística y desinterés en la búsqueda del conocimiento;

A todos los jóvenes espíritus, para quienes la búsqueda de la verdad es una preocupación permanente.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a las siguientes personas y/o entidades:

- Programa de Suelos, Instituto Colombiano Agropecuario ICA, por su colaboración y apoyo en la realización del presente trabajo.
- Dr. Rodrigo Lora S. ICA, por aceptar presidir éste trabajo y por su colaboración permanente durante el desarrollo del mismo.
- Dr. Eric J. Owen ICA, por sus sugerencias y colaboración en el envío del suelo utilizado en el experimento.
- Dr. Ricardo Umaña y Dr. Jaime Galindo P. de Pizano Ltda, por permitirme recolectar en la Finca "El Amparo" el inóculo utilizado.
- Dra. Clemencia de LaRotta ICA, por su permanente colaboración.
- Dra. Eloina Mesa ICA-División de Estadística, por sus sugerencias y colaboración en el procesamiento y discusión de los datos.
- Al personal del Laboratorio de Suelos ICA-Tibaitatá, por su colaboración; y en general a todas aquellas personas que hicieron posible la realización de éste esfuerzo investigativo.

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	4
II. REVISION DE LITERATURA	7
2.1. El Fósforo en Suelos tropicales	7
2.2. Rocas fosfóricas como fuente de fósforo para fertilización directa	8
2.3. Fertilización fosfatada de especies forestales en el trópico	9
2.4. El Fenómeno micorrizal	10
2.4.1. Naturaleza de la Micorriza	10
2.4.2. Micorrizas y absorción de nutrientes	11
2.4.3. Inoculación de coníferas con hongos ectomicorrizales	13
III. MATERIALES Y METODOS	15
3.1. Materiales	15
3.1.1. Suelos	15
3.1.2. Especie conífera utilizada	15
3.1.3. Fuentes de fósforo	21
3.1.3.1. Niveles de fósforo	21
3.1.4. Fuente de inóculo	21
3.2. Métodos	23
3.2.1. Caracterización del suelo	23
3.2.2. Preparación y esterilización del suelo	23
3.2.3. Siembra	24

	Página
3.2.3.1. Desinfección de semillas	24
3.2.3.2. Germinación aséptica	24
3.2.3.3. Transplante	24
3.2.4. Inoculación	25
3.2.4.1. Preparación del inóculo	25
3.2.4.2. Proceso de inoculación	25
3.2.5. Diseño Experimental	25
3.2.6. Criterios de Evaluación	28
3.2.6.1. Determinación de Altura y Diámetro	28
3.2.6.2. Determinación del Grado de infección	28
3.2.6.3. Determinación de Peso fresco y Peso seco	28
3.2.6.4. Determinación de la concentración de nutrientes en acículas	29
3.2.6.4.1. Análisis foliar	29
3.2.6.5. Determinación de la concentración de fósforo en raíces	30
3.2.6.6. Determinación de P-asequable en el suelo	30
3.2.6.7. Histología de raíces micorrizadas	30
3.2.6.7.1. Preparación del FAA	31
3.2.6.7.2. Proceso de disección de raíces	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	32
4.1. Incremento en Altura	32
4.2. Incremento en Diámetro	36
4.3. Producción de Materia verde y Materia seca total	40
4.3.1. Producción de Materia verde	40
4.3.2. Producción de Materia seca	44
4.4. Grado de infección de raíces	46
4.5. Absorción de nutrientes	50

	Página
4.5.1. Absorción de P	50
4.5.2. Absorción de N	54
4.5.3. Absorción de K, Ca y Mg	56
4.5.4. Absorción de Mn y Fe	60
4.5.5. Absorción de Cu	63
4.5.6. Absorción de Zn	63
4.6. Contenido de P en raíces	68
4.7. Anatomía de Micorrizas	68
V. CONCLUSIONES	73
VI. RECOMENDACIONES	78
VII. BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	95

INDICE DE TABLAS

Número		Página
1	Propiedades fisico-químicas del suelo de sabana de los Llanos Orientales de Colombia utilizado en la investigación	16
2	Contenido de fósforo y solubilidad de las fuentes utilizadas	17
3	Algunas características químicas de las Rocas fosfóricas utilizadas	18
4	Gramos de cada fuente de P, adicionados a materas con 2 Kg de suelo	19
5	Gramos/litro de agua de cada uno de los compostos utilizados como fuentes de N, K y Mg	20
6	Tratamientos utilizados en la investigación	26
7	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre el crecimiento en Altura de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	33
8	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre el crecimiento en Diámetro de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	38
9	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la producción de Materia verde total y de raíces de plántulas de <u>P. caribaea</u>	

Número		Página
	var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	41
10	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la producción de Materia seca total de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	45
11	Efecto de la micorrización y fertilización con P sobre la concentración de P en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	51
12	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de N en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> a los 7 meses	55
13	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de K en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> a los 7 meses	57
14	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Ca en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	58
15	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Mg en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	59
16	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Mn en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	61

Número		Página
17	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Fe en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	62
18	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Cu en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	64
19	Efecto de la micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Zn en acículas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> a los 7 meses	65
20	Efecto de cinco fuentes y tres niveles de P sobre la micorrización de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia	47
21	Concentración de P en raíces micorrizadas y no micorrizadas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> fertilizadas con fuentes y niveles variables de P.	66

INDICE DE FIGURAS

Número		Página
1	Esporocarpos de <i>Thelephora terrestris</i> (Ehrh)Fr.	22
2	Crecimiento en Altura de plántulas de <u><i>P. caribaea</i></u> var <u><i>hondurensis</i></u> micorrizadas y no micorrizadas y fertilizadas con P	34
3	Comportamiento de cinco fuentes de P respecto al crecimiento en Altura de plántulas de <u><i>P. caribaea</i></u> var <u><i>hondurensis</i></u> inoculadas con <u><i>T. terrestris</i></u>	35
4	Crecimiento en Diámetro de plántulas de <u><i>P. caribaea</i></u> var <u><i>hondurensis</i></u> micorrizadas y no micorrizadas y fertilizadas con P	34
5	Comportamiento de cinco fuentes de P respecto al crecimiento en diámetro de plántulas de <u><i>P. caribaea</i></u> var <u><i>hondurensis</i></u> inoculadas con <u><i>T. terrestris</i></u>	39
6	Producción de Materia verde en plántulas de <u><i>P. caribaea</i></u> var <u><i>hondurensis</i></u> micorrizadas y no micorrizadas y fertilizadas con fuentes y niveles variables de P	42
7	Comportamiento de cinco fuentes de P respecto a la producción de materia verde en plántulas de <u><i>P. caribaea</i></u> var <u><i>hondurensis</i></u> inoculadas con <u><i>T. terrestris</i></u>	43

Número		Página
8	Producción de Materia seca por plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> micorrizadas y no micorrizadas y fertilizadas con P.	42
9	Formación de micorriza en raíces de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> inoculadas con <u>T. terrestris</u> y fertilizadas con fuentes y niveles variables de P	48
10	Efecto del P aplicado a partir de cinco fuentes de P sobre la formación de micorriza en plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> inoculadas con <u>T. terrestris</u>	49
11	Absorción de P y N por plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> micorrizadas y no micorrizadas y fertilizadas con fuentes y niveles variables de P	52
12	Efecto de cinco fuentes de P sobre la absorción de P por plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> inoculadas con <u>T. terrestris</u>	53
13	Contenido de P en raíces micorrizadas y no micorrizadas de plántulas de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u> fertilizadas con fuentes y niveles variables de P	67
14	Ectomicorrizas del subtipo coraloide simple formada por <u>T. terrestris</u> en raíces de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u>	69
15	Ectomicorrizas del subtipo coraloide complejo formada por <u>T. terrestris</u> en raíces de <u>P. caribaea</u> var <u>hondurensis</u>	69

- 16 Micorrizomorfos adheridos a la micorriza formada por T. terrestris en raíces de P. caribaea var hondurensis 70
- 17 Sección transversal de una ectomicorriza formada por T. terrestris en raíces de P. caribaea en la que se pueden observar el Manto hifal (Mh) y la red de Hartig (RH). 400x.
- 18 Morfología externa de la micorriza formada por T. terrestris en raíces de plántulas de P. caribaea var hondurensis fertilizadas con dos fuentes de P de diferente solubilidad. (a) con 25 Kg P_2O_5 /Ha de Superfosfato triple; (b) raíz normal no infectada; (c) con 50 Kg P_2O_5 /Ha de Roca fosfórica de Pesca 71

INDICE DE ANEXOS

Número		Página
1	Coefficientes de correlación para Altura, Diámetro, Producción de Materia verde total y de raíces, Producción de Materia seca total, y Absorción de nutrientes, Porcentaje de infección micorrizal y P-aprovechable en el suelo.	95
2	Análisis de regresión para la variable Altura en función del Porcentaje de infección micorrizal.	96
3	Análisis de regresión para la variable Altura en función de Porcentaje de infección, P-aprovechable, P-foliar y Nivel de P.	97
4	Análisis de regresión para la variable Diámetro en función del Porcentaje de infección micorrizal .	98
5	Análisis de regresión para la variable Diámetro en función de P-foliar, N-foliar y Porcentaje de infección.	99
6	Análisis de regresión para la variable materia seca total en función de Porcentaje de infección.	100
7	Coefficientes de correlación para Porcentaje de infección y Absorción de nutrientes	101

Número		Página
8	Análisis de regresión para la variable <u>Porcentaje de infección</u> en función de la <u>concentración de P-foliar</u> y <u>fuelle de P.</u>	102
9	Análisis de <u>regresión</u> para la variable <u>Porcentaje de infección</u> en función de <u>P-foliar</u> , <u>Fuelle de P</u> , <u>Hongo</u> y <u>N-foliar</u> .	103

RESUMEN

Con el objeto de establecer la importancia que la MICORRIZA tiene para el crecimiento inicial de Pinus caribaea var hondurensis Barr. et Golf., en suelos pobres en fósforo y de baja fertilidad, como los de sabana en los Llanos Orientales de Colombia, al igual que conocer la capacidad de las plantas micorrizadas para utilizar el fósforo presente en fuentes de baja solubilidad, se realizó una investigación en condiciones controladas de invernadero en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá", en la que plántulas de P. caribaea var hondurensis fueron inoculadas con cuerpos fructíferos del hongo ectomicorrizal Thelephora terrestris (Ehrh)Fr. y fertilizadas con cinco fuentes y tres niveles de fósforo. Las fuentes utilizadas fueron: Roca fosfórica de Pesca (20.4 por ciento de P_2O_5), Roca fosfórica de Huila (20.8 por ciento de P_2O_5), Roca fosfórica de Sardinata (26.7 por ciento de P_2O_5), Escorias Thomas-Calfos (14.0 por ciento de P_2O_5) y Superfosfato triple (46.0 por ciento de P_2O_5). Los niveles fueron 25, 50, 100 Kg P_2O_5 /Ha. Todas las plantas recibieron además N, K y Mg a razón de 45 Kg N/Ha, 75 Kg K_2O /Ha y 40 Kg MgO/Ha respectivamente.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con 32 tratamientos resultantes de la combinación de cinco fuentes y tres niveles de fósforo; dos niveles de hongo y dos testigos. El número de replicaciones fue de tres. Luego de siete meses, las plantas fueron evaluadas en cuanto a : altura, diámetro, producción de materia

verde total y de raíces, producción de materia seca total, porcentaje de infección micorrizal, absorción de P, N, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, y Zn; contenido de fósforo en raíces y tipo de micorriza formada. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico para evaluar los resultados. Finalmente, la micorriza formada fue descrita y cortes al micrótopo fueron hechos para observar más detalladamente las estructuras micológicas en los tejidos de la raíz.

El crecimiento en altura y diámetro de plantas micorrizadas fue más del doble que en las no micorrizadas; la producción de materia verde llegó a ser hasta cuatro y media veces mayor en plantas micorrizadas con respecto a las no micorrizadas; un abundante desarrollo de micorriza se presentó en presencia de cada una de las fuentes de fósforo de baja solubilidad utilizadas, v. gr. Rocas fosfóricas y Escorias Thomas, siendo inhibido su desarrollo parcial o totalmente en los casos en que las plantas fueron fertilizadas con Superfosfato triple; sin embargo, cuando no se adicionó fósforo al suelo el hongo fue incapáz de establecerse en simbiosis con las raíces de las plántulas; las plantas micorrizadas absorbieron mayores cantidades de P, N, Fe, Cu y Zn que las no micorrizadas.

En general los resultados obtenidos permitiéron confirmar: (a) la obligatoriedad de la simbiosis micorrizal para el normal desarrollo de Pinus caribaea var hondurensis; (b) que a pesar de ser la micorriza un factor importante en la movilización de fosfatos en suelos altamente deficientes, es necesario adicionar un mínimo de fósforo al suelo, para que ésta pueda desarrollarse y así cumplir su función fisiológica en la nutrición de las plantas; (c) la capacidad de la micorriza formada por Thelephora terrestris para utilizar eficientemente el fósforo presente en fuentes de baja solubilidad en suelos extremadamente deficientes y altamente fijadores de fósforo como los de sabana en los Llanos Orientales de Colombia; (d) bajo las condiciones del

presente estudio el Superfosfato triple fue la fuente de peor comportamiento respecto a rendimiento y porcentaje de micorriza formada.

Se plantea finalmente que el sistema MICORRIZA + P insoluble, representa una de las alternativas de mayor futuro para resolver el problema de deficiencia de fósforo que limita el desarrollo agropecuario y silvícola en suelos ácidos del trópico, factor que es el responsable del marginamiento en que hoy permanecen vastas regiones del mundo tropical.

INTRODUCCION

La necesidad que tiene Colombia en su proceso de desarrollo económico, de incorporar nuevas áreas al proceso productivo, ha hecho que en los últimos años se mire en forma expectante las posibilidades que puedan ofrecer la Orinoquia y Amazonia colombianas, regiones que en conjunto ocupan más de la mitad de la superficie total del país.

Con el propósito de conocer las características de dichos ecosistemas y en particular el de la Orinoquia, conocida más comunmente como Llanos Orientales, se han realizado en los últimos años diversas investigaciones e iniciado varios programas de experimentación a fin de explorar su capacidad agrícola y pecuaria. Si bien los resultados obtenidos hasta hoy, son alentadores, estamos aún lejos de lograr establecer una actividad agrícola y/o ganadera en condiciones económicas en la mayor parte de ésta vasta región.

A pesar de lo anterior, otras alternativas de uso diferentes y al mismo tiempo complementarias a la agropecuaria, como sería el uso forestal con especies maderables de rápido crecimiento, no han sido planteadas aún en forma seria.

La introducción de ciertas coníferas tropicales, entre ellas Pinus caribaea var. hondurensis Barr. et Golf., acompañadas de un manejo adecuado, particularmente en lo referente a micorrización y fertilización fosfatada, promete ser una alternativa económica y de utilización eficiente de los suelos de dicha región del país. Las plantaciones existentes en las sabanas de Venezuela, Guyana, Surinam y Brasil,

de condiciones ecológicas similares a las muestras, así lo han demostrado. En algunos países sin embargo la introducción de ésta especie ha tenido dificultades debido al desconocimiento de sus requerimientos climáticos y edáficos, siendo los más importantes aquellos que tienen que ver con sus necesidades nutricionales y con la naturaleza micorrizal de su sistema radicular. Experiencias negativas con ésta conífera se continúan acumulando en Colombia debido a tal desconocimiento.

El fenómeno micorrizal (MICORRIZA), en coníferas, determinado por la presencia de hifas de hongos, basidiomicetos principalmente, en las raíces de éstas estableciéndose una asociación simbiótica obligada, ha venido siendo estudiado por cerca de un siglo pudiéndose establecer claramente la función que cumplen en la nutrición, particularmente fosfatada, de éstas especies. Su presencia sin embargo no está restringida exclusivamente a las coníferas, sino que se extiende a casi todos los grupos de plantas superiores siendo su ocurrencia la regla más que la excepción (129).

En suelos de baja fertilidad las micorrizas, dada su gran actividad metabólica, mayor superficie de absorción y la estratégica distribución de su micelio, el cual le permite explorar un gran volumen de suelo, son de vital importancia para la absorción y acumulación de iones del suelo entre ellos P, N, Ca, K, Mg, Fe, Cu, Zn, etc., los cuales transloca posteriormente a los tejidos de sus hospederos. Además los hongos micorrizales (micobiontes) producen, tanto extra como intercelularmente, auxinas, citoquininas, vitaminas, enzimas y otros compuestos que favorecen un mayor desarrollo radicular y longevidad de las raicillas. En la dinámica de los bosques tropicales los hongos micorrizales juegan un papel decisivo, siendo uno de los más importantes mecanismos del ciclaje directo de nutrientes (98).

Como todo organismo vivo, los hongos micorrizales tienen determinados requerimientos ecológicos, los cuales varían entre especies.

Dichos requerimientos son aún en su mayor parte desconocidos, lo cual limita la utilización eficiente de ésta simbiosis en el mejoramiento de la producción de alimentos, madera, etc., a bajo costo.

Con el objeto de demostrar la importancia que la Micorriza tiene para el normal crecimiento de coníferas tropicales como Pinus caribaea var hondurensis Barr. et Golf., se realizó una investigación bajo condiciones de invernadero en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá", con los siguientes objetivos: (a) Demostrar los beneficios de la simbiosis micorrizal sobre el desarrollo y crecimiento de Pinus caribaea var hondurensis Barr. et Golf., en un suelo de sabana de los Llanos Orientales de Colombia; (b) Establecer la capacidad de la micorriza para absorber y translocar fosfatos a partir de diversas fuentes fosfatadas en suelos ácidos, al igual que otros elementos; (c) Establecer la eficiencia de cada una de las fuentes fosfatadas utilizadas, al igual que su compatibilidad con los hongos micorrizales.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. EL FOSFORO EN SUELOS TROPICALES

Los suelos ácidos del trópico presentan problemas para el crecimiento de las plantas cultivadas, entre ellas las forestales, por baja disponibilidad de P, N, K, Ca, Mg, S, Zn, B, entre otros; siendo el P el elemento más limitante (12,20,80,94,107,133). La exuberancia del bosque tropical se explica por la existencia de mecanismos de retención y conservación de nutrientes, entre ellos las Micorrizas, que hacen posible la estructuración de un ciclo cerrado de nutrientes; dicho ciclaje de nutrientes se interrumpe o desaparece al ser destruída la masa forestal para dar paso a la explotación agropecuaria (50,112,120,121,122,141).

Junto a su bajo contenido de P-aprovechable, los suelos tropicales tienen la propiedad de inmovilizar rápidamente los fosfatos solubles adicionados debido a las altas concentraciones de formas reactivas de hierro y aluminio presentes, con las cuales reaccionan formando compuestos de P insolubles poco aprovechables por las plantas (5,33,61). Tal fenómeno de fijación tiene gran significación en ésta región del mundo al afectar la eficiencia de la fertilización fosfatada, haciéndola antieconómica y poco práctica en muchos casos (11,30,107).

En América tropical y sub-tropical existen más de un billón de hectáreas de Oxisoles, Ultisoles e Inceptisoles, la mayoría de los cuales son deficientes en P (67). En Colombia el área correspondi -

ente a éste tipo de suelos es aproximadamente de 67.5 millones de Ha. equivalentes al 57 por ciento de la superficie total (19). En el caso particular de Oxisoles de los Llanos Orientales, éstos se caracterizan por poseer un bajo contenido de P-total, alta capacidad de fijación de P y, tener altos requerimientos de P (5,19,37).

2.2. ROCAS FOSFORICAS COMO FUENTE DE P PARA FERTILIZACION DIRECTA

El uso de rocas fosfóricas para aplicación directa al suelo, data de mediados del siglo pasado, siendo sin embargo muy restringido su uso hasta el presente. Según cifras de la FAO, citadas por Khasawneh et al (62) para el año 1.974-75, de los 24 millones de toneladas métricas de P_2O_5 consumidas mundialmente, tan solo 1.2 millones equivalentes al 5 por ciento del total, fueron aplicadas como rocas fosfóricas; dicho consumo correspondió en un 80 por ciento a la Unión Soviética y países de Europa Oriental, el restante a países en desarrollo de Africa y América latina principalmente.

A pesar de su relativa baja efectividad agronómica, el uso de rocas fosfóricas para fertilización de cultivos ha venido incrementándose en América latina en los últimos años dadas sus ventajas respecto a : (a) respuesta favorable en suelos ácidos; (b) menor susceptibilidad a la fijación de sus fosfatos; (c) bajo costo (67,68,84,95,108,109).

Colombia posee varios depósitos de rocas fosfóricas, cuyos materiales aunque de baja reactividad, si se comparan con similares de Norteamérica, Africa, Perú, etc, representan un potencial considerable para entrar a resolver el problema de deficiencia de P en vastas regiones productivas o potencialmente productivas, v.gr. Zona Andina, Llanos Orientales, etc., previo tratamiento físico, químico o microbiológico (11). Entidades del sector agropecuario al igual que investigadores particulares vienen realizando esfuerzos en éste sentido (10,11,44,67,68,111).

Las rocas fosfóricas han tenido un uso muy limitado en fertilización forestal, siendo escasas las referencias al respecto (26,31). En Colombia y en general en América Latina su uso ha estado restringido a la fertilización de cultivos agrícolas.

