

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DEL EFECTO DE APLICAR TRES CONCENTRACIONES DE ESPORAS DEL
HONGO MICORRIZICO *Pisolithus* sp. Y TRES INTERVALOS DE APLICACIÓN SOBRE LA
ESPECIE *Pinus caribaea* var. *hondurensis*
A NIVEL DE VIVERO EN MACHAQUILA, POPTUN, PETEN.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR

MANUEL DE JESÚS MADRID ROSALES

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECUROS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA OCTUBRE DEL 2,005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

MEDICO VETERINARIO LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Avila
VOCAL CUARTO	Mep. Elmer Antonio Alvarez Castillo
VOCAL QUINTO	Perito Miriam Eugenia Espinoza Padilla
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, Noviembre de 2,005

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Señores:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el documento de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE APLICAR TRES CONCENTRACIONES DE ESPORAS DEL HONGO MICORRIZICO *Pisolithus* sp. Y TRES INTERVALOS DE APLICACIÓN SOBRE LA ESPECIE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* A NIVEL DE VIVERO EN MACHAQUILÁ, POPTÚN, PETÉN.

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

De ustedes atentamente

MANUEL DE JESÚS MADRID ROSALES

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS	Por haberme permitido alcanzar una de las metas importantes de mi vida
MI PADRES	Manuel Madrid (+) María del Carmen Rosales Flores Que sea este un tributo a sus sacrificios y oraciones
MI ESPOSA	María Lissette Por su amor y apoyo incondicional
MIS HIJOS	Melisa Azucena, Manuel Estuardo y Karen Lissette Por ser fuente de inspiración y que este logro sea un ejemplo para ellos
MIS HERMANOS	Ángela (+), Carlos (+), Mario, Gonzalo, Délfido, Consuelo, Berta, Javier y Guillermo. Con mucho cariño y eterna gratitud
MIS SOBRINOS	Jorge, Francisco, Arturo, Nelson, Wiliam, Wendy, Lilian, Evelin, Gonzalo, Renato, Fabiola, Carlos, Rosa, María, Arturo, Gilma, Sucely, Walter, Manuel, Cristian, Lesly, Guillermo, Joseline, Mario, Vanessa, Con mucho amor y cariño
MIS AMIGOS	Adilio, Fredy Milton, Estuardo, Luis (+), René, Ovidio, Allan, Gustavo, Edin, Berner, Benito, Walter, Omar, Julio, Quique y Rolando (+). Por su amistad y apoyo
MIS COMPAÑEROS	Allan Scott, Fredy Figueroa, Luis Ruiz, Silvia Valdez, Aura Huerta, Macmilan Cruz, Pablo Prado, Edin López, Berner Ovando, Luis Ríos, Luis Cifuentes, Milton Pantaleón, Gerber Aché, Luis Corado, Wily Quintana, Ramiro Montenegro y Carlos Tager (+). Por su amistad y solidaridad demostrada
USTED	Muy especialmente.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS

MI QUERIDA PATRIA GUATEMALA

MI ENTRAÑABLE PUEBLO DE CHIQUIMULA

MI QUERIDA ALDEA DE EL INGENIERO

LA GLORIOSA Y TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

EL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROFORESTALES Y VIDA SILVESTRE

MIS MAESTROS Y CATEDRÁTICOS

AGRADECIMIENTOS

A:

MI ASESOR

Ing. Agr. Fredy Ola

Por su asesoría y apoyo en la elaboración de este trabajo

EL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROFORESTALES Y VIDA SILVESTRE, DE POPTUN, PETEN.

El Lic. Omar Ramírez Director del ICAVIS

Ing. Byron González

Ing. Francisco Vásquez

Los alumnos de ICAVIS por su apoyo en el montaje y manejo del experimento.