2.3. FERTILIZACION FOSFATADA DE ESPECIES FORESTALES EN EL TROPICO

En general, ha sido relativamente poco lo investigado en materia de fertilización forestal en el trópico. Investigaciones realizadas en Oxisoles e Inceptisoles del trópico americano han permitido establecer que éstos suelos presentan limitaciones para el establecimiento de plantaciones forestales por baja disponibilidad de P, N, Ca, Mg, B, Zn, Cu, S, entre otros (3,4,20,35,36,72,80,118,133).

Efectos positivos de la fertilización fosfatada sobre el desarrollo y crecimiento de especies forestales, particularmente de coníferas han sido encontrados en diversas investigaciones realizadas en países tropicales. En Malasia, Srivastava et al (119) buscando respuesta a fertilización con N,P,K, en P. caribaea var. hondurensis, encontraron que el P fue el nutrimento más importante para el crecimiento en altura de ésta especie; Platteborze et al (102) encontraron un marcado efecto sobre el crecimiento en altura de P. caribaea var. hondurensis durante el primer año de plantación, después de la aplicación de P; Carmean et al (18) hallaron similares resultados; Lim et al (69) encontraron el mismo efecto en una plantación de P. caribaea var. hondurensis de 6 años de edad; Sundralingan (123,124) trabajando con P. merkusii y Araucaria huasteinii reportó efecto positivo del P aplicado, habiendo sido éste el elemento más importante para el mejor crecimiento de las dos especies. En Nigeria, Kadeba (60) estableció que en suelos de sabana, especies de Eucalyptus, P. pátula, y P. radiata respondían a la aplicación de P. En Venezuela, Gasana (34) en una investigación realizada en vivero con P. pátula, P. oocarpa y P. pseudostrobus encontró respuesta de éstas especies a la fer -

tilización con P y N. En ensayos realizados en Australia (23) con P. elliotii, P. caribaea var. caribaea y P. caribaea var. honduren - sis de 6 años de edad, todas las especies respondieron a la aplica - ción de P, pero no a N y K. En Cuba, Burley et al (17) en un ensayo preliminar sobre fertilización de P. caribaea var. caribaea estable - cieron la importancia del P para el buen desarrollo de la especie. En Brasil, Miranda (91) halló que solamente el P aplicado tuvo efec - tos positivos sobre el incremento en volúmen de un rodal de P. taeda de 9 años de edad; Simoes et al (117,118) trabajando en suelos del Cerrado con las especies E. maculata, E. saligna, P. caribaea var. caribaea y P. caribaea var. bahamensis, establecieron que la fertili - zación con N,P,K, favorecía el crecimiento de las tres primeras espe - cies y para el caso de la última, ésta solamente respondió a P,K, y Ca. En Colombia, Medina (80) y también Ladrach (65) reportaron res - puesta de Cupressus lusitanica y P. oocarpa fertilizados con Escori - as Thomas (Calfos).

2.4. EL FENOMENO MICORRIZAL

2.4.1. Naturaleza de la Micorriza

La mayoría de las plantas que crecen bajo condiciones naturales, son organismos duales en que el órgano a través del cual ellas absor - ben agua y nutrientes consiste de raíz y micelio de hongo. A tal aso - ciación simbiótica se le ha llamado MICORRIZA (46,99).

Las especies forestales Gimnospermas y Angiospermas de las zonas templada y tropical, son en su mayor parte micorrizales (58,73,99,129). En el caso particular de las coníferas la simbiosis micorrizal es de tipo obligado, siendo por tanto imprescindible para su crecimiento y sobrevivencia. El mutualismo o simbiosis micorrizal en coníferas, ha sido investigado por cerca de un siglo y su conocimiento ha beneficia - do los programas forestales de muchos países. Por el contrario, su

desconocimiento ha llevado al fracaso muchos intentos de introducir por primera vez coníferas en aquellas regiones diferentes a su lugar de origen, y desde luego Colombia no ha sido la excepción.

Los hongos que comunmente forman Micorriza en las coníferas pertenecen a la Clase Basidiomycetes, principalmente las Familias Boletaceae, Amanitaceae, Cortinariaceae, Russulaceae, Rhizopogonaceae, Tricholomataceae, Paxillaceae, Thelephoraceae, Lycoperdaceae, Pisolithaceae, etc. También forman Micorriza en coníferas un Deuteromycetes del Orden Mycelia Sterilia y un Phycomycetes de la Familia Endogonaceae, a la cual pertenecen la mayoría de hongos formadores de endomicorrizas del tipo vesículo-arbuscular (99,128). Una lista preliminar de los hongos formadores de Micorriza del tipo Ectótrofo, ECTOMICORRIZA, en coníferas y fagáceas del género Quercus en Colombia, ha sido elaborada recientemente (99).

2.4.2. Micorrizas y Absorción de Nutrientes

Desde el punto de vista de la nutrición mineral, las micorrizas dada su gran actividad metabólica y la mayor superficie de absorción que presentan, cumplen una importante función en la absorción de iones del suelo tales como P, Ca, K, N, Mg, S, Cl, Zn, Mo, Cu, Na, etc, en suelos de baja fertilidad (14,43,46,92,110,129,137,142).

El mejor crecimiento de plantas micorrizadas respecto a las no micorrizadas en condiciones de suelos pobres en elementos nutritivos han mostrado que la micorriza funciona eficientemente como órgano de absorción de nutrientes (88,113). En el tipo ectomicorrizal de común ocurrencia en Pináceas, Fagáceas, Betuláceas, Salicáceas, etc., los pelos absorbentes de la raíz son cubiertos completamente por el micelio del hongo, realizándose así la función de absorción de nutrientes y agua de manera más eficiente por el incremento de la superficie de absorción. El hábito micorrizal es sin duda alguna, una adapta -

ción en ciertas especies a los suelos deficientes en nutrientes, particularmente en P (45).

El proceso de toma de nutrientes del suelo y el movimiento de éstos vía manto fungal, ha sido intensamente estudiado (14,45,46). En adición a la absorción y translocación de nutrientes, los tejidos fungales sirven como "depósito" para los nutrientes, que de otra manera podrían ser lavados (121,122,129). Como tal, las micorrizas constituyen uno de los mecanismos más importantes del ciclaje de nutrientes en los ecosistemas tropicales (50,98).

Por su especial capacidad para absorber y translocar P a los tejidos de sus hospederos en suelos deficientes, como también a partir de fuentes complejas de P, las micorrizas ocupan un destacado lugar en la Economía del Fósforo en la Naturaleza (1,8,9,13,14,15,64,71,82,83,103). La utilización de isótopos radiactivos ha permitido establecer que las raíces micorrizadas absorben y acumulan una mayor cantidad de P que aquellas no micorrizadas, en presencia de bajos niveles de P-aprovechable en el suelo. El uso de P^{32} permitió establecer tal capacidad en las condiciones del ecosistema amazónico (51).

En términos generales, los beneficios de las micorrizas se hacen evidentes en las plantas hospederas por : (a) incrementos en peso fresco y seco; (b) incrementos en altura y diámetro; (c) incrementos en la absorción de P, N, Ca, y otros iones (14,16,27,41,42,46,49,70,79,104,110,135) existiendo sin embargo diferencias en cuanto a la capacidad de absorción y translocación de nutrientes entre las diferentes especies de hongos micorrizales.

La respuesta micorrizal puede suspenderse o restringirse por incremento del nivel de fertilidad del suelo mediante la adición de fertilizantes, particularmente de P y N solubles (2,22,25,47,57,78,85,86,87,105). No obstante, niveles moderados de P y otros nutri-

entes parecen ser necesarios para estimular la formación de micorrizas en aquellos suelos extremadamente deficientes en P y carentes de hongos ectomicorrizales indígenas (48,79). Otros factores que controlan la formación de micorrizas han sido discutidos ampliamente por varios investigadores (90,99,114,115,116).

Dos tipos de evidencias han sido utilizadas para deducir una respuesta micorrizal en árboles : (a) una correlación entre plantas vigorosas e infección micorrizal; sin embargo dado que la respuesta de crecimiento puede ser debida a algún carácter genético asociado las observaciones se confirman mediante (b) estudios de inoculación controlada (14,46).

2.4.3. Inoculación de Coníferas con Hongos Ectomicorrizales

En su hábitat natural las coníferas no requieren ser inoculadas con hongos ectomicorrizales pues los suelos contienen cantidades variables de cepas nativas, lo que hace que las plantas sobrevengan naturalmente infectadas. La necesidad de inoculación se presenta particularmente, en aquellas regiones tropicales y sub-tropicales cuyos suelos al carecer de hongos ectomicorrizales nativos, presentan dificultad para el establecimiento de plantaciones forestales con especies coníferas introducidas (89). Durante el último medio siglo muchos programas forestales en diferentes países concluyeron en el fracaso por dicho desconocimiento. Aún hoy día las coníferas exóticas en la mayor parte de los países de la zona tropical incluyendo a Colombia, continúan presentando problemas en su adaptación y crecimiento por carencia de oportunas y adecuadas prácticas de micorrización (63).

Variadas fuentes de inóculo y técnicas de inoculación han sido utilizadas (90,130). Una de ellas consiste en la utilización de cuerpos fructíferos (esporóforos o esporocarpos) del hongo micorrizal

la cual presenta ventajas biológicas y de tipo económico (52,76,77, 125,126,130).

Entre los hongos que comunmente forman micorriza en coníferas tropicales se encuentran : Rhizopogon luteolus (Corda)Hollos, Cenococcum graniforme (Sow)Ferd et Winge, Suillus granulatus (L. ex Fr.) Kuntze, Corticium bicolor Fr., Pisolithus tinctorius (Michelli ex Persoon)Coker et Couch., Thelephora terrestris (Ehrh.)Fr., entre otros (138,139). Este último tiene como ventajas : (a) gran habilidad para colonizar rápidamente suelos fumigados, esterilizados, degradados, o carentes de hongos ectomicorrizales nativos; (b) fructifica rápida y abundantemente en las condiciones cálidas del trópico; (c) es un simbiote de indiscutible poder infectivo; (d) tiene un amplio rango de hospederos (74,75,76,81).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Suelos

Se utilizó un suelo de sabana, correspondiente al paisaje fisiográfico de terraza alta, proveniente de la Estación Experimental "La Libertad" en Villavicencio, Meta. Estos suelos clasificados como O - xisoles, poseen una fertilidad muy baja y tienen como características generales : topografía plana; excelente drenaje interno y externo; texturas de moderadamente gruesas a moderadamente finas; pH de muy fuertemente ácido a extremadamente ácido; bajos contenidos de P, K, Ca, y Mg; alta saturación de Aluminio y alta capacidad de fijación de Fósforo (5,19,37,38,97).

Las características fisico-químicas del suelo utilizado aparecen en la Tabla 1.

3.1.2. Especie Conífera utilizada

La especie utilizada fue Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barr. et Golf., Procedencia Mosquitia, Honduras. Esta especie es entre las coníferas tropicales la que alcanza los más altos rendimientos y la de mejor comportamiento y adaptación a las condiciones de las Sabanas Tropicales Térmicas e Hipertérmicas bien drenadas de Brasil, Venezuela, Guyana y Surinam; las cuales son muy similares

TABLA 1. Propiedades físico-químicas del suelo de sabana de los Llanos Orientales de Colombia utilizado en el experimento.

				% A	% Ar				% L	Textura ^{1/}		
				46.0	35.12				18.88	Ar A		
pH	M.O %	P ppm Bray II	B ppm	meq/100 ml de suelo						C.E. mmhos/cm	Fijación de P %	
				Al	Ca	Mg	K	Na	CIC			
4.6	3.1	2.38	0.07	2.2	0.44	0.08	0.06	0.17	2.95	0.145	88.38	

^{1/} Determinada por el Método de Boyoucus.

TABLA 2. Contenido de P y solubilidad de las fuentes fosfatadas utilizadas.

Fuente de P	Símbolo utilizado	Forma del P	P ₂ O ₅ ^{1/} %		
			Total	Soluble H ₂ O	Soluble. Ac.Citr. 2%
Superfosfato triple	SFT	Fosfato monocálcico	45-46	38.5-39.5	
Escorias Thomas (Calfos)	ETH	Fosfato sílico-cálcico	14.0	-	14.0
Roca Fosfórica de Pesca	RFP	Fluorapatito	20.4	-	7.0
Roca Fosfórica de Huila	RFH	Fluorapatito	20.8	-	5.2
Roca Fosfórica de Sardinata	RFS	Fluorapatito	26.7	-	3.9

^{1/} Tomado de Bonilla (10), León (67) y Ojeda (96).

TABLA 3. Algunas características químicas de las Rocas Fosfóricas utilizadas.^{1/}

Roca	Porcentaje en Peso						
	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	F
R. Pesca	20.4	28.9	0.09	42.2	0.16	0.14	2.0
R. Huila	20.8	39.3	0.22	-	-	0.28	2.4
R. Sardinata	26.7	36.3	0.24	22.0	0.25	0.1	2.9

^{1/} Información suministrada por el Dr. L.A. León, Proyecto Fósforo-Ciat.

TABLA 4. Gramos de cada fuente de P adicionados a materas con 2 Kg. de suelo

Fuente de P	Gramos/matera		
	25	50 Kg P ₂ O ₅ / Ha.	100
RFP	0.1225	0.2450	0.4901
RFH	0.1201	0.2403	0.4807
RFS	0.0936	0.1872	0.3745
ETh	0.1785	0.3571	0.7142
SFT	0.0543	0.1086	0.2173

TABLA 5. Gramos por Litro de H₂O de cada uno de los compuestos utilizados como fuentes de N, K, y Mg.

Elemento	Fuente	Grs/lit. H ₂ O	Cantidad aplicada ml/matera
N	NH ₄ NO ₃	4.28	10.0
K	K ₂ SO ₄	4.62	10.0
Mg	MgSO ₄	8.18	10.0

a las de los Llanos Orientales de Colombia (7,24,66,136,140).

3.1.3. Fuentes de Fósforo

Las fuentes de P utilizadas fueron Superfosfato triple, Escorias Thomas (Calfos), y tres Rocas Fosfóricas Colombianas procedentes de los depósitos de Pesca (Boyacá), Tesalia (Huila) y Sardinata (Norte de Santander). Características tales como contenido de P y solubilidad de cada una de las fuentes aparecen en la Tabla 2. Otras características relacionadas con la composición química de las rocas mencionadas pueden verse en la Tabla 3.

Las muestras de Roca fosfórica fueron obtenidas del Programa de Fósforo del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Palmira, Colombia. El Superfosfato triple y las Escorias Thomas (Calfos) corresponden a productos comerciales, el primero importado y el segundo producido por Acerías Paz de Río, Boyacá, Colombia.

3.1.3.1. Niveles de Fósforo

Los niveles empleados en términos de kilogramos de P_2O_5 por hectárea fueron 25, 50, y 100. Sus equivalentes en gramos, de cada fuente de P adicionados por materia, se muestran en la Tabla 4.

3.1.4. Fuente de Inóculo

El hongo micorrizal (micobionte) utilizado fue Thelephora terrestris (Ehrh)Fr. , perteneciente a la Familia Thelephoraceae, Orden Ascomycotales, Clase Basidiomycetes; cuyos cuerpos fructíferos (esporocarpos o esporóforos) fueron recolectados en la Finca El Amparo, en Puerto Gaitán, Meta, Colombia, propiedad de la Compañía Pizano Ltda. Los esporocarpos limpios de partículas de tierra fueron colocados den-



Figura 1. Esporocarpos de *Telephora terrestris*
(Ehrh)Fr.

tro de frascos de vidrio y herméticamente cerrados, almacenándose luego a baja temperatura durante dos meses y medio antes de ser utilizados.

La identificación de éste hongo en el campo no presenta mayores dificultades. Entre sus características morfológicas externas sobresalientes están su píleo o sombrero en forma de embudo de 1 a 5 cm. de diámetro y de un color café rojizo achocolatado con tonos violáceos (40). Ver Figura 1.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Caracterización del Suelo

La Tabla 1, muestra algunas de las características físico-químicas del suelo utilizado, las cuales fueron determinadas por los métodos corrientes utilizados en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá" (55). La determinación de la Capacidad de Fijación de P se realizó por el método de Passbender (28), pero utilizando 5 gr. de suelo en lugar de 0.5 gr. El P en el filtrado se determinó por el método del azul cloromolibdico (39).

Los resultados del análisis dejan ver que dicho suelo posee un bajo nivel de fertilidad; contenidos bajos de P,N,K, y muy bajos de Ca y Mg; Capacidad de Intercambio Catiónica muy baja; pH muy ácido; saturación de Aluminio alta y, Capacidad de Fijación de P muy alta.

3.2.2. Preparación y Esterilización del Suelo

El suelo molido y cernido fue colocado en cantidad de 2 kilogramos por materia, adicionándosele luego las respectivas fuentes de P.

Cada matera fue adicionada además con N, K, y Mg, a razón de 45 Kg N/Ha, 75 Kg K₂O/Ha y 40 Kg MgO/Ha. Sus equivalentes en gramos /materia aparecen en la Tabla 5.

Cada una de las fuentes de P en forma sólida fue mezclada en los 10 cm. superiores del suelo. Los demás nutrientes se aplicaron en solución. Finalmente las materas se llevaron al autoclave donde se esterilizaron por 3 horas a 135°C y 20 libras de presión.

3.2.3. Siembra

3.2.3.1. Desinfección de Semillas

Las semillas fueron desinfectadas superficialmente por inmersión en una solución de HgCl₂ 1:1000, durante 2 minutos, luego de lo cual se enjuagaron 3 veces consecutivas en agua destilada esterilizada.

3.2.3.2. Germinación Aséptica

Las semillas se hicieron germinar en condiciones asépticas en un germinador marca Conviron, a una temperatura de 28°C, y una humedad relativa del 86 por ciento. Se utilizó como sustrato una mezcla de arena lavada y arena cuarcítica en proporción 1:1 previamente esterilizada en autoclave. Como recipientes se utilizaron bandejas plásticas de 25 x 17 x 3 cm.

3.2.3.3. Transplante

El transplante a las materas conteniendo el suelo se realizó 14 días después de la siembra, para lo cual las plántulas fueron extraídas y limpiadas sus raíces de partículas de arena mediante lavados sucesivos en agua destilada esterilizada. Finalmente se transplantó

una planta por matera.

Las plantas crecieron durante 7 meses en el invernadero siendo regadas manualmente con agua de grifo del Acueducto de Bogotá, a razón de 100 ml/matera cada segundo día. La temperatura promedio en el invernadero, fue a todo lo largo del experimento de 21-22°C aproximadamente.

3.2.4. Inoculación

3.2.4.1. Preparación del Inóculo

Como fuente de inóculo se preparó una solución de esporas disolviendo esporocarpos de Thelephora terrestris en 2 y medio litros de agua destilada esterilizada. Fue necesario utilizar una licuadora debido a la consistencia acartonada del hongo.

3.2.4.2. Proceso de Inoculación

La inoculación se realizó 30 días después del transplante, para lo cual la mitad del total de materas conteniendo las plántulas de P. caribaea var. hondurensis fueron regadas cuidadosamente con 50 ml/matera de la solución preparada. La totalidad de materas, incluidas las no inoculadas, fueron cubiertas con una capa de arena cuarcítica esterilizada de 1 cm. de espesor aproximadamente.

3.2.5. Diseño Experimental

El Diseño Experimental utilizado fue Bloques Completos al Azar con 32 tratamientos, resultantes de la combinación de 5 fuentes de P, 3 niveles de P, 2 hongo y 2 testigos. El número de replicaciones fue de 3. La Tabla 6, muestra los tratamientos realizados.

TABIA 6. Tratamientos utilizados en la investigación.

Tratamiento	Fuente de P	Nivel Kg P_2O_5 / Ha	Con inóculo (+) Sin inóculo (-)
1	-	0	-
2	-	0	+
3	RFP	25	+
4	RFP	25	-
5	RFP	50	+
6	RFP	50	-
7	RFP	100	+
8	RFP	100	-
9	RFH	25	+
10	RFH	25	-
11	RFH	50	+
12	RFH	50	-
13	RFH	100	+
14	RFH	100	-
15	RFS	25	+
16	RFS	25	-
17	RFS	50	+
18	RFS	50	-
19	RFS	100	+
20	RFS	100	-
21	ETH	25	+
22	ETH	25	-
23	ETH	50	+
24	ETH	50	-
25	ETH	100	+
26	ETH	100	-

Continuación.

Tratamiento	Fuente de P	Nivel Kg P_2O_5 / Ha	Con inóculo (+) Sin inóculo (-)
27	SFT	25	+
28	SFT	25	-
29	SFT	50	+
30	SFT	50	-
31	SFT	100	+
32	SFT	100	-

3.2.6. Criterios de Evaluación

El efecto de tratamientos sobre cada una de las plantas fue evaluado a los 7 meses mediante determinaciones de altura, diámetro, porcentaje de infección micorrizal (presencia de micorriza) en raíces, peso fresco total y de raíces, peso seco total; concentración de P, N, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, y Zn en acículas; concentración de P en raíces; análisis anatómico de raíces micorrizadas. También se determinó el P-asequible en el suelo para cada uno de los tratamientos. Los resultados obtenidos se sometieron a análisis estadístico.

3.2.6.1. Determinación de Altura y Diámetro

La altura de cada planta se midió en centímetros desde el cuello de la raíz hasta el ápice caular, utilizando para ello una regla graduada.

El diámetro se tomó a 1 cm. por encima del cuello de la raíz mediante un calibre en acero inoxidable marca Meba. La unidad de medida utilizada fue el milímetro. Los datos fueron luego transformados a centímetros.

3.2.6.2. Determinación del Grado de Infección

Las plántulas fueron extraídas cuidadosamente de cada maceta a fin de conservar lo más intacto posible el sistema radicular. El grado de infección micorrizal o porcentaje de infección micorrizal fue determinado visualmente, calculando del total el porcentaje de raíces cortas transformadas en micorriza (46).

3.2.6.3. Determinación de Peso Fresco y Peso Seco

El Peso fresco o materia verde total y peso fresco de raíces fue determinado utilizando una balanza de precisión y su valor expresado en gramos/planta.

Para determinar el Peso seco o materia seca total se colocó el material vegetal en bolsas de papel y se llevó a la estufa a 50°C. por 72 horas. Los respectivos pesos secos en gramos se determinaron en una balanza de precisión.

3.2.6.4. Determinación de la Concentración de Nutrientes en Acículas

3.2.6.4.1. Análisis Foliar

En la determinación de P, N, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, y Zn foliar se siguieron los métodos para Análisis de Tejido Vegetal utilizados en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá", de acuerdo a las técnicas recomendadas por Hunter (53). El procedimiento utilizado fue el de Incineración Húmeda del mencionado autor, pero utilizando tan solo 0.15 gr. de muestra vegetal seca y molida en lugar de 0.5 gr.

El P y N fueron determinados colorimétricamente en un fotocolorímetro Spectronic 20. Las concentraciones de P y N en el extracto se determinaron gráficamente, en una curva patrón existente en el Laboratorio para el caso del P, y en una curva patrón elaborada con tal propósito para N. El P y N se expresaron en porcentaje.

Los elementos K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, y Zn se determinaron por lectura directa en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer 603, previa calibración del mismo. Las concentraciones de K, Ca, y Mg se expresaron en porcentaje. Las de Mn, Fe, Cu, y Zn en ppm.

3.2.6.5. Determinación de la Concentración de P en raíces.

Para el análisis de la concentración de P en raíces se siguió el mismo procedimiento utilizado en la determinación de P foliar, pero utilizando 0.2 gr. de muestra.

El análisis de contenido de P en raíces se hizo mezclando las 3 réplicas de cada tratamiento debido a la baja cantidad de materia seca de raíces producida por planta. Por ésta razón los datos de concentración de P en raíces no fueron sometidos a análisis estadístico. Las concentraciones promedio de P para cada uno de los tratamientos aparece en la Tabla 21.

3.2.6.6. Determinación de P-aprovechable en el Suelo

El P-aprovechable en cada una de las materas fue extraído por el método Bray II y el P determinado colorimétricamente por el método de Fogg et al (32) modificado por Murphy et al (93) y posteriormente por John (59), siendo éste el método actualmente utilizado en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá" (55). Las lecturas se hicieron en un fotocolorímetro Spectronic 20 a un $\lambda = 882 \text{ m}\mu$. Los porcentajes de transmisión fueron llevados a porcentajes de absorbancia, y éstos a su vez, a una curva patrón previamente elaborada en el Laboratorio para determinar la concentración en ppm de P-aprovechable.

3.2.6.7. Histología de Raíces Micorrizadas

Con el objeto de corroborar la efectividad de la inoculación y por consiguiente la presencia de estructuras micológicas sobre las raíces infectadas, porciones representativas de micorriza fueron fijadas en una solución de Formalina-Acido acético-Alcohol FAA para su posterior estudio anatómico.

3.2.6.7.1. Preparación del FAA

La fórmula corriente para preparar el FAA (106) fue modificada en cuanto a la concentración del Alcohol etílico, utilizándose del 96 por ciento en lugar de 50-70 por ciento. Este FAA modificado fija muy bien las estructuras micorrizales (100, 101).

Acido acético glacial	1.5 ml
Formaldehído 40 %	8.5 ml
Alcohol etílico 96 %	90.0 ml

3.2.6.7.2. Proceso de Disección de Raíces

Segmentos de raíces micorrizadas de 2-3 mm de longitud previamente fijados fueron incluidos en parafina de 57-60°C, y cortadas transversalmente en un microtomo manual Leitz 1520 a 4 y 8 μ . La coloración utilizada para diferenciar las estructuras micológicas fue Cotton-blue en lactofenol 0.05 por ciento (100).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. INCREMENTO EN ALTURA

El efecto de la inoculación micorrizal y la fertilización con P a partir de las diversas fuentes y niveles utilizados, sobre el crecimiento en altura puede observarse en la Tabla 7. Las plantas micorrizadas fueron en todos los casos, a excepción del tratamiento con 50 Kg P_2O_5 /Ha a partir de superfosfato triple, superiores en altura a las no micorrizadas.

Si se comparan los crecimientos en altura entre el testigo no micorrizado y adicionado con P, y el mejor tratamiento inoculado más P, se tiene que la altura de éste fue 2 veces la del testigo. Puede observarse también que la respuesta en altura de las plantas micorrizadas a fuentes de alta y baja solubilidad de P es diferente, siendo mejor con éstas últimas; lo cual pone en evidencia la incompatibilidad existente entre los hongos micorrizales y las fuentes y niveles altos de P soluble adicionados al suelo.

El efecto de la micorriza sobre el crecimiento en altura de las plantas adicionadas con 25 Kg P_2O_5 /Ha a partir de superfosfato triple fue sustituido posiblemente en parte por el P soluble adicionado; lo cual se deduce de la observación del sistema radicular de las plantas en el cual tan solo la mitad de las raíces cortas secundarias estaban transformadas en micorriza (ver Tabla 20). Lo anterior permite pensar que en la respuesta de crecimiento una buena parte del P absorbido

TABLA 7. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre el crecimiento en altura de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	ALTURA ^{1/} cm.	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	9.7 g ^{2/}	20.0 ab
	50	11.0 efg	15.9 bcde
	100	9.5 g	17.5 abcd
RFH	25	10.7 fg	13.7 defg
	50	10.9 fg	11.2 efg
	100	9.7 g	22.0 a
RFS	25	11.9 efg	18.7 abc
	50	10.9 fg	11.9 efg
	100	9.0 g	15.0 cdef
ETh	25	10.5 fg	17.0 bcd
	50	11.0 efg	19.0 abc
	100	12.0 efg	20.2 ab
SFT	25	10.9 fg	19.0 abc
	50	11.7 efg	11.0 efg
	100	11.5 efg	13.0 defg
TESTIGO	0	10.3 fg	11.3 efg

^{1/} Tomada desde el cuello de la raíz hasta el ápice. Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

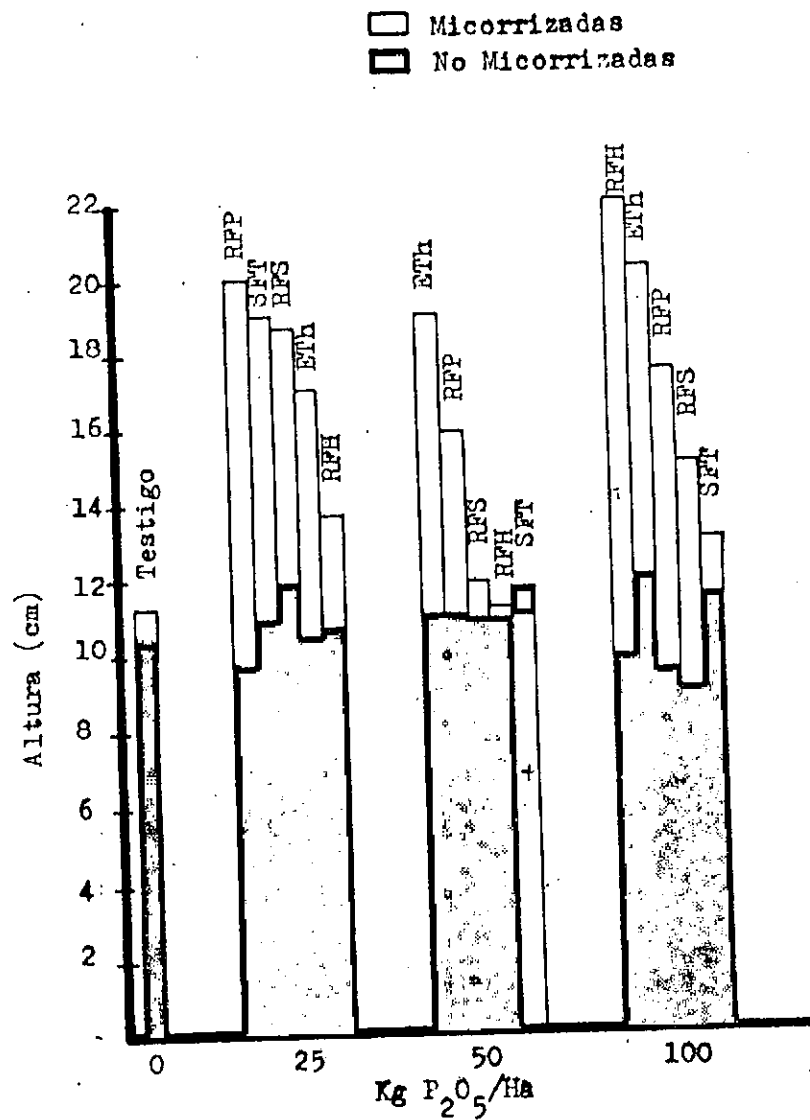


Figura 2. Incremento en altura de plántulas de *P. caribaea* var. *hondurensis* inoculadas y fertilizadas con fósforo.

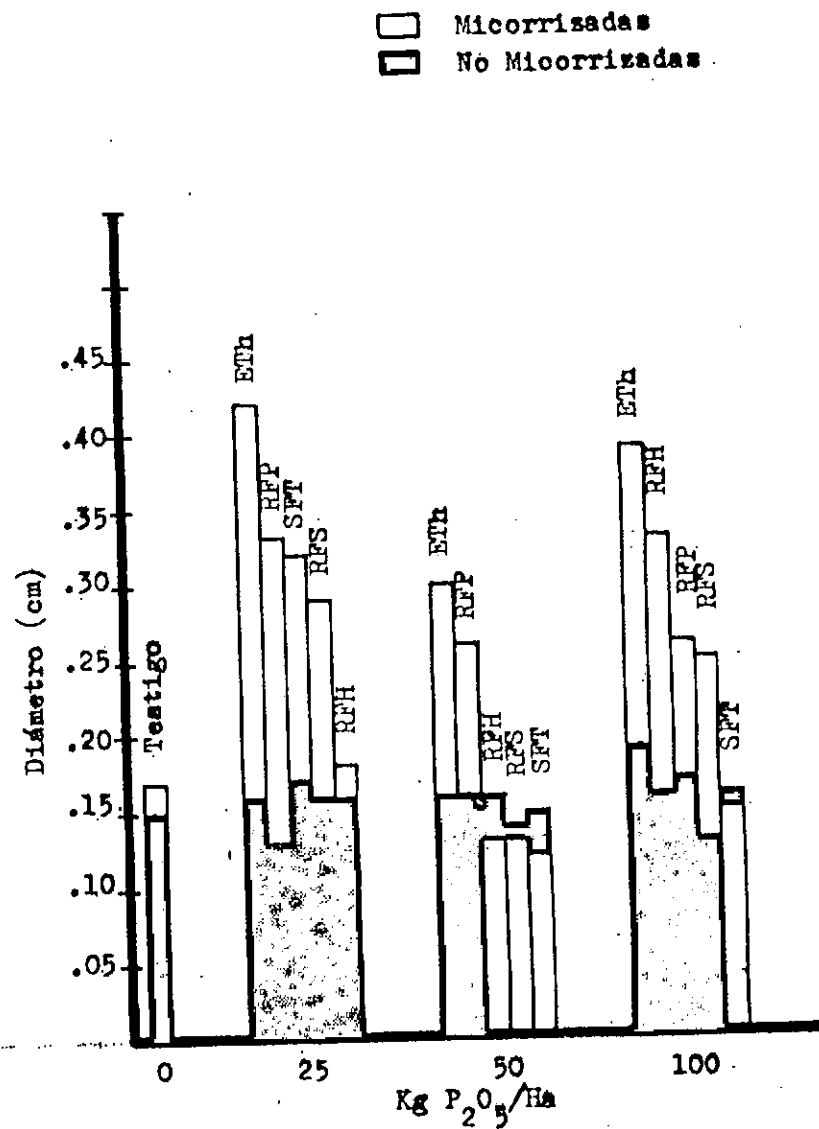


Figura 4. Incremento en diámetro de plántulas de *P. caribaea* var. *hondurensis* inoculadas y fertilizadas con fósforo.

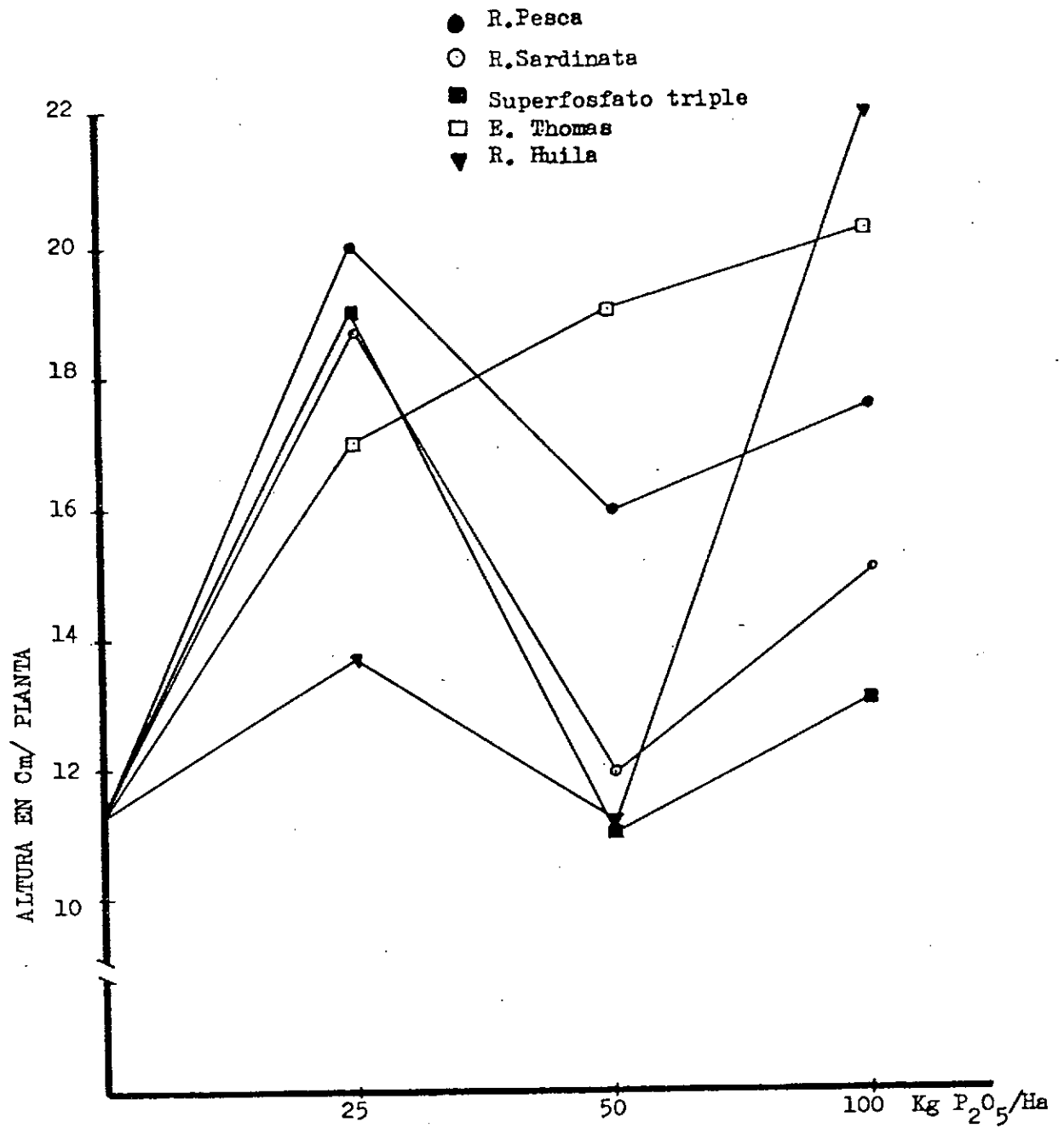


Figura 3. Comportamiento de cinco fuentes de P respecto al crecimiento en Altura de plántulas de P. caribaea var hondurensis inoculadas con T. terrestris.

lo fue vía raíces normales (no micorrizadas) siendo el restante absorbido por las raíces micorrizadas.

La mejor respuesta de crecimiento en altura de las plantas micorrizadas se obtuvo con la adición de 100 Kg P_2O_5 /Ha a partir de Roca de Huila, seguida por Escorias Thomas (Calfos) y Roca de Pesca a los niveles de 100 y 25 Kg P_2O_5 /Ha respectivamente. Los más bajos incrementos en altura se obtuvieron con la aplicación de Superfosfato triple a los niveles de 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha (Figura 2).

En términos generales la fuente de mejor comportamiento respecto a incremento en altura de plantas micorrizadas fue Escorias Thomas (Calfos), seguida de Roca de Pesca. La peor fue Superfosfato triple (Figura 3).

La fuerte correlación existente entre altura y porcentaje de raíces infectadas con micorriza ($r= 0.822^{**}$) demuestra la importancia que la micorriza tiene para el crecimiento en altura de ésta confiera en suelos de baja fertilidad. La presencia de raíces micorrizadas o porcentaje de infección micorrizal dio cuenta del 67.6 por ciento de la variación en el crecimiento en altura; mientras que P-approve - chable en el suelo, P-foliar, nivel de P y porcentaje de infección micorrizal en su conjunto explicaron el 74.5 por ciento de la variación (Anexos 2 y 3).

Otras variables correlacionadas positivamente con el crecimiento en altura fueron N, Fe, Cu y Zn foliar (Anexo 1).

4.2. INCREMENTO EN DIAMETRO

El diámetro de las plántulas al igual que la altura, fue incrementado significativamente como consecuencia de la micorrización y

la fertilización con P. La Tabla 8, muestra el crecimiento en diámetro de plantas micorrizadas y no micorrizadas adicionadas con diferentes fuentes y niveles de P. Como puede observarse en la Figura 4, los diámetros de plantas micorrizadas fueron siempre mayores que los de no micorrizadas con la única excepción de los tratamientos con Rocas de Huila Y Sardinata al nivel de 50 Kg P_2O_5 /Ha y de Superfosfato triple 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha ; en los que las plantas no micorrizadas crecieron mejor en diámetro que las micorrizadas.

La mayor respuesta en incremento en diámetro de plantas micorrizadas se obtuvo con Escorias Thomas (Calfos) a los niveles de 25 y 100 Kg P_2O_5 /Ha, seguida por Roca de Pesca y Huila a los niveles de 25 y 100 Kg P_2O_5 /Ha respectivamente.

En general la fuente que dio la mejor respuesta en incremento en diámetro de plantas micorrizadas fue Escorias Thomas (Calfos), seguida por Roca de Pesca. La de peor comportamiento fue Superfosfato triple seguida por las Rocas de Huila y Sardinata (Figura 5).

Correlación positiva y altamente significativa se presentó entre diámetro y porcentaje de infección micorrizal ($r=0.832^{**}$). Otras variables correlacionadas positivamente fueron P, N, Fe, y Zn foliar; y P-aprovechable en el suelo (Anexo 1).

Según el análisis de regresión efectuado para explicar el grado de dependencia entre las variables diámetro y porcentaje de infección, el 69.2 por ciento de la variación del crecimiento en diámetro de las plántulas fue explicado por el porcentaje de infección micorrizal; las variables P, N, foliar y porcentaje de infección explicaron tan solo el 75.3 por ciento de tal variación (Anexos 4 y 5).