Mi hermano Mario Madrid por su apoyo tanto moral como económico para la realización de este trabajo.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA FORMA COLABORARON EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINAS
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 El Pino de Petén (<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>)	4
3.1.2 Descripción de micorrizas	4
3.1.2.1 Beneficios que recibe una planta al entrar en simbiosis con un hongo micorrícico.....	5
3.1.2.2 Tipos de micorrizas	5
A. Ectomicorriza	5
B. Micorrizas arbustoide.	6
C. Ectoendomicorrizas	6
D. Estructura y función de las ectomicorrizas	6
E. Anatomía de las ectomicorrizas	7
F. El manto	7
G. La red de hartig	8
H. Tipos de ramificaciones	8
3.1.3 Interacción planta – hongo	8
3.1.3.1 El Papel de la planta	8
3.1.3.2 El Papel del hongo	9
3.1.4 Formas de inoculación artificial	9
A. Incorporación de sustrato	9
B. Utilización de plantas micorrizadas.....	9
C. Utilización de esporas	9
D. Utilización del micelio	10
3.2 MARCO REFERENCIAL	10
3.2.1 Ubicación geográfica	10
3.2.2 Relieve y fisiografía	10
3.2.3 Suelo	10

3.2.4	Condiciones climáticas	12
	A. Temperatura	12
	B. Humedad relativa	12
	C. Clima	13
	D. Zona de vida	13
3.2.5	Descripción del árbol y de la micorriza	13
3.2.5.1	El Pino de Petén (<i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>)	13
3.2.5.2	Clasificación taxonómica	13
3.2.5.3	El Hongo <i>Pisolithus</i> sp	14
3.2.5.4	El <i>Esporocarpus</i>	14
4.	OBJETIVOS	16
4.1	OBJETIVO GENERAL	16
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5.	HIPÓTESIS	16
6.	METODOLOGÍA	17
6.1	Tratamientos	17
6.2	Unidad experimental	17
6.3	Diseño experimental	18
6.4	Manejo experimental	18
6.4.1	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	18
6.4.2	<i>Pisolithus</i> sp.	19
6.4.3	De las esporas	19
6.4.4	De las plántulas	19
6.4.5	Dosificación del inóculo	20
6.5	VARIABLES DE RESPUESTA	20
6.5.1	Altura de la planta	20
6.5.2	Largo de la raíz	21
6.5.3	Diámetro del tallo	21
6.5.4	Peso fresco	21
6.5.5	Peso seco	21
6.5.6	Estado fitosanitario	21
6.6	Análisis económico	22
6.7	Análisis de datos	22

7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	23
7.1	Análisis de completamente al azar	23
7.1.1	Altura de la planta	23
7.1.2	Largo de la raíz	25
7.1.3	Diámetro de las plántulas	26
7.1.4	Peso fresco de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i>	28
7.1.5	Peso seco de la planta.....	30
7.2	Análisis bifactorial	31
7.2.1	Altura de la planta	31
7.2.2	Largo de la raíz	33
7.2.3	Diámetro de las plántulas	34
7.2.4	Peso fresco de la planta	36
7.2.5	Peso seco de la planta.....	37
7.2.6	Estado fitosanitario	39
8.	CONCLUSIONES	40
9.	RECOMENDACIONES	41
10.	BIBLIOGRAFIA	42
11.	ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS

CUADROS	PÁGINAS
1	Análisis de fertilidad de suelos para la aldea Machaquilá 11
2	VARIABLES climáticas para la zona, registrada por la estación meteorológica de Poptún.. 12
3	Descripción de cada uno de los tratamientos aplicados a las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , implementados en la aldea Machaquilá, Poptún, Petén 17
4	Inoculación de esporas según intervalo de aplicación después de llevadas las plántulas al vivero 20
5	Características que se tomaron en cuenta para la evaluación del estado fitosanitario.. 21
6	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable altura 23
7	Prueba de Tukey para la diferencia entre alturas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. con su respectivo intervalo de aplicación 23
8	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable largo de la raíz 25
9	Prueba de Tukey para la diferencia entre largo de raíz de plántulas de <i>Pinus caribaea</i> . 25
10	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable diámetro 27
11	Prueba de Tukey para la diferencia entre diámetros de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. Con su respectivo intervalo de aplicación..... 27
12	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso fresco 28
13	Prueba de Tukey para la diferencia entre peso fresco de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. 29