TABLA 8. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre el crecimiento en diámetro de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha	DIAMETRO ^{1/} cm	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	0.13 f ^{2/}	0.33 bc
	50	0.16 ef	0.26 cd
	100	0.17 def	0.26 cd
RFH	25	0.16 ef	0.18 def
	50	0.16 ef	0.13 f
	100	0.16 ef	0.33 bc
RFS	25	0.16 def	0.29 c
	50	0.14 f	0.13 f
	100	0.13 f	0.25 cde
ETh	25	0.16 ef	0.42 a
	50	0.16 ef	0.30 bc
	100	0.19 def	0.39 ab
SFT	25	0.17 def	0.32 bc
	50	0.15 ef	0.12 f
	100	0.16 def	0.15 ef
TESTIGO	0	0.15 ef	0.17 def

^{1/} Tomado a 1 cm. del cuello de la raíz. Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

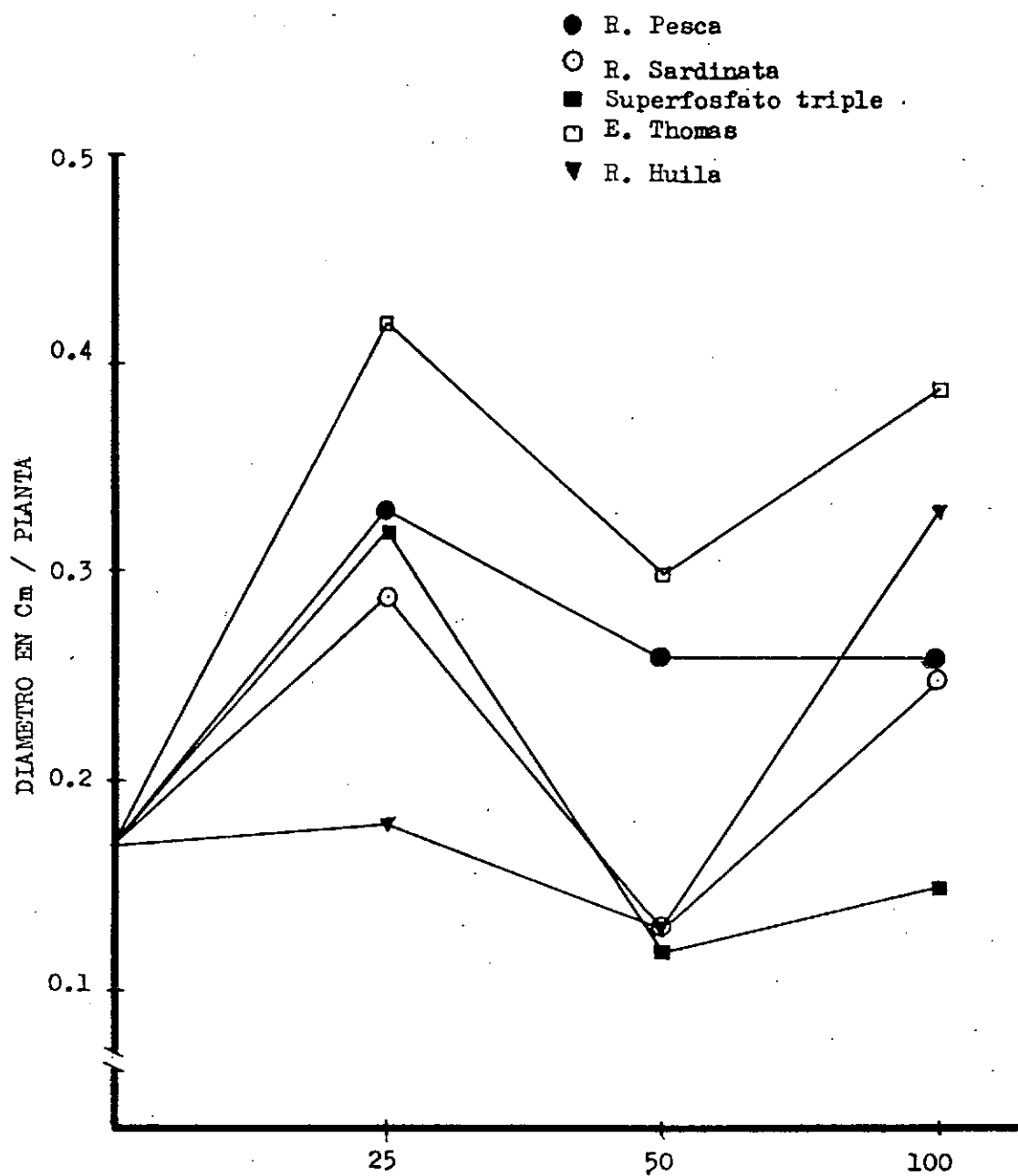


Figura 5. Comportamiento de cinco fuentes de P respecto al crecimiento en Diámetro de plántulas de P. caribaea var hondurensis inoculadas con T. terrestris.

4.3. PRODUCCION DE MATERIA VERDE Y MATERIA SECA TOTAL

4.3.1. Producción de Materia verde

La producción de materia verde por plántulas micorrizadas y fertilizadas con P fue más del doble que en las no micorrizadas, llegando en algunos casos a ser hasta cuatro y media veces mayor. La diferencia en producción de materia verde entre el testigo no micorrizado y no fertilizado con P, y el mejor de los tratamientos micorrizados más P fue de once y media veces en peso (Figura 6).

La fuente de P que dio la mejor respuesta en producción de materia verde de plántulas micorrizadas fue Escorias Thomas (Calfos) al nivel de 100 Kg P_2O_5 /Ha siguiendole el nivel de 25 Kg P_2O_5 /Ha, aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa al nivel del 5 por ciento entre las dos respuestas. La segunda mejor fuente fue Roca de Pesca al nivel de 25 Kg P_2O_5 /Ha. Superfosfato triple a los niveles 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha y Roca de Huila al nivel de 50 Kg P_2O_5 /Ha dieron los más bajos rendimientos en materia verde (Figura 7).

La Tabla 9, muestra la producción de materia verde total y de raíces de plantas micorrizadas y no micorrizadas. Nótese que en las plantas micorrizadas aunque Escorias Thomas (Calfos) dio los mayores rendimientos en materia verde total, la Roca de Pesca fue la que favoreció un mayor desarrollo radicular.

Las variables más altamente correlacionadas con la producción de materia verde total fueron en su orden porcentaje de infección micorrizal, P, Fe, N y Zn foliar y P-provechable en el suelo (Anexo 1).

La mayor producción de materia verde por plantas micorrizadas

TABLA 9. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la producción de materia verde total y de raíces de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha	MATERIA VERDE (grs.) ^{1/}			
		No Micorrizadas		Micorrizadas	
		Total	Raíces	Total	Raíces
RFP	25	0.92 f ^{2/}	0.50 f	9.50 ab	5.37 a
	50	1.15 f	0.42 f	8.24 abc	5.11 a
	100	0.91 f	0.21 f	4.51 cdef	2.26 abcde
RFH	25	1.23 f	0.52 f	1.82 ef	0.79 f
	50	1.15 f	0.49 f	1.05 f	0.39 f
	100	1.03 f	0.44 f	8.11 abc	3.32 abcd
RFS	25	1.64 ef	0.75 f	6.78 bcd	3.24 abcde
	50	1.32 f	0.65 f	0.68 f	0.20 f
	100	0.91 f	0.41 f	4.04 cdef	1.47 cdef
ETH	25	1.96 ef	1.03 edf	10.52 ab	4.21 ab
	50	0.97 f	0.22 f	7.02 bc	1.87 cdef
	100	2.20 ef	0.87 ef	11.65 a	3.44 abc
SFT	25	0.88 f	0.17 f	6.09 bcde	1.59 cdef
	50	1.17 f	0.34 f	0.48 f	0.04 f
	100	2.51 def	1.07 cdef	1.03 f	0.21 f
TESTIGO	0	0.66 f	0.22 f	0.99 f	0.44 f

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

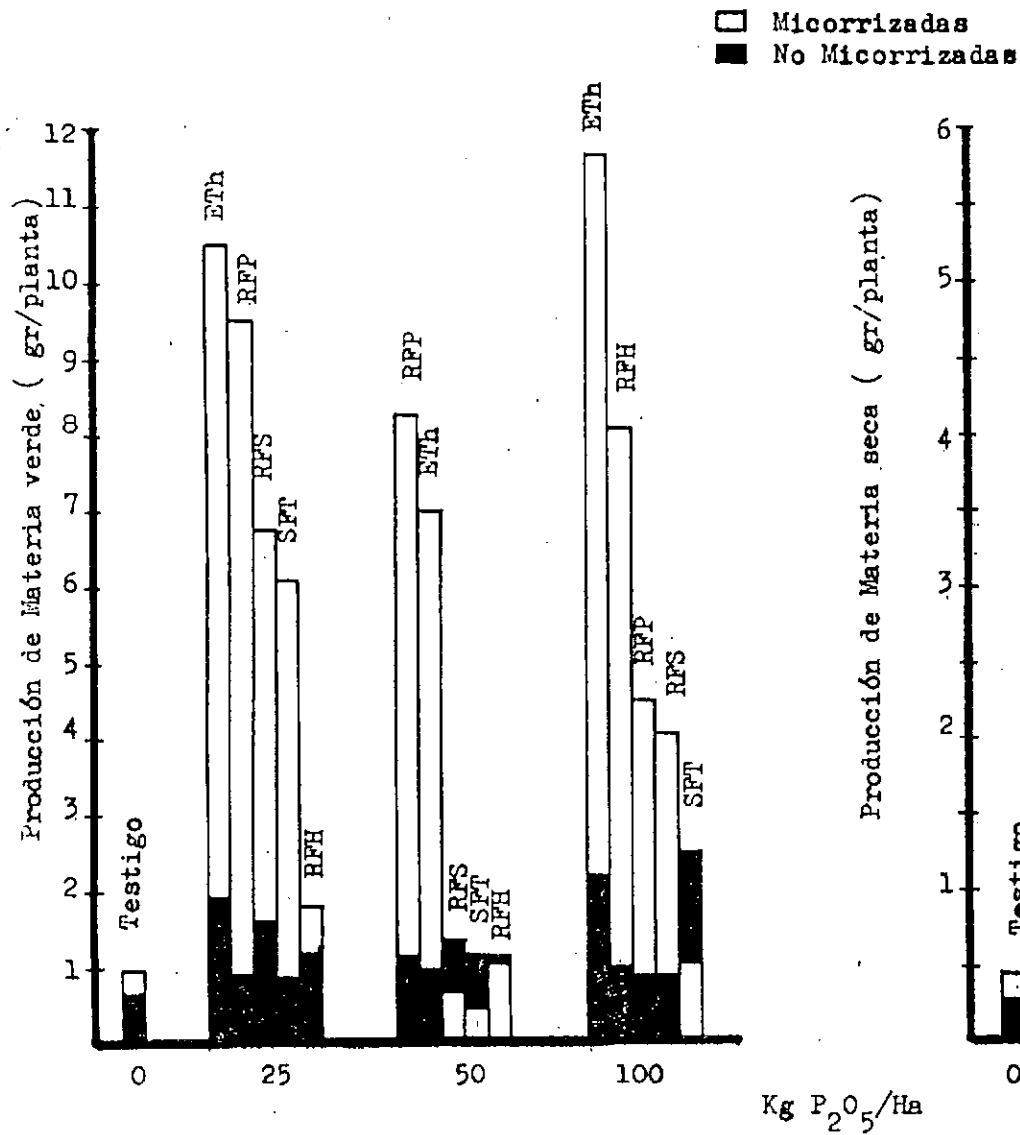


Figura 6. Producción de materia verde en plántulas de *P. caribaea* var *hondurensis* Barr et Golf inoculadas y fertilizadas con P.

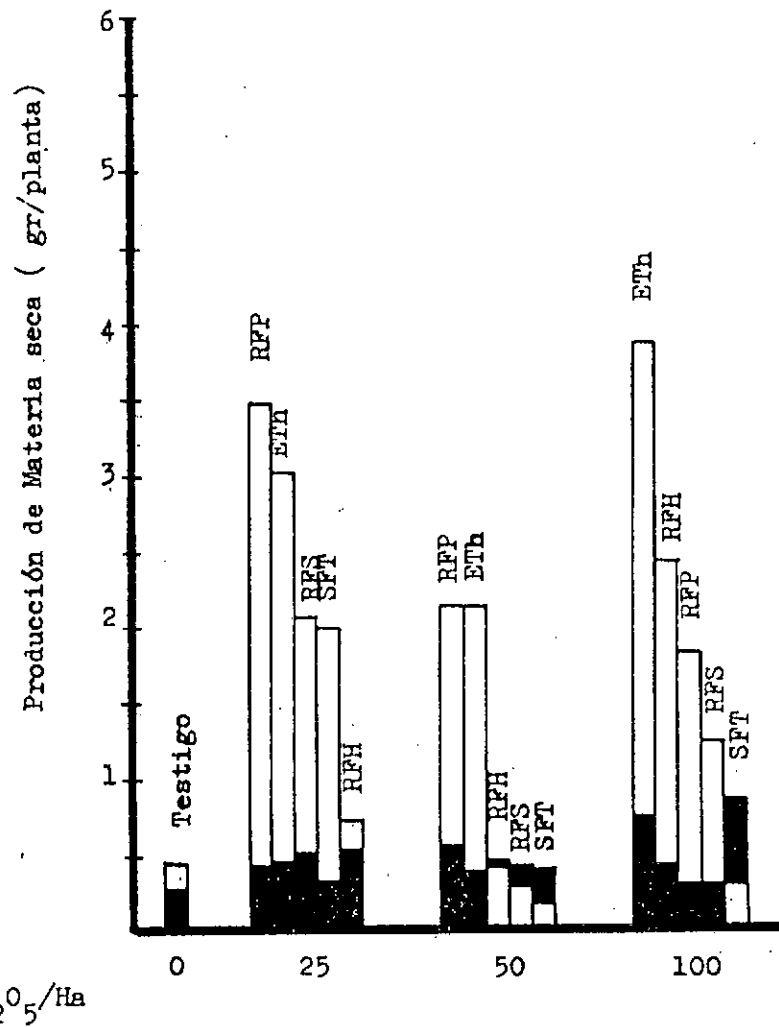


Figura 8. Producción de materia seca en plántulas de *P. caribaea* var *hondurensis* Barr et Golf inoculadas y fertilizadas con P.

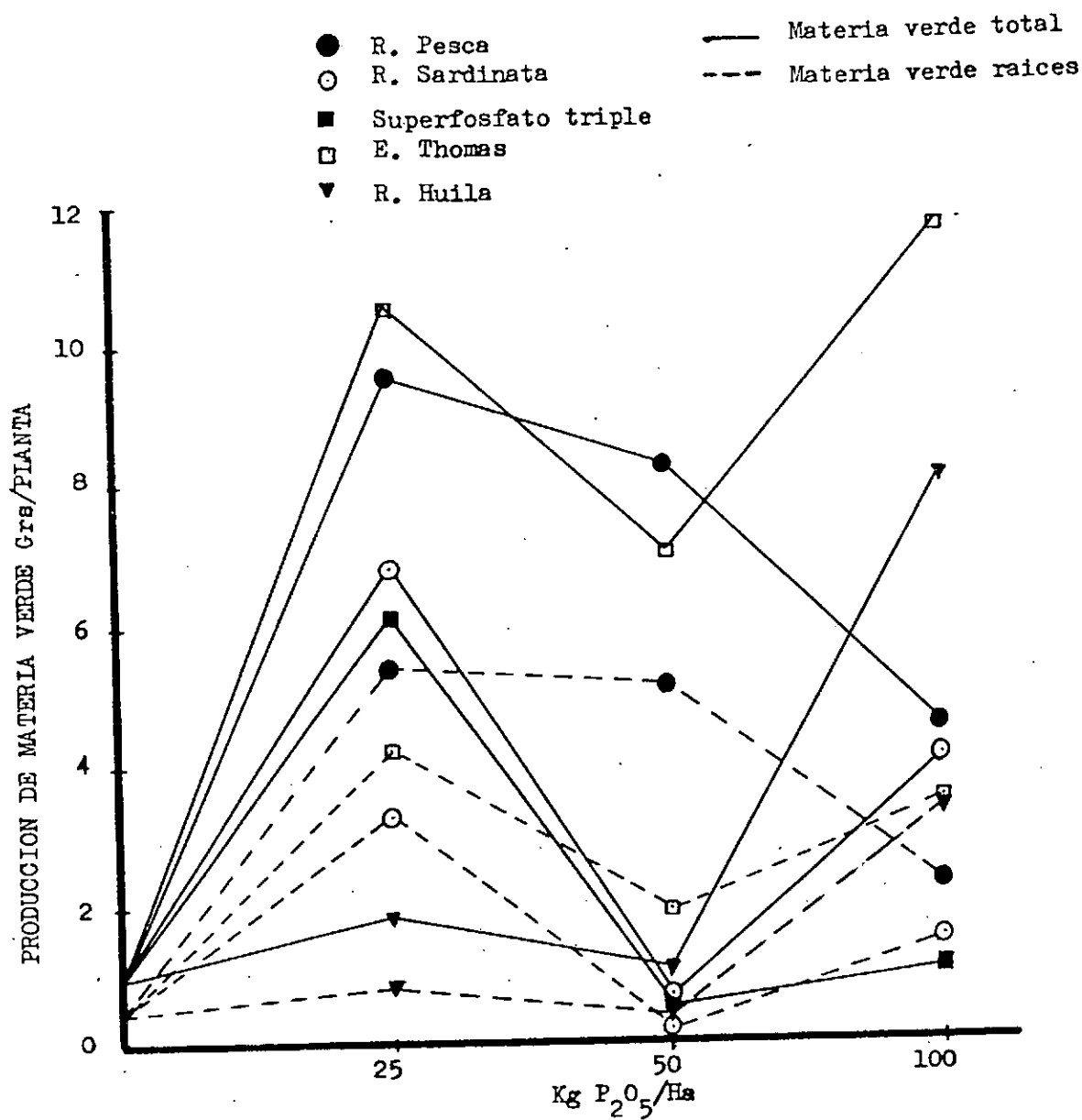


Figura 7. Comportamiento de cinco fuentes de P respecto a la producción de materia verde en plántulas de *P. caribaea* var *hondurensis* inoculadas con *T. terrestris*.

demuestra la eficiencia de la micorriza para absorber agua y nutrientes del suelo, por incremento de la superficie de absorción de las raíces de sus hospederos; aspecto que reviste gran significación para el crecimiento de las plantas bajo condiciones oligotróficas como las predominantes en la mayor parte de los suelos tropicales.

4.3.2. Producción de Materia seca

La producción de materia seca total fue mayor en plantas micorrizadas que en no micorrizadas; llegando a ser hasta diez veces superior. Como se puede observar en la Figura 8, el mejor rendimiento en materia seca se obtuvo con la adición de 100 Kg P_2O_5 /Ha a partir de Escorias Thomas (Calfos) seguida de Roca de Pesca al nivel de 25 Kg P_2O_5 /Ha; no existió sin embargo diferencia estadística significativamente al nivel del 5 por ciento entre los dos tratamientos. Los más bajos rendimientos se obtuvieron con Superfosfato triple 50 y 100 y Roca de Huila 25 Kg P_2O_5 /Ha respectivamente. En la Tabla 10, aparecen los rendimientos en materia seca de cada uno de los tratamientos.

El hecho de que plantas no micorrizadas hayan dado rendimientos mayores que las micorrizadas cuando se fertilizaron con Superfosfato triple a los niveles de 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha, puede ser explicado por posibles disturbios fisiológicos causados en estas durante el fallido proceso de infección de sus raíces por el hongo, ante la presencia de altas concentraciones de P soluble en el suelo; disturbios que afectaron la producción de biomasa.

Las variables más altamente correlacionadas con el rendimiento en materia seca fueron porcentaje de infección, P, N, Fe, y Zn foliar y P-aprovechable en el suelo. Otras variables también correlacionadas pueden verse en el Anexo 1. El porcentaje de infección explicó el 69.2 por ciento de la variación del rendimiento en materia seca (Anexo 6).

TABLA 10. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la producción de materia seca total de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	MATERIA SECA TOTAL (grs.) ^{1/}	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	0.43 gh ^{2/}	3.49 ab
	50	0.57 gh	2.15 cde
	100	0.33 h	1.83 cdefg
RFH	25	0.55 gh	0.74 fgh
	50	0.47 gh	0.44 gh
	100	0.43 gh	2.45 bcd
RFS	25	0.56 gh	2.16 cde
	50	0.45 gh	0.31 h
	100	0.32 h	1.25 defgh
ETh	25	0.47 gh	3.02 abc
	50	0.40 h	2.15 cde
	100	0.76 fgh	3.89 a
SFT	25	0.34 h	2.00 cdef
	50	0.42 gh	0.20 h
	100	0.87 efgh	0.32 h
TESTIGO	0	0.28 h	0.46 gh

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

4.4. GRADO DE INFECCION DE RAICES

El mayor porcentaje de infección con micorriza la presentaron las plántulas inoculadas y fertilizadas con las fuentes de baja solubilidad. Entre éstas las mejores fueron Roca de Pesca y Escorias Thomas (Calfos) seguidas de Roca de Sardinata y Huila. El Superfosfato solo permitió formación de micorriza al nivel de 25 Kg P_2O_5 /Ha, siendo nula la infección a 50 y 100 Kg P_2O_5 (Figuras 9 y 10).

Cuando no se adicionó P a las plantas inoculadas (Testigo absoluto), las raíces de éstas fueron incapaces de formar micorriza; lo cual pone en evidencia que no solo niveles altos, sino también condiciones de extrema deficiencia de P en el suelo, afectan el establecimiento de la simbiosis micorrizal. Una posible explicación de este hecho puede ser la existencia de concentraciones críticas de P en el suelo, por debajo de las cuales ciertos hongos micorrizales, entre ellos Thelephora terrestris, encuentran dificultad para establecerse en simbiosis con las raíces de los árboles. Este aspecto deberá tenerse muy en cuenta al momento de elegir las especies de hongos ectomicorrizales para inoculación en suelos extremadamente deficientes en fósforo.

La Tabla 20, muestra el grado de infección micorrizal de las raíces de las plántulas cuando fueron inoculadas y fertilizadas con fuentes y niveles variables de P. Varias hipótesis han sido planteadas para explicar el efecto negativo de P adicionado en forma soluble sobre la formación o extensión de la infección micorrizal. Entre ellas la más aceptada es la que trata de explicar tal inhibición, por cambios fisiológicos inducidos en las plantas hospederas debido a variación en la concentración de P en sus tejidos y no por efecto directo del P sobre el hongo (57, 110). El cambio fisiológico más importante parece ser el relacionado en la concentración de azúcares sim-

TABLA 20. Efecto de cinco fuentes y tres niveles de P sobre la Micorrización de plántulas de P. caribaea var. hondurensis en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia.

Fuente de P	PORCENTAJE DE INFECCION *		
	25	50	100
	Kg P ₂ O ₅ /Ha.		
RFP	91.6 ab <u>1/</u>	65.0 bcde	96.6 a
RFH	31.6 f	5.0 g	95.0 a
RFS	76.6 abc	4.3 g	58.3 cdef
ETH	85.0 abc	40.0 ef	71.6 abcde
SFT	46.6 def	0.0 g	0.0 g
TESTIGO (sin P) (0.0 g)			

* Expresado como el porcentaje de raíces laterales cortas transformadas en Micorriza.

1/ Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

El porcentaje expresado corresponde al promedio de tres replicaciones.

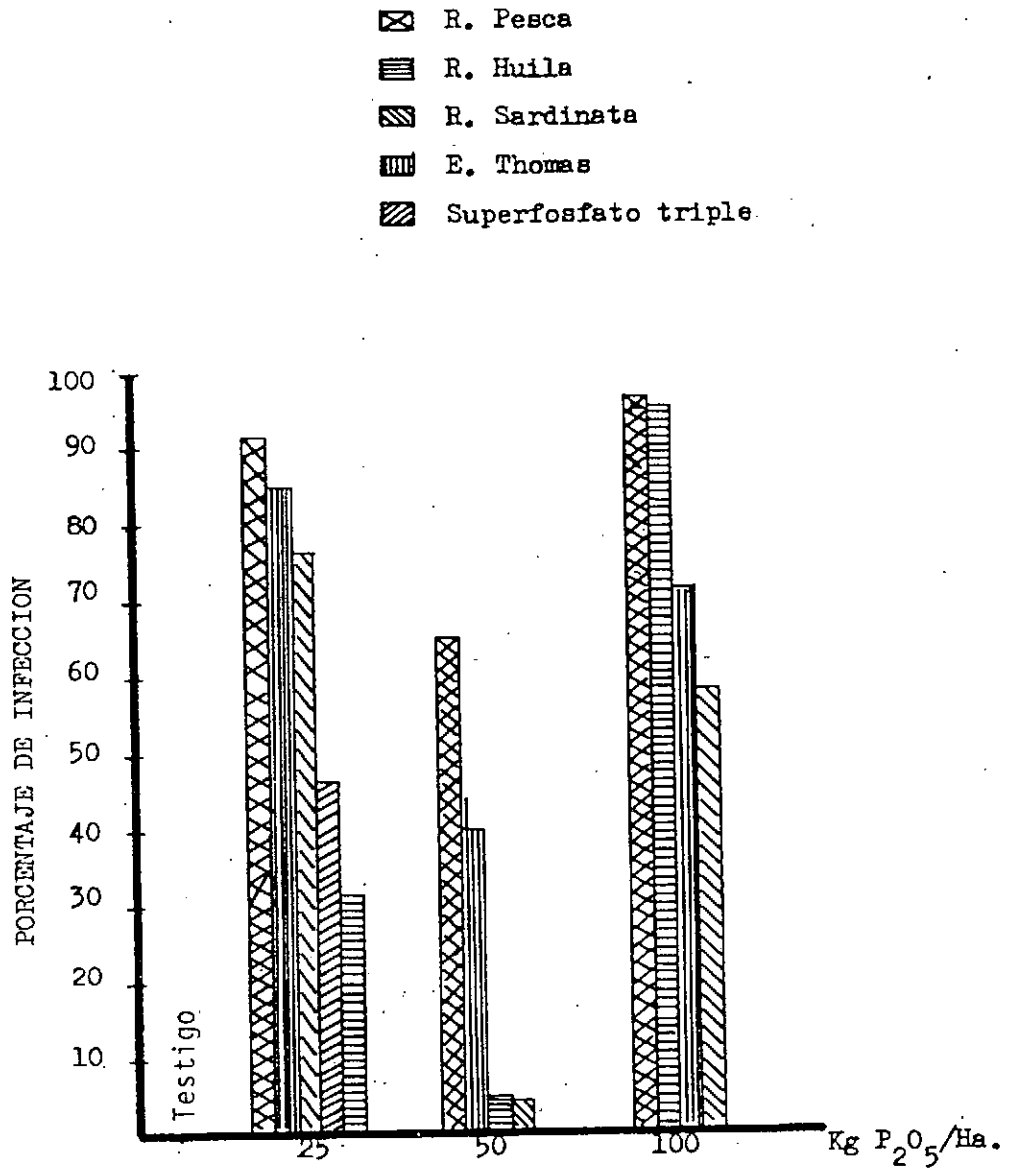


Figura 9. Formación de micorriza en raíces de plántulas de P. caribaea var. hondurensis inoculadas con T. terrestris y fertilizadas con fuentes y dosis variables de P.

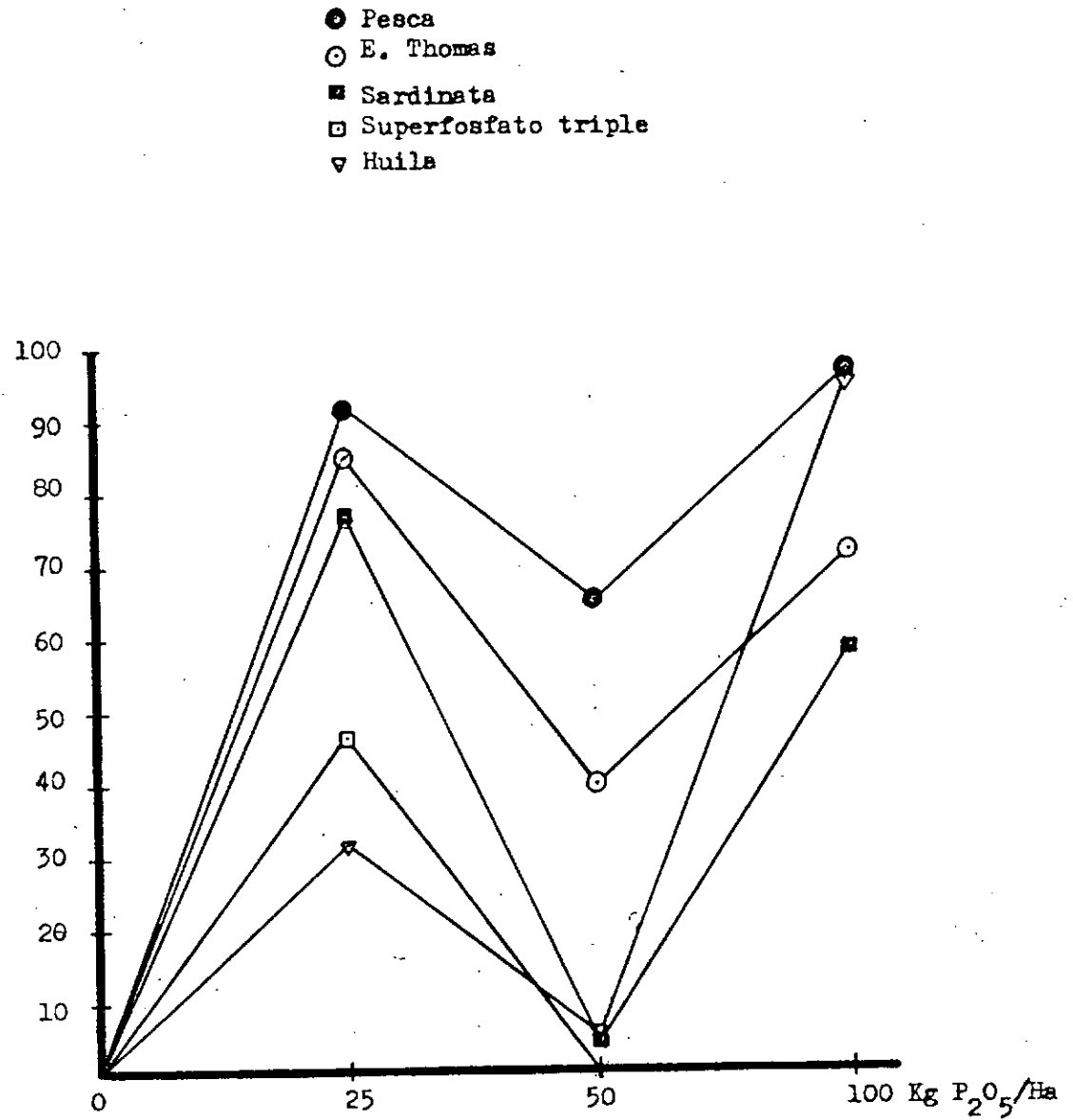


Figura 10. Efecto del fósforo aplicado a partir de cinco fuentes sobre la formación de micorriza en plántulas de *P. caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.

ples en los tejidos de la planta, particularmente en sus raíces, y de los cuales depende el hongo (9, 115). Así, Marx et al (78) establecieron que niveles altos de P y N en el suelo disminuían la susceptibilidad de las raíces cortas de P. taeda para desarrollar ectomicorriza, por decrecimiento de su concentración de sucrosa.

La hipótesis planteada halla confirmación en los resultados obtenidos en la presente investigación. El análisis de correlación realizado muestra que entre el porcentaje de infección y las concentraciones de P y N foliar, se presentó una correlación positiva y altamente significativa (Anexo 7). El P foliar y la fuente de P dieron cuenta del 56.8 por ciento de la variación en formación de micorriza; P y N foliar, hongo y fuente de P dieron cuenta del 60.4 por ciento de la variación, (Anexos 8,9) lo cual evidencia que otros factores complejos y aún desconocidos afectan también la formación de ectomicorrizas.

4.5. ABSORCION DE NUTRIENTES

4.5.1. Absorción de P

Las plantas micorrizadas presentaron mayor concentración de P en acículas que las no micorrizadas, en presencia de todas las fuentes y niveles de P.

Las plantas inoculadas y fertilizadas con Escorias Thomas tuvieron la más alta concentración de P, seguidas de las adicionadas con Superfosfato triple (Figuras 11a y 12a). Este último hecho se puede explicar por lo hipotetizado anteriormente según lo cual la mayor parte del P absorbido por las plantas fertilizadas con SFT lo fue vía raíces normales (no micorrizadas), por inactivación fisiológica parcial o total, de la micorriza en presencia de altos niveles de P

TABLA 11. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de P en acículas de plántulas de P. ca-ribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE P ^{1/} %	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	0.76 ghi ^{2/}	0.82 cde
	50	0.73 ij	0.79 efg
	100	0.75 hij	0.82 cd
RFH	25	0.75 hij	0.79 efg
	50	0.75 hij	0.76 ghi
	100	0.74 hij	0.83 cd
RFS	25	0.75 hij	0.82 cd
	50	0.75 hij	0.80 def
	100	0.75 hij	0.87 ab
ETh	25	0.76 ghi	0.87 ab
	50	0.76 ghi	0.88 a
	100	0.76 ghi	0.84 bc
SFT	25	0.76 ghi	0.87 ab
	50	0.77 fgh	0.78 fgh
	100	0.80 def	0.86 ab
TESTIGO	0	0.74 ij	0.73 j

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

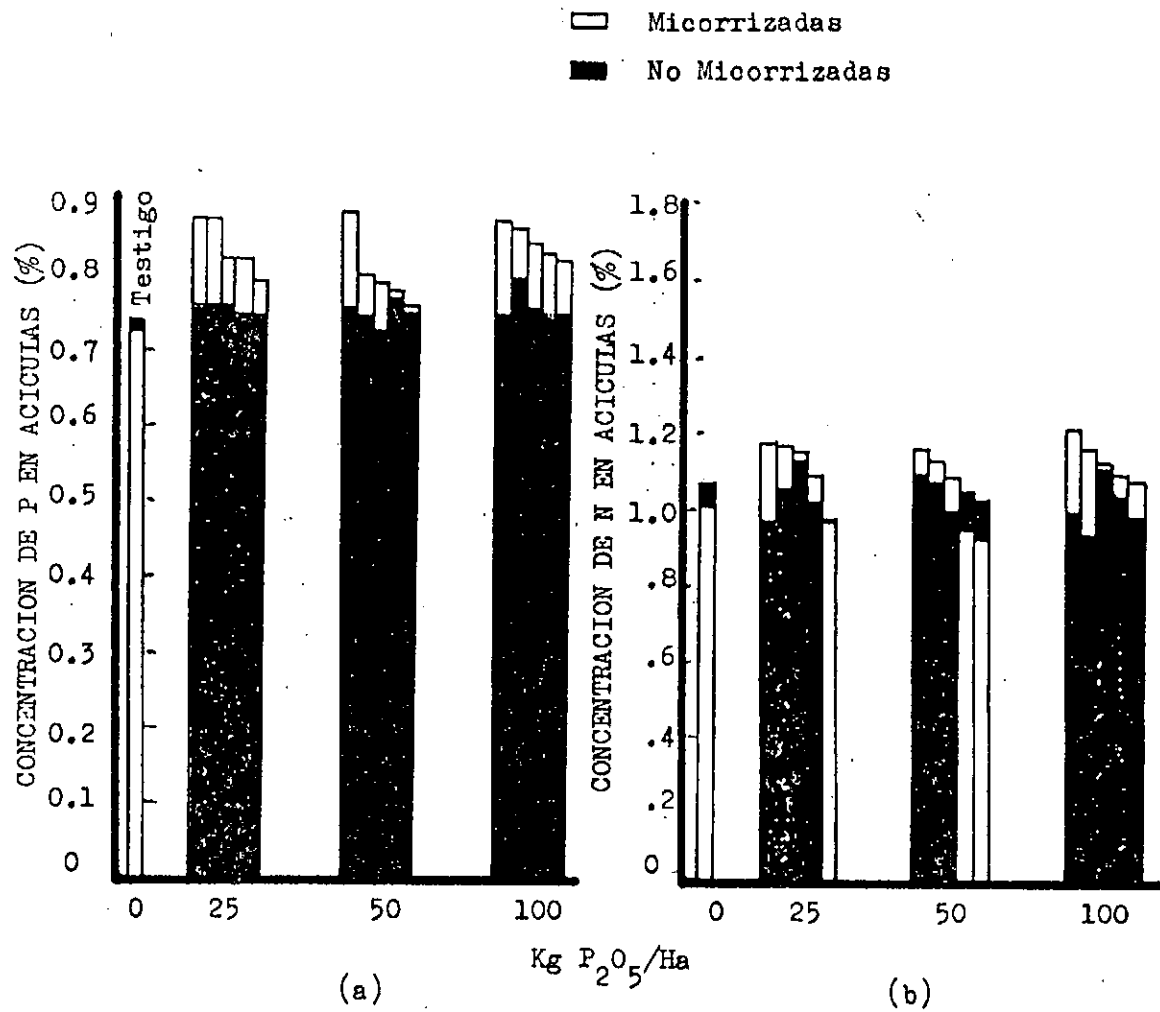


Figura 11. Absorción de P (a) y N (b) por plántulas micorrizadas y no micorrizadas de P. caribaea var hondurensis fertilizadas con fuentes y niveles diferentes de P.

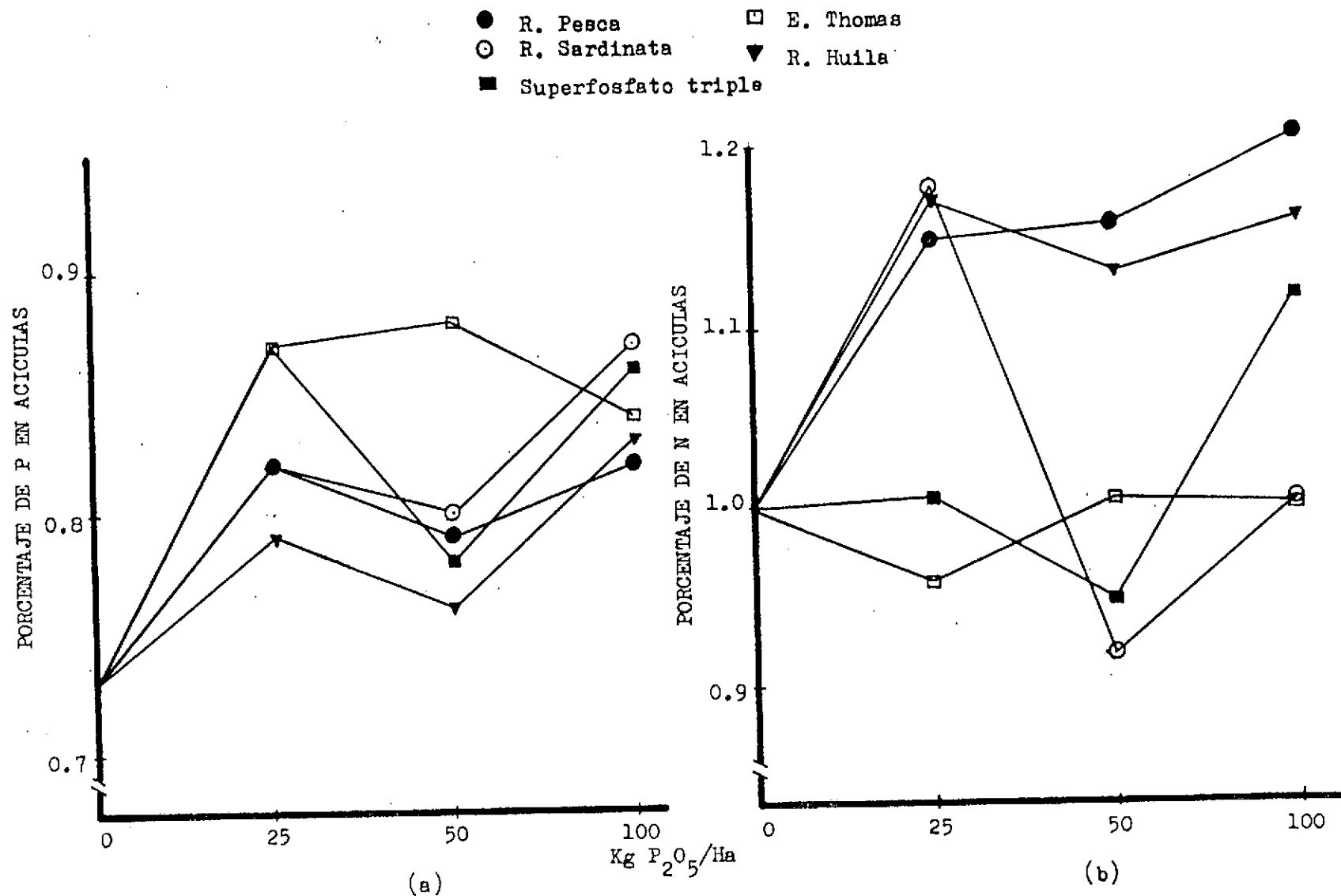


Figura 12. Efecto de cinco fuentes de P sobre la absorción de P (a) y N (b) por plántulas de *P. caribaea* var *hondurensis* inoculadas con *T. terrestris*.

soluble en el suelo.

La absorción de P por plantas micorrizadas, a partir de las Rocas de Pesca y Sardinata fue muy buena, más no con Rocas de Huila, siendo sin embargo su concentración siempre superior a la de plantas no micorrizadas.

El análisis de los datos de la Tabla 2, dejan ver que las plantas micorrizadas tienen gran habilidad para utilizar el P presente en fuentes de bajo contenido y solubilidad, siendo su concentración de P foliar igual o muy cercana al de plantas fertilizadas con Superfosfato triple. Esto confirma la importante función que cumplen las micorrizas en la movilización del P en suelos deficientes a partir de formas de P difícilmente asimilables por las plantas.

En el Anexo 7, pueden verse los coeficientes de correlación entre las variables P-foliar y rendimiento en materia seca, materia verde total, materia verde de raíces, altura, diámetro, porcentaje de infección y P-asimilable en el suelo.

4.5.2. Absorción de Nitrógeno

Como lo muestra la Tabla 12, la concentración de N-foliar fue mayor en plantas micorrizadas que en las no micorrizadas, cuando se fertilizaron con P, exceptuando los tratamientos con Roca de Sardinata y Superfosfato triple al nivel de 50 Kg P_2O_5 /Ha.

Las Figuras 11b y 12b, muestran las concentraciones de N en acículas de plantas micorrizadas y no micorrizadas cuando fueron fertilizadas con fuentes de niveles de P variables. Como puede observarse en la Figura 12b, la única fuente que mantuvo un incremento en absorción de N con el incremento de su nivel fue la Roca de Pesca.

TABLA 12. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de N en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE N ^{1/} %	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	1.12 abcde ^{2/}	1.15 abcdefg
	50	1.09 abcdefghi	1.16 abcd
	100	0.99 ghijk	1.21 a
RFH	25	1.05 bcdefghijk	1.17 abc
	50	1.07 bcdefghi	1.13 abcdef
	100	0.93 jk	1.16 abcde
RFS	25	0.96 ijk	1.18 ab
	50	1.02 efghijk	0.92 k
	100	1.03 defghijk	1.09 abcdefghi
ETH	25	0.97 hijk	0.96 ijk
	50	0.99 ghijk	1.08 abcdefghi
	100	0.98 hijk	1.07 abcdefghi
SFT	25	1.01 fghijk	1.08 abcdefghi
	50	1.04 cdefghijk	0.95 ijk
	100	1.10 abcdefgh	1.12 abcdefg
TESTIGO	0	1.06 bcdefghij	1.01 fghijk

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

La correlación del N-foliar con otras variables aparece en el Anexo 7.

4.5.3. Absorción de K, Ca y Mg

La micorrización no mostró ningún efecto sobre la absorción de K como lo muestra la Tabla 14. Los testigos inoculado y no inoculado registraron mayor concentración de K-foliar que cualquiera de los tratamientos a excepción de las plantas inoculadas y fertilizadas con Escorias Thomas (Calfos) al nivel de 100 Kg P_2O_5 /Ha, no siendo sin embargo estadísticamente significativa la diferencia al nivel del 5 por ciento. Estos resultados hacen suponer que un posible antagonismo se pudo haber presentado entre Ca, K y Mg al adicionarlos en forma de fertilizante al suelo. La concentración de K-foliar correlacionó positiva y significativamente con las de Mg ($r=0.258$) y Ca ($r=0.202$).

Respecto a la absorción de Ca por plantas micorrizadas, éstas no presentaron en general mayor habilidad para absorber Ca que las no micorrizadas con la única excepción de las plántulas fertilizadas con Roca de Pesca. La mayor concentración de Ca-foliar la registraron las plántulas no micorrizadas pero fertilizadas con 100 Kg P_2O_5 /Ha a partir de Escorias Thomas (Calfos) cuestión que es apenas lógico esperar dado el alto contenido de Ca que posee dicha fuente fosfatada. Entre las plantas micorrizadas la mayor absorción de Ca se presentó cuando se fertilizó con 25 Kg P_2O_5 /Ha a partir de Roca de Pesca. Entre este tratamiento y el de Escorias Thomas no micorrizado no existió diferencia estadísticamente significativa al nivel del 5 por ciento (Tabla 14).

Si se comparan las concentraciones de Ca-foliar de los testigos con las de los demás tratamientos tanto inoculados como no inoculados se puede observar que la absorción de Ca se mejoró con la adición de

TABLA 13. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de K en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE K ^{1/} %	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	0.78 abcdef ^{2/}	0.76 bcdef
	50	0.79 abcd	0.76 bcdef
	100	0.75 cdef	0.76 bcdef
RFH	25	0.79 abcde	0.76 bcdef
	50	0.76 bcdef	0.74 ef
	100	0.75 def	0.74 ef
RFS	25	0.77 abcdef	0.76 bcdef
	50	0.76 bcdef	0.77 abcdef
	100	0.75 cdef	0.75 cdef
ETh	25	0.78 abcde	0.76 bcdef
	50	0.77 abcdef	0.76 bcdef
	100	0.81 a	0.75 cdef
SFT	25	0.74 f	0.77 abcdef
	50	0.79 abc	0.75 cdef
	100	0.78 abcdef	0.78 abcdef
TESTIGO	0	0.80 ab	0.80 ab

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

TABLA 14. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Ca en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE Ca ^{1/}	
		No Micorrizadas %	Micorrizadas
RFP	25	0.734 abcde ^{2/}	0.741 ab
	50	0.728 bcdef	0.734 abcde
	100	0.728 bcdef	0.728 bcdef
RFH	25	0.737 abcd	0.727 bcdef
	50	0.739 abc	0.718 ef
	100	0.723 cdef	0.721 def
RPS	25	0.730 bcdef	0.725 bcdef
	50	0.730 bcdef	0.727 bcdef
	100	0.723 cdef	0.727 bcdef
ETh	25	0.725 bcdef	0.727 bcdef
	50	0.727 bcdef	0.725 bcdef
	100	0.748 a	0.721 def
SFT	25	0.732 bcde	0.725 bcdef
	50	0.737 abcd	0.724 bcdef
	100	0.725 bcdef	0.727 bcdef
TESTIGO	0	0.714 f	0.714 f

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

TABIA 15. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Mg en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE Mg ^{1/} %	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	0.714 ab ^{2/}	0.714 ab
	50	0.714 ab	0.714 ab
	100	0.714 ab	0.714 ab
RFH	25	0.714 ab	0.714 ab
	50	0.714 ab	0.714 ab
	100	0.709 c	0.714 ab
RFS	25	0.714 ab	0.714 ab
	50	0.714 ab	0.714 ab
	100	0.709 c	0.714 ab
ETh	25	0.714 ab	0.714 ab
	50	0.714 ab	0.714 ab
	100	0.714 ab	0.714 ab
SFT	25	0.711 bc	0.714 ab
	50	0.711 bc	0.710 bc
	100	0.714 ab	0.714 ab
TESTIGO	0	0.716 a	0.714 ab

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

P a partir de todas las fuentes.

Los resultados obtenidos no permitieron confirmar la mayor eficiencia en la absorción de Ca por plantas micorrizadas, con la excepción de los tratamientos adicionados con Roca de Pesca; posiblemente esto se debió a cambios físico-químicos en el suelo introducidos por las fuentes de P, N, K y Mg adicionados y/o por baja eficiencia del hongo Thelephora terrestris para absorber y translocar Ca a los tejidos de las plantas.

En cuanto a la absorción de Mg, no se presentó ninguna diferencia entre plantas micorrizadas y no micorrizadas tal como se puede ver en la Tabla 15.

4.5.4. Absorción de Mn y Fe

En general las plantas micorrizadas absorbieron menos Mn que las no micorrizadas. Una mayor absorción de Mn por plantas micorrizadas se presentó únicamente cuando se adicionaron 100 Kg P_2O_5 /Ha a partir de las Rocas Huila, Pesca y Sardinata. Los datos de absorción de Mn por plantas micorrizadas y no micorrizadas aparecen en la Tabla 16.

Respecto a la absorción de Fe, las plantas micorrizadas tuvieron en general mayor concentración de Fe en acículas que las no micorrizadas exceptuando los tratamientos en que se adicionó 100 Kg P_2O_5 /Ha a partir de Roca de Pesca y 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha a partir de Roca de Huila. Los datos aparecen en la Tabla 17. Una correlación positiva y altamente significativa se presentó entre la concentración de Fe foliar y porcentaje de infección micorrizal. Correlaciones altamente significativas se presentaron también respecto a altura, diámetro, producción de materia verde y materia seca total (Anexos 1 y 7).

TABLA 16. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Mn en acículas de plántulas de P.ca - ribaea var hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE Mn ^{1/} ppm	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	781.0 abcdef ^{2/}	569.6 cdef
	50	928.6 ab	614.0 bcdef
	100	512.3 def	857.0 abcd
RFH	25	833.6 abcde	617.3 bcdef
	50	594.0 bcdef	584.0 bcdef
	100	502.0 ef	530.3 cdef
RFS	25	697.6 abcdef	726.6 abcdef
	50	637.3 abcdef	478.0 f
	100	664.6 abcdef	703.3 abcdef
ETh	25	839.3 abcde	441.0 f
	50	606.0 bcdef	591.6 bcdef
	100	641.0 abcdef	554.6 cdef
SFT	25	744.0 abcdef	655.0 abcdef
	50	691.0 abcdef	464.5 f
	100	969.3 a	877.6 abc
TESTIGO	0	845.3 abcde	845.3 abcde

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

TABLA 17. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Fe en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE Fe ^{1/} ppm	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	108.0 cde ^{2/}	183.0 abcde
	50	102.0 cde	110.6 cde
	100	200.0 abcde	187.6 abcde
RFH	25	153.6 bcde	213.6 abcd
	50	163.3 bcde	157.3 bcde
	100	133.3 bcde	116.6 cde
RFS	25	51.0 e	183.3 abcde
	50	112.0 cde	143.6 bcde
	100	72.0 de	170.6 abcde
ETh	25	146.6 bcde	318.3 a
	50	80.6 de	251.3 abc
	100	110.0 cde	124.0 cde
SFT	25	107.3 cde	283.3 ab
	50	99.0 cde	117.5 cde
	100	108.0 cde	211.6 abcd
TESTIGO	0	170.0 abcde	151.0 bcde

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

La mayor concentración de Fe en acículas de plantas micorrizadas a la vez que su menor contenido de Mn, permiten suponer que la micorriza al tener mayor selectividad por el Fe opera como un mecanismo regulador en la absorción de Mn, cuestión que es muy importante en suelos ácidos del trópico donde usualmente el Mn es absorbido por las plantas a niveles tóxicos. La mayor absorción de Fe por las raíces de las plantas micorrizadas seguramente debió favorecerse por el aumento de la concentración de formas reducidas de Fe en la solución del suelo, debido a la humedad permanente en que se mantuvo el suelo mediante el riego.

4.5.5. Absorción de Cu

La absorción de Cu se vio favorecida por la micorrización habiendo sido menor tan solo en los tratamientos adicionados con Roca de Sardinata a los niveles de 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha, Escorias Thomas (Calfos) al nivel de 100 Kg P_2O_5 /Ha y Superfosfato triple al nivel de 50 Kg P_2O_5 /Ha. La mayor absorción de Cu se presentó en las plantas micorrizadas y adicionadas con Roca de Pesca. La concentración de Cu foliar se correlacionó positiva y significativamente con el porcentaje de infección micorrizal.

Los datos de absorción de Cu por plantas micorrizadas y no micorrizadas aparecen en la Tabla 18. Los coeficientes de correlación pueden verse en el Anexo 7.

4.5.6. Absorción de Zn

La concentración de Zn en acículas fue superior en más de la mitad de los tratamientos inoculados y adicionados con P. Las plantas micorrizadas y adicionadas con Roca de Pesca fueron las que presentaron en promedio una mayor concentración de Zn foliar. La concentra-

TABLA 18. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Cu en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis : a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE Cu ^{1/} ppm	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	11.0 bc ^{2/}	16.6 bc
	50	13.6 bc	14.6 bc
	100	9.6 bc	26.6 a
RFH	25	10.3 bc	15.0 bc
	50	10.6 bc	10.0 bc
	100	8.0 c	16.6 bc
RFS	25	13.6 bc	14.3 bc
	50	10.0 bc	3.0 c
	100	9.6 bc	8.0 c
ETH	25	3.6 c	11.6 bc
	50	7.6 c	10.3 bc
	100	11.0 bc	5.0 c
SFT	25	8.3 bc	8.6 bc
	50	7.6 c	0.0 c
	100	4.3 c	5.6 c
TESTIGO	0	9.3 bc	5.0 c

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

TABIA 19. Efecto de la Micorrización y la fertilización con P sobre la concentración de Zn en acículas de plántulas de P. caribaea var. hondurensis a los 7 meses.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha.	CONCENTRACION DE Zn ^{1/} ppm	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	25.0 cdefg ^{2/}	36.0 abcdef
	50	25.0 cdefg	33.6 abcdefg
	100	23.3 defg	47.6 ab
RFH	25	42.3 abcd	35.6 abcdef
	50	35.3 abcdefg	18.0 gf
	100	25.0 cdefg	38.3 abcde
RFS	25	42.0 abcd	43.0 abc
	50	34.3 abcdefg	16.0 g
	100	35.3 abcdefg	32.6 bcdefg
ETH	25	20.3 efg	47.6 ab
	50	33.3 abcdefg	34.6 abcdefg
	100	52.3 a	25.6 cdefg
SFT	25	34.6 abcdefg	34.0 abcdefg
	50	31.6 bcdefg	15.0 g
	100	17.3 gf	33.0 abcdefg
TESTIGO	0	46.6 ab	47.0 ab

^{1/} Promedio de tres replicaciones.

^{2/} Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí al nivel de probabilidad del 5 por ciento.

TABIA 21. Concentración de P en raíces micorrizadas y no micorrizadas de plántulas de Pinus caribaea var. hondurensis fertilizadas con fuentes y niveles variables de P.

Fuente de P	Nivel Kg P ₂ O ₅ /Ha	CONCENTRACION DE P %	
		No Micorrizadas	Micorrizadas
RFP	25	0.05 ^{1/} *	0.11
	50	0.05	0.09
	100	0.01	0.07
RFH	25	0.08	0.10
	50	0.10	0.08
	100	0.09	0.13
RFS	25	0.07	0.11
	50	0.03	0.07
	100	0.02	0.14
ETh	25	0.07	0.13
	50	0.04	0.17
	100	0.06	0.14
SFT	25	0.05	0.18
	50	0.11	0.00
	100	0.03	0.01
TESTIGO	0	0.02	0.05

^{1/} Los datos corresponden al análisis de una sola muestra por tratamiento.

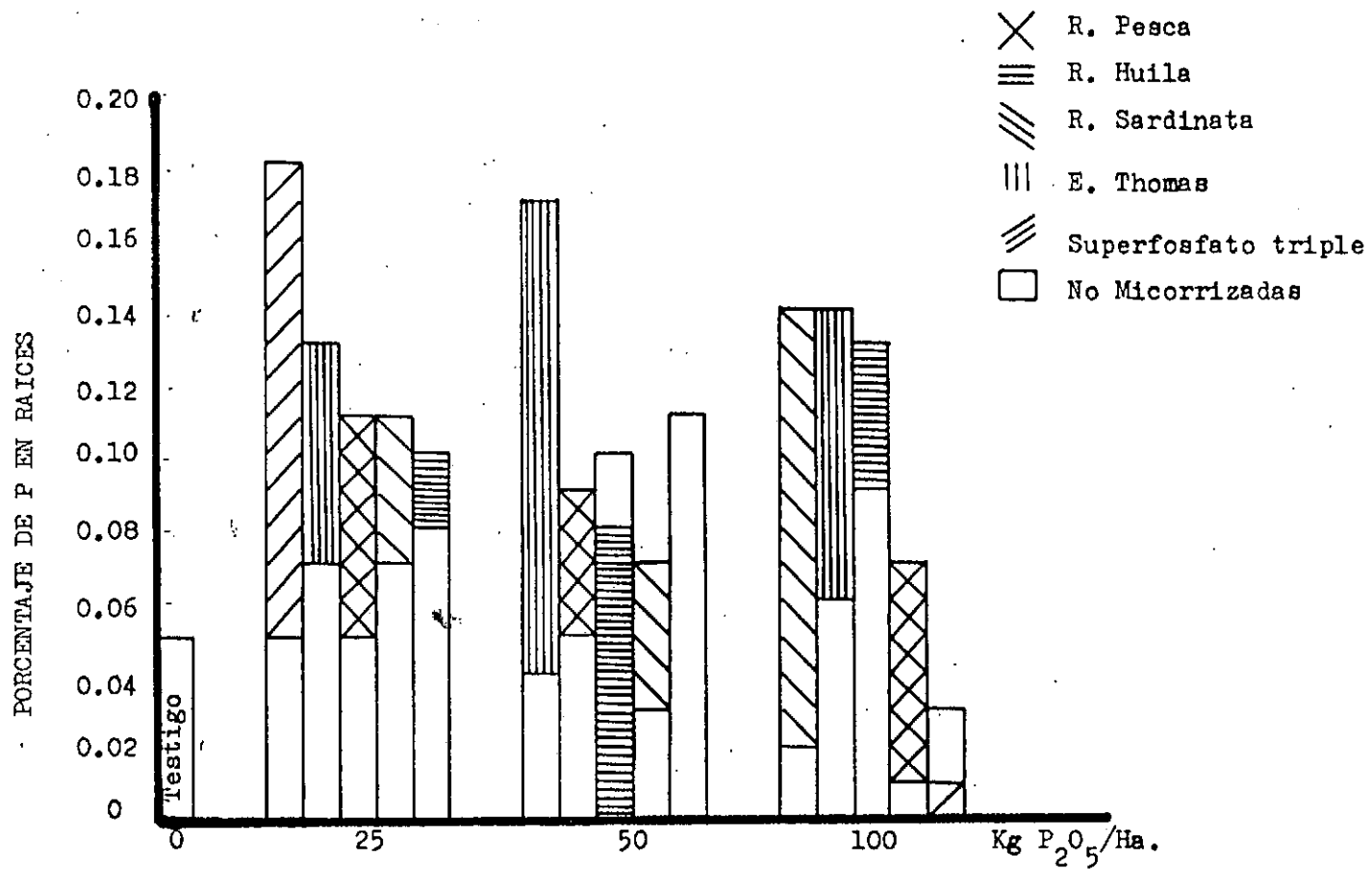


Figura 13. Contenido de P en raíces micorrizadas y no micorrizadas de plántulas de P. caribaea var hondurensis fertilizadas con diferentes fuentes y niveles de P.

ción de Zn foliar se correlacionó positiva y significativamente con el porcentaje de infección micorrizal.

Los datos de concentración de Zn foliar en plantas micorrizadas y no micorrizadas aparecen en la Tabla 19. Los coeficientes de correlación pueden verse en el Anexo 1.

4.6. CONTENIDO DE P EN RAICES

Las plantas micorrizadas presentaron mayor contenido de P en sus raíces que las no micorrizadas (Figura 13), lo cual confirma que efectivamente la micorriza absorbe y acumula más P que raíces normales, para luego translocarlo a los tejidos de su hospedero.

Los datos no fueron sometidos a análisis estadístico por haber tenido que mezclarse las tres réplicas en cada tratamiento por insuficiencia de materia seca para el análisis de P en los tejidos en casi todos los tratamientos no micorrizados. La concentración de P en raíces en cada tratamiento aparece en la Tabla 21.

4.7. ANATOMIA DE MICORRIZAS

La micorriza formada por Thelephora terrestris sobre las raíces de plántulas de P. caribaea var hondurensis correspondieron al tipo ectomicorrizal, coraloide simple en unos casos (Figura 14) y coraloide compleja en otros (Figura 15); color crema, algunas veces blanco; con abundantes rizomorfos (micorrizomorfos) conectados a la micorriza adyacente (Figura 16); manto hifal o micoclona desarrollado y red de Hartig bien desarrollada en la endodermis (Figura 17). Anatómicamente coincide con descripciones hechas por otros investigadores (74,75, 76).

La Figura 18, muestra los dos subtipos de micorriza formada por T. terrestris en presencia de dos fuentes de P de diferente

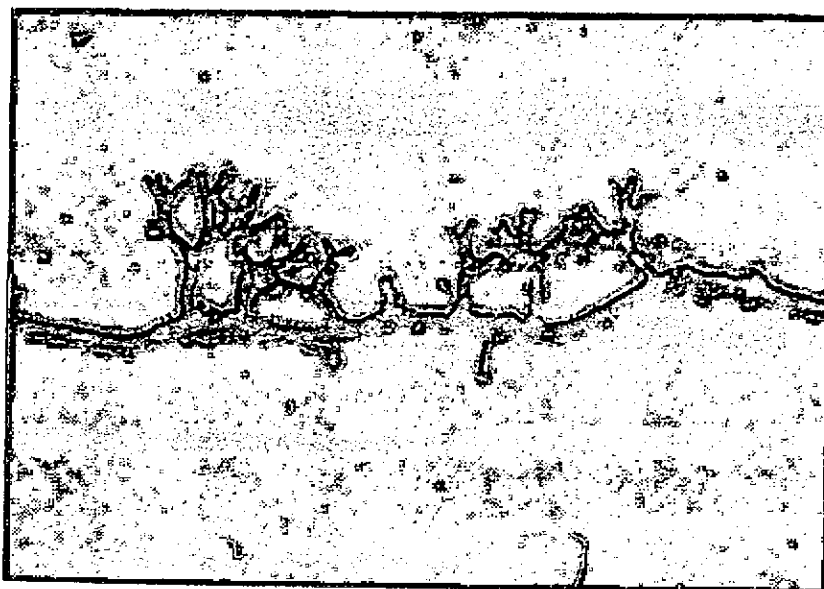


Figura 14. Ectomicorrizas del subtipo coraloide simple formada por T. terrestris en raíces de plántulas de P. caribaea var hondurensis.



Figura 15. Ectomicorrizas del subtipo coraloide complejo formada por T. terrestris en raíces de plántulas de P. caribaea var hondurensis.

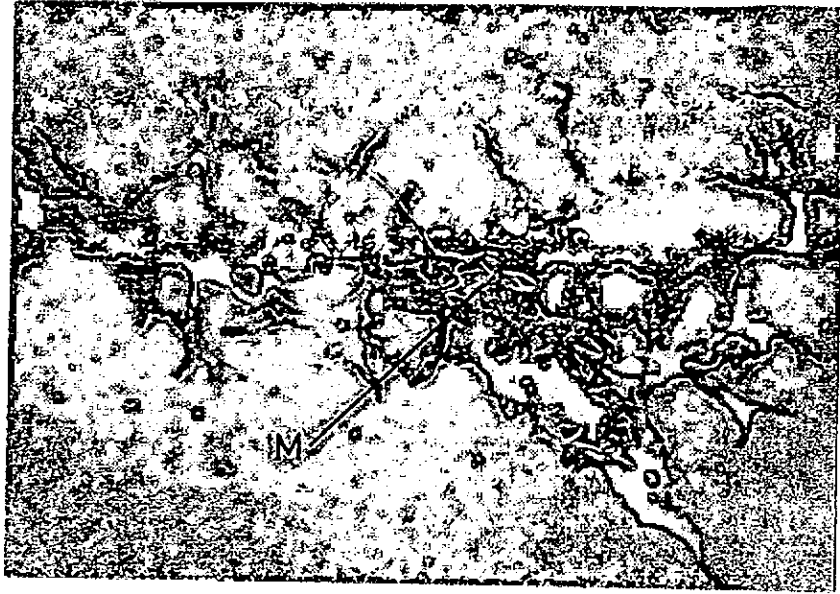


Figura 16. Micorrizomorfos (M) adheridos a la micorriza formada por T. terrestris en raíces de P. caribaea var hondurensis.



Figura 17. Sección transversal de una ectomicorriza formada por T. terrestris en raíces de P. caribaea var hondurensis en la que se pueden observar el manto hifal (Mh) y la red de Hartig (RH). 400x.

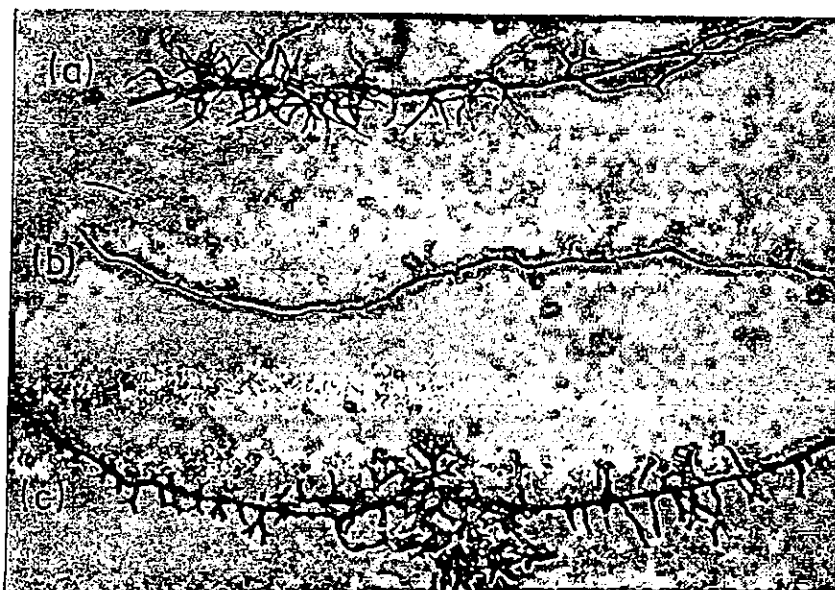


Figura 18. Morfología externa de la micorriza formada por T. terrestris en raíces de plántulas de P. caribaea var hondurensis fertilizadas con dos fuentes de P de diferente solubilidad. (a) con 25 Kg P_2O_5 /Ha de Superfosfato triple; (b) raíz normal no infectada; (c) con 50 Kg P_2O_5 /Ha de Roca fosfórica de Pesca.

solubilidad. Obsérvese la anatomía de la micorriza en cada caso; en presencia de P soluble aún a bajo nivel, 25Kg P_2O_5 /Ha, la tendencia del hongo fue a formar micorriza del subtipo simple, mientras que con P insoluble, 50 Kg P_2O_5 /Ha, formó abundante micorriza del subtipo coraloides complejo.

El anterior análisis anatómico de las raíces de las plántulas nos permiten explicar más claramente el porqué del mejor desarrollo y crecimiento de P. caribaea var. hondurensis micorrizado y fertilizado con fuentes de P de baja solubilidad.

V. CONCLUSIONES

- Dada la ausencia de hongos ectomicorrizales nativos y la baja fertilidad de los suelos de sabana de los Llanos Orientales de Colombia, el exitoso establecimiento de coníferas tropicales introducidas como Pinus caribaea var hondurensis Barr. et Golf., dependen de una eficiente y temprana inoculación micorrizal y del suministro de nutrientes en niveles óptimos para el desarrollo de la especie y compatibles con los hongos micorrizales.

- El crecimiento en altura de las plantas micorrizadas y fertilizadas con P, fue el doble que en plantas no micorrizadas pero fertilizadas con P. La fuente fosfatada de mejor comportamiento fue Roca fosfórica de Huila al nivel de 100 Kg P_2O_5 /Ha. seguida de Escorias Thomas (Calfos) y Roca fosfórica de Pesca a los niveles de 100 y 25 Kg de P_2O_5 /Ha respectivamente.

- El crecimiento en diámetro de las plantas micorrizadas y fertilizadas con P, fue más del doble que en no micorrizadas pero fertilizadas con P. La fuente fosfatada de mejor comportamiento fue Escorias Thomas (Calfos) seguida por Roca fosfórica de Pesca. La de peor respuesta fue Superfosfato triple.

- La producción de materia verde por plantas micorrizadas y fertilizadas con P, llegó a ser hasta cuatro y media veces mayor en peso que en plantas no micorrizadas pero fertilizadas con P.

La diferencia respecto a producción de materia verde entre plantas micorrizadas y fertilizadas con P y aquellas no micorrizadas y no fertilizadas con P llegó a ser hasta de once y media veces en peso. Las mejores fuentes de P fueron en éste caso Escorias Thomas (Calfos) y Roca fosfórica de Pesca. La primera de las fuentes permitió obtener los mayores rendimientos en materia verde, mientras la segunda favoreció un mayor desarrollo radicular. Los más bajos rendimientos en materia verde de plantas micorrizadas se obtuvieron cuando se fertilizaron con Superfosfato triple a los niveles de 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha respectivamente.

- La producción de materia seca total en plantas micorrizadas y fertilizadas con P llegó a ser hasta diez veces mayor que en plantas no micorrizadas pero fertilizadas con P. Las fuentes de P de mejor comportamiento fueron Escorias Thomas (Calfos) y Roca de Pesca; las peores fueron Superfosfato triple y Roca fosfórica de Sardinata.
- Los mayores porcentajes de infección con micorriza se obtuvieron en las plantas inoculadas y fertilizadas con cada una de las fuentes de P de baja solubilidad utilizadas, habiéndose obtenido los más grandes porcentajes de micorriza con Roca fosfórica de Pesca. Fuentes de P soluble como el Superfosfato triple tan solo permitió formación de micorriza en pequeña proporción al nivel de 25 Kg P_2O_5 /Ha, habiendo sido nula la infección a los niveles de 50 y 100 Kg P_2O_5 /Ha.
- Las plantas micorrizadas presentaron mayor concentración de P en acículas que las no micorrizadas en presencia de todas las fuentes y niveles de P utilizados. Las plantas micorrizadas mostraron gran habilidad para utilizar el P presente en fuentes de bajo contenido y solubilidad como las rocas fosfóricas y el Calfos (Escorias Thomas), siendo su concen-

tración de P foliar igual o muy cercana al de plantas fertilizadas con Superfosfato triple; lo cual confirma la importante función que cumplen las micorrizas en la movilización del P en suelos deficientes, a partir de formas de P difícilmente asimilables directamente por las plantas.

- La absorción de N fue en general mayor en plantas micorrizadas que en las no micorrizadas. La única fuente de P que mantuvo un incremento en absorción de N con el incremento de P aplicado fue Roca fosfórica de Pesca.
- Las plantas micorrizadas no presentaron diferencia en su capacidad para absorber K, Ca y Mg respecto a las no micorrizadas. Para el caso del Ca, únicamente las plantas micorrizadas y fertilizadas con Roca fosfórica de Pesca presentaron una mayor concentración de Ca foliar que las no micorrizadas.
- Las plantas micorrizadas absorbieron menos Mn y más Fe que las no micorrizadas. De éste hecho se hipotetiza que la micorriza al tener mayor "selectividad" por el Fe, opera como un mecanismo regulador de la absorción de Mn, cuestión muy importante en suelos ácidos del trópico donde usualmente el Mn es absorbido por las plantas hasta niveles tóxicos.
- La absorción de Zn fue favorecida por la micorrización, habiendo sido superior su concentración en más de la mitad de los tratamientos. Las plantas micorrizadas y fertilizadas con Roca fosfórica de Pesca fueron las que presentaron en promedio una mayor concentración de Zn foliar.
- La absorción de Cu se vio favorecida por la micorrización, habiendo sido mayor su concentración en las plantas micorrizadas

que en las no micorrizadas. La mayor absorción de Cu se presentó en plantas micorrizadas y fertilizadas con Roca fosfórica de Pesca.

- Las plantas micorrizadas presentaron mayor concentración de P en sus raíces que las no micorrizadas; lo cual confirma que efectivamente, la micorriza absorbe y acumula más P que las raíces normales, para luego translocarlo a los tejidos de su hospedero.

- Fuentes de P de baja solubilidad como las Rocas fosfóricas y Escorias Thomas (Calfos) pueden ser utilizadas eficientemente por plantas micorrizadas, mientras que fosfatos solubles como el Superfosfato triple afectan negativamente el crecimiento inicial de coníferas por traer efectos deletéreos para la micorriza, como lo demuestran los porcentajes de infección de 46.6 por ciento, 0.0 por ciento y 0.0 por ciento obtenidos cuando se aplicó Superfosfato triple a los niveles de 25, 50, 100 Kg P_2O_5 /Ha respectivamente; como también por las diferencias anatómicas de la micorriza formada bajo el primero de los niveles citados.

- Así como altos niveles de P soluble en el suelo ejercen un efecto deletéreo sobre la micorriza, condiciones de extrema deficiencia pueden impedir su formación. Por tanto, la aplicación de mínimos niveles de P parece ser una condición necesaria para el establecimiento de la simbiosis micorrizal en suelos altamente deficientes en P como los de sabana en los Llanos Orientales de Colombia; lo cual resultó evidente por la incapacidad del hongo micorrizal Thelephora terrestris para establecer la simbiosis con las raíces de las plántulas cuando no se aplicó P al suelo. Esto sugiere que existen niveles críticos de P en el suelo por debajo de los cuales ciertos hongos mico-

rizales son incapaces de establecer sus simbiosis con las raíces de las plantas. Este aspecto es de indudable significación práctica y deberá tenerse muy en cuenta al elegir las especies de hongos micorrizales para los programas de inoculación en suelos extremadamente deficientes en P.

- El efecto de la micorrización y la fertilización con P a partir de fuentes de bajo contenido y solubilidad sobre plántulas de Pinus caribaea var hondurensis demuestran la superioridad del sistema microbioquímico MICORRIZA + P insoluble, para dar respuestas de crecimiento en suelos infértiles, pobres en P y altamente fijadores de fosfatos, como son los suelos de sabana de los Llanos Orientales de Colombia.
- Es evidente que el sistema MICORRIZA + P insoluble, representa la alternativa de mayor futuro y perspectiva para resolver el problema de deficiencia de P en los suelos ácidos del trópico, factor éste que ha limitado la incorporación al desarrollo económico de muchos países vastas regiones que aún permanecen improductivas, como sería el caso de la mayor parte de la Orinoquia colombiana.

El sistema MICORRIZA + P insoluble, no solo es eficiente para resolver el problema de la nutrición fosfatada de las plantas cultivadas en las condiciones de suelos pobres, sino que representa ventajas económicas considerables, al minimizar los costos de la fertilización fosfatada y permitir además la utilización futura y en gran escala de nuestros considerables depósitos de Rocas fosfóricas, a los cuales se les ha negado hasta hoy la oportunidad de contribuir significativamente al desarrollo económico nacional.

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario continuar ésta investigación en las condiciones de campo, y más propiamente en la altillanura, para observar si Thelephora terrestris muestra cambios en su comportamiento, en particular con respecto a los niveles de P presentes en el suelo.
- Se recomienda estudiar bajo condiciones de invernadero, el efecto del Aluminio, Calcio y Nitrógeno sobre la micorrización y el desarrollo de la planta en general.
- En éste suelo o en aquellos de condiciones similares en la altillanura, se recomienda realizar investigaciones con Magnesio, Potasio y Boro.
- Es necesario investigar aspectos como: condiciones de almacenamiento (temperatura principalmente), tiempo de almacenamiento, sustratos, etc para Thelephora terrestris y otros hongos ectomicorrizales que tambien son simbioses de Pinus caribaea var hondurensis.
- Deben iniciarse investigaciones bajo condiciones controladas y de campo con otras especies de hongos ectomicorrizales, v. gr. Cenococcum graniforme, Pisolithus tinctorius, Corticium bicolor, Rhizopogon roseolus, etc., que son tambien simbioses

tes de P. caribaea var hondurensis, con el objeto de establecer diferencias en cuanto a su capacidad para utilizar fuentes de P de baja solubilidad como las utilizadas en el presente estudio, al igual que su compatibilidad con cada una de ellas.

SUMMARY

In order to establish the importance of MYCORRHIZAE on initial growth of Pinus caribaea var hondurensis Barr et Golf., in soils low in phosphorus and low fertility, as Savanna Soils of Llanos Orientales de Colombia, and to know the capacity of mycorrhizal plants to use phosphates of low solubility, a research was carried-out under greenhouse conditions at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá", in which seedlings of P. caribaea var hondurensis were inoculated with fruit bodies of Thelephora terrestris, and fertilized with five sources and four levels of P. The phosphorus sources were: Phosphate rock of Pesca (20.4 P₂O₅), Phosphate rock of Huila (20.8 P₂O₅), Phosphate rock of Sardinata (26.7 P₂O₅), Basic slags -Calfos (14.0 P₂O₅) and Triple Superphosphate (46.0 P₂O₅). The levels were 25, 50 and 100 Kg P₂O₅/Ha. All the plants received 45, 75 and 40 Kg/Ha of N, K₂O and MgO.

The statistical design used was randomized blocks with 32 treatments resulted of the combination of five sources and three levels of P; two levels of fungi and two checks. Three repeats were used. After seven months the plants were evaluated to: height, diameter, fresh matter production, dry matter production, percent of mycorrhizal infection, absorption of P, N, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, and Zn; P content in the roots and type of mycorrhizae. The

results were statistically evaluated. Finally mycorrhizal roots were sectionated in a microtome and examined at 400x.

The growth in height and diameter of mycorrhizal plants was twice than nonmycorrhizal plants; fresh matter production was four and a half more in mycorrhizal plants than in nonmycorrhizal plants. With low solubility phosphate sources a great develop of mycorrhizae occurred; with triple superphosphate this develop was reduced. Without application of P the plants not formed mycorrhizae. The mycorrhizal plants absorbed more P, N, Fe, Cu, and Zn than nonmycorrhizal plants.

In general the results permitted the following conclusions: (a) The mycorrhizal fungi is necessary to the normal growth of Pinus caribaea var hondurensis; (b) It is necessary to apply phosphorus in order to get develop of mycorrhizae in plants inoculated with Thelephora terrestris in Savanna Soils of Llanos Orientales de Colombia; (c) Under the conditions of this research Triple Superphosphate was not the best phosphorus source to mycorrhizae formation and yield of P. caribaea var hondurensis ; (d) The system MYCORRHIZAE + Insoluble P is planted as an alternative to resolve the phosphorus deficiency problems on the acid soils of the tropics.

BIBLIOGRAFIA

1. AZCON, R., J.M. BAREA and D.S. HAYMAN. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria. Soil Biol. Biochem. 8:135-138.
2. _____, A.D. MARIN and J.M. BAREA. 1978. Comparative role of phosphate in soil or inside the host on the formation and effect of endomycorrhiza. Plant Soil 49:561-567.
3. BALLONI, E.A. 1978. Fertilizacao florestal. Boletim Informativo IPEF (Brasil) 6(16):1-34.
4. _____. 1979. A utilizacao de Boro em florestas plantadas. IPEF (Brasil) Circular Técnica No. 70., 19 p.
5. BENAVIDES, G. de. 1975. Fraccionamiento de Fósforo en Suelos de los Llanos Orientales. In Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Investigaciones Especiales en Suelos del Centro de Desarrollo Integrado "Las Gaviotas", Comisaría del Vichada, Colombia. pp. 45-62.
6. BENZIAN, B. 1968. Abonado de Coníferas jóvenes. Coloquio del Instituto Internacional de la Potasa sobre Fertilizantes Forestales. Rev. La Potasa (Suiza). Secc. 22.
7. BERTOLANI, F. e N. NICOLIELO. 1977. Comportamento e programa de melhoramento genetico dos pinos tropicais na regio de Agudos-SP, Brasil. PRODEPEF (Brasil) Comunicacao Tecnica No. 18., 18 p.
8. BIELESKI, R.L. 1973. Phosphate pools, phosphate transport and phosphate availability. Ann. Rev. Physiol. 24:225-252.

9. BJORMAN, E. 1970. Forest Tree Mycorrhiza. *Plant Soil* 32:589-610.
10. BONILLA, B., R.R. 1981. Fertilizar Value of Colombian Rock Phosphate in relation to Superphosphate. M. Sc. Thesis. Warsaw Agricultural University, Warsawa, Poland. 43 p. (Me-canografiada).
11. _____ and J. E. PEDRAZA, A. 1979. Colombian Rock Phosphate as a Source of Phosphorus to Plants in Acid Soils. Research Program supported in part by Poland Government.
12. BORNEMISZA, E. y A. ALVARADO. eds. 1974. Manejo de Suelos en la América Tropical. University Consortium on Soils of the Tropics. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, USA. 582 p.
13. BOWEN, G.D. 1962. Uptake of phosphate by mycorrhiza of Pinus radiata. Third Austr. Conf. Soil Sci. Canberra. 6 p.
14. _____. 1973. Mineral Nutrition of Ectomycorrhizas In Marks and Koslowski. eds. 1973. Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology. Acad. Press. London. pp. 16-138.
15. _____ and C. THEODOROW. 1967. Studies on phosphate uptake by mycorrhizas. In Proc. XIV th. IUFRO, Congr. München. 5:16-138.
16. BRAGA, G. e Ch. MYERS. 1967. Efeitos de micorrizas sobre o desenvolvimento de Pinus elliottii Engelman. *Silv. S. Paulo* 6:261-271.
17. BURLEY, J., A.B. AWAN y G. FRIAS. 1973. Investigación preliminar de un ensayo de fertilización en Pinus caribaea var. caribaea. Un estudio representativo de diseño y análisis. *Baracoa (Cuba)* 3(1-2):11-24.
18. CARMEAN, W.H., and T.K. CHEW. 1974. Site quality for Caribbean pine in Peninsular Malaysia. *Malay. For.* 37:109-117.

29. _____. 1975. Química de Suelos con énfasis en Suelos de América Latina. IICA. Turrialba, Costa Rica. 398 p.
30. FENSTER, W.E. and L.A. LEON. 1979. Management of Phosphorus in the Andean Countries of Tropical Latin América. IFDC-CIAT. 28 p.
31. FIELDING, J.M. 1972. Establishment of an experimental plantation and investigations of growth rates, fertilizing and wood characteristics in Wets Mlaysia. FAO., FO:SF/MAL/67/6126. Working Paper No. 2 .
32. FOGG, D.N. and N.T. WILKINSON. 1958. The colorimetric determination of phosphorus. Analyst 83:406-414.
33. FOX, R.L. y S.T. BENAVIDES. 1973. El Fósforo de los Oxisoles. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 6(1):137-175.
34. GASANA, J. 1978. Estudio de fertilización y crecimiento de P. oocarpa Schiede, P. pátula Schlechtendal et Chamisso y P. pseudostrobus Lindley en vivero mediante la Metodología de Superficie de Respuesta. M. Sc. Tesis. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. 96 p. (Mecanografiada).
35. GOOR, C.P. VAN e R. NASCIMENTO. 1970. Adubacao em plantacoes florestais. Bras. For. (Brasil) 1(1):35-43.
36. _____. 1965. A Nutricao de alguns pinheiros tropicais. Silv. S. Paulo (Brasil) 4:313-340.
37. GUERRERO, M., R. 1975. Suelos del Oriente de Colombia. In Bornemisza y Alvarado. eds. 1975. Manejo de Suelos en la América Tropical. University Consortium on Soils of the Tropics. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, USA. pp. 61-92.
38. _____ y A. CORTES. 1976. Caracterización y clasificación de perfiles seleccionados en suelos del C.N.I.A. "La Libertad"

- y zonas aledañas. ICA-División de Agronomía e Instituto Geográfico Agustín Codazzi-Dpto Agrológico. Bol. de Investigación No. 46. 131 p.
39. GUERRERO, R., R. 1978. Fósforo disponible y capacidad de fijación de fosfatos. Pac. de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 13 p. (Mimeografiado).
40. GUZMAN, H., G. 1977. Identificación de los hongos comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera. Ed. Limusa. México. 454 p.
41. HACSKAYLO, E. 1969. Mycorrhizae. Proc. First North Am. Conf. of Mycorrhizae. Misc. Public. 1189 USDA, For. Ser. 255 p.
42. _____. 1969. Exchange of metabolites in ectomycorrhizae. In Hacskaylo, E. 1969. Mycorrhizae. Proc. First North Am. Conf. of Mycorrhizae. Misc. Public. 1189. USDA, For. Ser. pp. 175-182.
43. _____. 1972. Mycorrhiza: the ultimate in reciprocal parasitism?. Boiscience 22(10):577-583.
44. HANKE, F. 1974. La utilización de la fosforita colombiana por medio de procesos microbiológicos. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 6(1):301-328.
45. HARLEY, J.L. 1963. Mycorrhiza. Vistas in Botany 3:79-103.
46. _____. 1969. The Biology of Mycorrhiza. Leonard Hill. London. 334 p.
47. HAYMAN, D.S. and B. MOSSE. 1972. The role of V-A mycorrhiza in the removal of phosphorus from soil by plants roots. Rev. Ecol. Biol. Sol. 3:463-470.
48. HEILMAN, P.E. and G. EKWAN. 1980. Effect of phosphorus on growth and mycorrhizal development of Douglas fir in greenhouse pots. Soil Sci. Am. J. 44:115-119.

49. HERNANDEZ, G.R. y F. GARCIA. 1974. Ensayo de inoculación en P. pseudostrobus Lindley. Rev. For. Ven. (Venezuela) 17(24): 61-66.
50. HERRERA, R., C.F. JORDAN., H. KLINGE and E. MEDINA. 1978. Amazon Ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. Interciencia (Venezuela) 3(4):223-231.
51. _____., T. MERIDA., N. STARK and C. JORDAN. 1978. Direct phosphorus transfer from leaf litter to roots. Naturwissenschaften 65(4):208-209.
52. HODGSON, T.S. 1979. Basidiospore inoculation timing on P. elliottii seedling development. South African For. J. 108:10-15.
53. HUNTER, A.H. 1975. Análisis de Laboratorio para muestras de Tejido de plantas. Laboratorio de Suelos, C.N.I.A. "Tibaitatá". 6 p. (Mecanografiado).
54. HO, I. and B. ZAK. 1979. Acid phosphatase activity of six ectomycorrhizal fungi. Can. J. Bot. 57(11):1203-1205.
55. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA (sin fecha). Técnicas de Laboratorio para Análisis de Suelos. Laboratorio de Suelos, C.N.I.A. "Tibaitatá". Sin paginación.
56. JAMES, H., M.N. COURT., D.A. MACLEDD and J.W. PARSONS. 1978. Relationships between growth of Sitka spruce (Picea sitchensis), soil factors and mycorrhizal activity on basaltic soils in Western Scotland. Forestry 51(2):105-119.
57. JASPER, D.A., A.D. ROBSON and L.K. ABBOTT. 1979. Phosphorus and the formation of V-A mycorrhizas. Soil Biol. Biochem. 11(5):501-505.
58. JOHN, T. St. 1980. Una lista de especies de plantas tropicais

- brasileiras naturalmente infectadas com micorriza vesicular-arbuscular. Acta Amaz. (Brasil) 10(1):229-234.
59. JOHN, M.K. 1970. Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. Soil Sci. 109 (4):214-220.
60. KADEBA, O. 1978. Nutritional aspects of afforestation with exotic trees species in the Savanna region of Nigeria. Comm. For. Rev. 57(3):191-199.
61. KAMPRATH, E.J. 1973. Aspectos químicos y formas minerales del fósforo del suelo en regiones tropicales. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 6(1):1-18.
62. KHASAVNEH, F.E. and E.C. DOLL. 1978. The Use of the phosphate rock for direct application to soils. Adv. Agr. 30:159-204.
63. KOENIG, A., y L. VENEGAS. 1978. Ensayos con P. caribaea en Las Gaviotas (Vichada). Proyecto Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestal. Col. 74/005. Bogotá, Colombia. PIF No. 15. 23 p.
64. KRAMER, P.J. and K.M. WILBUR. 1949. Absorption of radioactive phosphorus by mycorrhizal roots of pine. Science 110:8
65. LADRACH, W.E. 1974. Efecto de la fertilización con fósforo y calcio en el crecimiento inicial de P. oocarpa y C. lusitánica después de 3 años. Investigación Forestal (Colombia) No. 3. 9 p.
66. LAMB, A.F. 1967. Regeneración artificial en el bosque tropical de tierras húmedas. FAO. Comité para el Desarrollo Forestal en los Trópicos. Primera Reunión, Roma. 18-20 Octubre 1967. 18 p.
67. LEON, L.A. 1979. El uso de rocas fosfóricas en suelos ácidos del trópico americano. Programa Fósforo, CIAT, Palmira, Co-

- lombia, 55 p.
68. _____, A. RIAÑO., E. OWEN., M. RODRIGUEZ y L.F. SANCHEZ. 1978. Investigaciones realizadas en Colombia sobre el uso de diversas fuentes de fósforo como fertilizante. ICA-ABO - COL. Bogotá, Colombia. 32 p.
 69. LIM, F.Y. and P. SUNDRALINGAN. 1974. Some preliminary results of fertilizar applications on the growth of a 6 years old P. caribaea var. hondurensis stand. Maly. For. 37:120-126.
 70. LUNDEBERG, G. 1970. Utilization of various nitrogen sources in particular bound soil nitrogen by mycorrhizal fungi. Stud. Forest Suec. 79:1.95.
 71. MALAJCZUK, N., A.J. McCOMB and J.F. LONERAGAN. 1974. Phosphorus uptake and growth of mycorrhizal and uninfected seedlings of Eucalyptus calophylla. Austr. J. Bot. 23(2):231-238.
 72. MALAVOLTA, E., H.P. HAAG., R. SAURAGE e R. VENCOKY. 1964. In - fluencia de nitrogenio, fosforo e potasio no crescimento e composicao química do P. elliottii Engelman. Silv. S. Paulo (Brasil) 3:115-127.
 73. MARKS, G.C. and T.T. KOSŁOWSKI. eds. 1973. Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology. Acad. Press. London. 444 p.
 74. MARX, D.H. and W.C. BRYAN. 1970. Pure culture synthesis of ectomycorrhizae by Thelephora terrestris and Pisolithus tinctorius on different conifer hosts. Can. J. Bot. 48:639-643.
 75. _____ and L.F. GRAND. 1970. Colonization, isolation, and cultural descriptions of Thelephora terrestris and other ectomycorrhizal fungi of Shortleaf pine seedlings grown in fumigated soil. Can. J. Bot. 48:207-211.
 76. _____ and E.W. ROSS. 1969. Aseptic synthesis of ectomycorrhizae on P. taeda by basidiospores of Thelephora terrestris. Can. J. Bot. 48:197-198.

77. _____., J.G. MEXAL and W.G. MORRIS. 1979. Inoculation of nursery seedbeds with Pisolithus tinctorius spores mixed with hydromulch increases ectomycorrhizae and growth of loblolly pines. Southern J. Applied For. 3(4):175-178.
78. _____., A.B. HATCH and J.F. MENDICINO. 1977. High soil fertility decrease sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by Pisolithus tinctorius. Can. J. Bot. 55:1569-1574.
79. McCOMB, A.L. and L.E. GRIFFITH. 1946. Growth stimulation and phosphorus absorption of mycorrhizal and nonmycorrhizal Northern white pine and Douglas-fir seedlings in relation to fertilization treatment. Plant Physiol. 21:11.
80. MEDINA, H. 1973. La fertilización fosfórica de bosques. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 6(1):289-299.
81. MEDVE, R.J., F.M. HOFFMAN and T.W. GAITHER. 1977. The effects of mycorrhizal-forming amendments on the revegetation of bituminous stripmines spoils. Bull. Torrey Bot. Club 104(3): 218-225.
82. MEJSTRIK, V.K. 1974. The effect of mycorrhizal infection of P. sylvestris and Picea abies by two Boletus species on the accumulation of phosphorus. New Phytol. 74(3):335-359.
83. _____. 1970. The uptake of P^{32} by different kinds of ectotrophic mycorrhizae of Pinus. New Phytol. 69:285-298.
84. MENDIETA, J.R. 1977. Experiencia e investigación en la aplicación directa de la roca fosfórica en el Perú. Unidad Bayovar, Minero, Perú. 8 p.
85. MENGE, J.A., O. STEIRLE., D.J. BAGYARAJ., E. JOHNSON and R. LEONARD. 1977. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. New Phytol. 80:575-578.

86. _____, L.F. GRAND and L.W. HAINES. 1977. The effect of fertilization on growth and mycorrhizae numbers in 11-year-old loblolly pine plantations. *For. Sci.* 23:37-44.
87. _____. 1978. Effect of fertilization on production of epigeous basidiocarps by mycorrhizal fungi in loblolly pine plantations. *Can. J. Bot.* 56:2357-2362.
88. MEYER, F. 1974. Physiology of Mycorrhiza. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 25:567-586.
89. MIKOLA, P. 1973. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. In Marks and Koslowski, eds. *Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology.* Acad. Press. London. pp. 384-411.
90. _____. 1969. Afforestation of treeless areas. *Unasylna* 23 (1):35-48.
91. MIRANDA, F., H. DE. 1977. Estudos sobre producao e forma do fuste do P. taeda L. numa area de ensaio de adubacao na Fazenda Canguiri. *Floresta (Brasil)* 8(1):69-70.
92. MOSSE, B. 1973. Advances in the study of V-A mycorrhiza. *Ann. Rev. Phytopath.* 11:171-196.
93. MURPHY, J. and J.P. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
94. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES USA. 1975. *Suelos de las Regiones Tropicales Húmedas.* Ed. Marymar. Buenos Aires. 271 p.
95. NUÑEZ, E.R. 1980. Aumento de la eficiencia agronómica de la roca fosfórica por métodos aplicados a nivel de finca. *Colegio de Post-graduados, Chapingo, México.* 18 p.
96. OJEDA, S., F. 1980. Estudio comparativo del comportamiento del fósforo a partir de roca fosfórica y superfosfato triple en

- un Oxisol y un Andosol colombianos. Tesis. Fac. Ciencias, Dpto. de Química, Universidad Nacional de Colombia. 148 p. (Mecanografiada).
97. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, FAO. 1965. Reconocimiento Edafológico de los Llanos Orientales, Colombia. Los Suelos de los Llanos Orientales. Roma. v.2. 156 p.
98. PEDRAZA, A., J.E. 1981. Importancia Bioecológica de las Micorrizas. Boletín Técnico INCORA (Colombia) 15 (en prensa).
99. _____. 1979. Micorrizas. Importancia General y su Relación con la Fertilidad del Suelo. Bogotá, s.e. 90 p. (Mimeografiado; inédito). Tema dictado en el Curso de Post-grado "Ecología de Microorganismos del Suelo", Fac. de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 5-30 Noviembre 1979.
100. _____. 1979. Microscopía de Micorrizas. Guía Práctica No. 1. Bogotá, s.e. 5 p. (Mimeografiado; inédito).
101. PEÑA-CABRIALES, J.J. and M. VALDEZ. 1974. Rhizosphere du sapin (Abies religiosa) II. Mycorrhizes; isolement et culture. Can. J. Microbiol. 20:49-54.
102. PLATTEBORZE, A. and P. SUNDRALINGAN. 1971. A preliminary study of the correlation between N,P,K, content of the soil and growth of P. caribaea var. hondurensis in West Malaysia. Malay. For. 34:113-132.
103. POWEL, C.LL. and J. DANIEL. 1978. Mycorrhizal fungi stimulate uptake of soluble and insoluble phosphate fertilizer from a phosphate-deficient soil. New Phytol. 80:351-358.
104. RICHARDS, B.N. and G.L. WILSON. 1963. Nutrient supply and mycorrhizal development in Caribbean pine. For. Sci. 9(4):405-412.

105. ROSS, J.P. 1971. Effect of phosphate fertilization on yield of mycorrhizal soybeans. *Phytopath.* 61:1400-1403.
106. ROTH, I. 1964. *Microtécnica Vegetal*. Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 88 p.
107. SANCHEZ, P.A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. John Wiley & Sons. New York. 618 p.
108. SANCHEZ, L.F. y E. OWEN. 1978. Estudio comparativo de fuentes de fósforo en un Oxisol del Piedemonte. *Revista ICA (Colombia)* 13(4):641-648.
109. _____. 1980. Respuesta del arroz de riego a la aplicación de roca fosfórica en suelos ácidos. *Carta Agraria (Colombia)* 276:10-15.
110. SANDERS, F.E., B. MOSSE and P.B. TINKER. eds. 1975. *Endomycorrhizas*. Acad. Press. London. 626 p.
111. SANTAMARIA, A, de. 1979. Solubilización de roca fosfórica mediante bacterias de azufre. IX Congreso Colombiano de Ingeniería Química, Bogotá, Colombia, Agosto 1979. 15 p.
112. SCHNEIDER, P.R., F. GALVAO e S.J. LONGH. 1978. Influencia de pisoteio de bovinos em áreas florestais. *Floresta (Brasil)* 9(1):19-23.
113. SIHANONTH, P. and R.L. TODD. 1977. Control of plant nutrition by ectomycorrhizal fungi. In Abs. Third North Am. Conf. on Mycorrhizae. Athens, Georgia, USA. 22-25 August 1977.
114. SIANKIS, V. 1974. Soil factors influencing formation of mycorrhizae. *Ann. Rev. Phytopath.* 12:437-457.
115. _____. 1969. Formation of ectomycorrhizae of forest trees in relation to light, carbohydrates and auxins. In Hacska - ylo, E. 1969. *Mycorrhizae*. Proc. First North Am. Conf. on Mycorrhizae. Misc. Public. 1189. USDA, For. Serv. pp. 151-167.

116. _____. 1973. Hormonal relationships in mycorrhizal development. In Marks and Koslowski. eds. Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology. Acad. Press. London. pp. 231-298.
117. SIMOES, J.W., H. MELLO e R.A. JUNGUEIRA. 1970. Soil treatment and its effect on the growth of Eucalypt and Pine seedling. For. Abs. 34, 940.
118. _____, J. MASCARENHAS., H. MELLO e H.T. COUTO. 1970. Adu-bacao acelera o desenvolvimento inicial de plantacoes de P. caribaea var. bahamensis Barr. et Golf. Boletim Informativo IPEF (Brasil) 1:59-82.
119. SRIVASTAVA, P.B. and A.A. ZAINORIN. 1979. The response of P. caribaea var hondurensis seedlings to N, P, and K fertilizers. Plant Soil 52:215-232.
120. STARK, N. 1971. Radiotracer studies of nutrient cycling pathways. Third Nat. Symp. on Radioecology Oak Ridge, Tenn. Abstract.
121. _____. 1971. Nutrient cycling pathways and litter fungi. Bioscience 22:355-360.
122. _____ and M. SPRATT. 1977. Root biomass and nutrient storage in rain forest oxisols near San Carlos de Rio Negro (Venezuela) Trop. Ecol. 18(1):1-9
123. SUNDRALINGAN, P. 1977. Responses of Araucaria hunsteinii seedlings to fertilizar application. Malay. For. 40(3):167-176.
124. _____ and W.H. CARMAN. 1974. The effect of fertilization on the growth of newly planted P. merkusii in Bahan Forest Reserve. Malay. For. 37:161-166.
125. THEODOROU, C. and G.D. BOWEN. 1973. Inoculation of seeds and soils with basidiospores of mycorrhizal fungi. Soil Biol. Biochem. 5:765-771.

126. _____. 1971. Introduction of mycorrhizal fungi into soil by spore inoculation of seed. *Austr. For.* 35(1):23-26.
127. THOMPSON, L.M. 1964. *El Suelo y su Fertilidad*. Ed. Reverté Barcelona. 409 p.
128. TRAPPE, J.M. 1962. Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae. *Bot. Rev.* 28:538-606.
129. _____ and R.D. FOGEL. 1977. Ecosystematic functions of Mycorrhizae. In *The Belowground Ecosystem: A Synthesis of Plant-Associated Process*. USDA, For. Serv. pp:205-214.
130. _____. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. *Ann. Rev. Phytopath.* 15:203-222.
131. _____. (sin fecha). Principles of classifying ectotrophic mycorrhizae for identification of fungal symbionts. Purchased by the Forest Service, USDA, for official use. 59 p.
132. TINKER, P.B. 1978. Effects of V-A mycorrhizas on plant nutrition and plant growth. *Physiol. Veg.* 16(4):743-751.
133. TSCHINKEL, H. 1972. Factores limitantes del crecimiento de plantaciones de *C. lusitanica* en Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agron. (Colombia)* 27(2):3-55.
134. VIAMIS, J. and H.H. BISWELL. 1974. Growth and phosphorus uptake by pine seedlings grown on phosphate deficient and phosphate fixing soils. *Soil Sci.* 118(6):374-379.
135. VEGA, L. 1964. Effect of mycorrhiza on the initial growth of tropical conifers. *Turrialba(Costa Rica)* 14:151-155.
136. VINCENT, L.W. 1970. Plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* en Surinam. *Rev. For. Ven. (Venezuela)* 19/20:27-59.
137. VOIGT, G.K. 1969. Mycorrhizae and nutrient mobilization. In Hacskeylo, E. *Mycorrhizae*. Proc. First North Am. Conf. of Mycorrhizae. Misc. Public. 1189. USDA, For. Serv. pp.122-130.

138. VOZZO, J.A. 1969. Field inoculations with mycorrhizal fungi. In Hacskaylo, E. Mycorrhizae. Proc. First North Am. Conf. of Mycorrhizae. Misc. Public. 1189. USDA, For. Serv. pp. 187-196.
139. _____ and E. HACSKAYLO. 1971. Inoculation of P. caribaea with ectomycorrhizal fungi in Puerto Rico. For. Sci. 17: 239-245.
140. WEBB, D.B. 1980. Gufa y clave para seleccionar especies en ensayos forestales de regiones tropicales y sub-tropicales. Overseas Development Administration. Oxford. 275 p.
141. WENT, F.W. and N. STARK. 1968. Mycorrhiza. Bioscience 18: 1035-1039.
142. WILDE, S.A. 1968. Mycorrhizae: their role in the nutrition and timber production. University of Wisconsin, Res. Bull. 272:1-30.
143. WILLIAM, A.C., G.O. THRONEBERRY and D.L. LINDSEY. 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. Plant Physiol. 64:484-487.
144. YOST, R.S. and R.L. FOX. 1979. Contribution of mycorrhizae to P nutrition of crops growing on an Oxisol. Agr. J. 71:903-908.

ANEXO 1

Coefficientes de Correlación para Altura, Diámetro, Producción de Materia verde total, Producción de Materia verde de raíces, Producción de Materia seca total y Absorción de nutrientes, Porcentaje de Infección micorrizal y P-aprovechable en el suelo.

Variable	Altura	Diámetro	Mat. verde tot.	Mat. verde raic.	Mat. seca tot.
Porc. infecc.	0.822**	0.832**	0.815**	0.791**	0.831**
P-foliar	0.685**	0.657**	0.597**	0.459**	0.586**
N-foliar	0.400**	0.219*	0.253*	0.310**	0.280**
K-foliar	-0.145 NS	-0.182 NS	-0.153 NS	-0.134 NS	-0.146 NS
Ca-foliar	-0.041 NS	-0.034 NS	-0.011 NS	0.064 NS	-0.009 NS
Mg-foliar	0.138 NS	0.139 NS	0.127 NS	0.113 NS	0.127 NS
Mn-foliar	-0.167 NS	-0.255 NS	-0.225*	-0.148 NS	-0.202 NS
Fe-foliar	0.293**	0.347**	0.283**	0.248*	0.278*
Cu-foliar	0.822**	0.122 NS	0.090 NS	0.148 NS	0.093 NS
Zn-foliar	0.219*	0.310**	0.234*	0.249*	0.217*
P-aprov.	0.310**	0.229*	0.220*	0.111 NS	0.208*

* Significativa al 0.05 %

** Altamente significativa al 0.01 %

NS No significativa

ANEXO 2

Análisis de Regresión para la variable Altura en función del Porcentaje de infección micorrizal.

$$R^2 = 0.676 \quad CV = 22.004$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	1	1146.25	1146.25	194.05	0.0001
Error	93	549.34	5.90		
Total	94	1695.60			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	11.10		
Porc. infección	0.09	194.05	0.0001

ANEXO 3

Análisis de Regresión para la variable Altura en función de Porcentaje de infección, P-aprovechable, P-foliar y Nivel de P.

$$R^2 = 0.745$$

$$CV = 3.773$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	4	1264.04	316.01	65.90	0.0001
Error	90	431.55	4.79		
Total	94	1695.60			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	8.31		
P-aprovechable	0.24	8.96	0.0036
P-foliar	14.59	13.16	0.0005
Porc. infección	0.07	82.07	0.0001
Nivel de P	-0.01	5.64	0.0197

ANEXO 4

Análisis de Regresión para la variable Diámetro en función del Porcentaje de infección micorrizal.

$$R^2 = 0.692$$

$$CV = 27.991$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	1	0.540	0.540	209.52	0.0001
Error	93	0.239	0.002		
Total	94	0.779			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	0.155		
Porc. infección	0.002	209.52	0.0001

ANEXO 5

Análisis de Regresión para la variable Diámetro en función de P-foliar, N-foliar y Porcentaje de infección.

$$R^2 = 0.753$$

$$CV = 8.249$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	3	0.588	0.196	92.93	0.0001
Error	91	0.191	0.002		
Total	94	0.779			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	0.186		
P-foliar	0.255	9.65	0.0025
N-foliar	-0.095	13.47	0.0004
Porc. infección	0.001	119.07	0.0001

ANEXO 6

Análisis de Regresión para la variable Materia seca total
en función de Porcentaje de infección micorrizal.

$$R^2 = 0.692$$

$$CV = 2.959$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	1	90.829	90.829	209.07	0.0001
Error	93	40.403	0.434		
Total	94	131.233			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	0.450		
Porc. infección	0.026	209.07	0.0001

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

ANEXO 7

Coefficientes de Correlación para Porcentaje de infección micorrizal y Absorción de nutrientes.

Variable	Porcentaje de infección	Nivel de Significación %
P-foliar	0.644**	0.01
N-foliar	0.463**	0.01
K-foliar	-0.261*	0.05
Ca-foliar	-0.034 NS	No significativo
Mg-foliar	0.145 NS	No significativo
Mn-foliar	-0.174 NS	No significativo
Fe-foliar	0.290**	0.01
Cu-foliar	0.229*	0.05
Zn-foliar	0.257*	0.05

ANEXO 8

Análisis de Regresión para la variable Porcentaje de infección
 en función de la concentración de P-foliar y Fuente de P.

$$R^2 = 0.568$$

$$CV = 8.272$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	2	74684.569	37342.284	60.54	0.0001
Error	92	56744.861	616.791		
Error	94	131429.431			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	3.497		
P-foliar	404.359	118.83	0.0001
Fuente de P	-10.278	32.57	0.0001

ANEXO 9

Análisis de Regresión para la variable Porcentaje de infección en función de la concentración de P y N foliar, Hongo y fuente de P.

$$R^2 = 0.604$$

$$CV = 4.112$$

	GL	SC	CM	F	PROB > F
Regresión	4	79444.944	19861.236	34.39	0.0001
Error	90	51984.486	577.605		
Total	94	131429.431			

	Valor β	F	PROB > F
Intercepto	-14.548		
P-foliar	284.578	25.22	0.0001
N-foliar	25.435	3.35	0.0705
Hongo	15.830	4.49	0.0368
Fuente de P	-7.111	11.88	0.0009

•

Biblioteca Agropecuaria
de Colombia - BAC



010100004100

3790

Pedraza Angarita, José Eduardo
Respuesta de plántulas de
Pinus caribaea Morelet Var.
Hondurensis Barr. et Golf.