14	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso seco	30
15	Prueba de Tukey para la diferencia entre peso seco de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp.	30
16	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable altura de la planta	31
17	Prueba de Tukey para la diferencia entre altura de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp.	32
18	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable largo de la raíz	33
19	Prueba de Tukey para la diferencia entre interacciones para la variable largo de la raíz	33
20	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable diámetro de las plántulas	34
21	Prueba de Tukey para la diferencia entre diámetro de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp.....	35
22	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso fresco	36
23	Prueba de Tukey para la diferencia entre peso fresco de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp.	36
24	Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso seco	37
25	Prueba de Tukey para la diferencia entre altura de las plántulas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> inoculado con esporas de <i>Pisolithus</i> sp.	38
26	Porcentaje de plantas con características deseables para la venta por tratamiento.....	39
27A	Resultados de la variable altura de las plantas de <i>Pinus caribaea</i> inoculadas con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. y un testigo después de veinticuatro semanas de edad	45

28A	Resultados de la variable largo de raíz de las plantas de <i>Pinus caribaea</i> inoculadas con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. y un testigo después de veinticuatro semanas de edad.....	45
29A	Resultados de la variable diámetro de las plantas de <i>Pinus caribaea</i> inoculadas con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. y un testigo después de veinticuatro semanas de edad	46
30A	Resultados de la variable peso fresco de las plantas de <i>Pinus caribaea</i> inoculadas con esporas de <i>Pisolithus</i> sp y un testigo después de veinticuatro semanas de edad	46
31A	Resultados de la variable peso seco de las plantas de <i>Pinus caribaea</i> inoculadas con esporas de <i>Pisolithus</i> sp. y un testigo después de veinticuatro semanas de edad	47

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
1	Cuerpo fructífero del hongo antes de abrirse las esporas, el cual mide entre 5 y 20 centímetros de largo y entre unos tres a 10 cm de diámetro, es de color café	14
2	Cuerpo fructífero del hongo después de abrirse y quedar expuestas las esporas y éste puede medir entre tres y diez centímetros de largo y unos dos hasta seis centímetros de diámetro	15
3	Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable altura junto al comportamiento reportado por el testigo	24
4	Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable largo de la raíz junto al comportamiento reportado por el testigo	26
5	Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable diámetro junto al comportamiento reportado por el testigo	28

6	Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable peso fresco junto al comportamiento reportado por el testigo	29
7	Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable peso seco junto al comportamiento reportado por el testigo	31
8	Efecto de las diferentes interacciones en plántulas sobre la variable altura de plantas	32
9	Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable largo de la raíz	34
10	Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable diámetro	35
11	Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable peso fresco	37
12	Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de <i>Pinus caribaea</i> , sobre la variable peso seco	38
13A	Mapa de ubicación del área experimental	48
14A	Distribución de las Unidades experimentales	49
15A	Aleatorización de las Unidades experimentales	50

EVALUACION DEL EFECTO QUE PRODUCE APLICAR TRES CONCENTRACIONES DE ESPORAS DEL HONGO MICORRIZICO *Pisolithus* sp. Y TRES INTERVALOS DE APLICACIÓN SOBRE LA ESPECIE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* A NIVEL DE VIVERO EN MACHAQUILA, POPTUN, PETEN.

EVALUATION OF THE EFFECT THAT APPLICATION OF THREE CONCETRATIONS OF SPOORS OF THE TOADTOOL MICORRYCAL *Pisolithus* sp AND THREE INTERVALS OF APPLICATION OF THE SPECIES *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, AT THE LEVEL OF COMMUNITY, IN MACHAQUILA, POPTUN, PETEN.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agroforestales y Vida Silvestre ubicado en la aldea Machaquilá de Poptún, Petén. En donde se evaluó el efecto que produce inocular tres diferentes concentraciones de esporas del género *Pisolithus* con tres intervalos de aplicación en plantas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. La práctica de inocular esporas de Micorrizas a plántulas del género *Pinus* se ha desarrollado en otros países más desarrollados que Guatemala, sin embargo, también acá se realizan algunos intentos por obtener resultados que puedan ayudar a mejorar la producción de plántulas en vivero.

Conocido es la simbiosis que forman algunos géneros de plantas con algunos géneros o especies de hongos, tales como las micorrizas y los beneficios que obtienen el uno del otro, como la disponibilidad de los elementos que facilita el hongo a la planta y la planta pone a disposición de la micorriza el Nitrógeno que ésta necesita.

En el presente estudio se evaluó el efecto que produce aplicar el inóculo o sea las esporas en tres diferentes concentraciones, 3×10^5 espora por ml/agua, 2×10^5 espora por ml/agua y 1×10^5 espora por ml/agua aplicado con tres diferentes intervalos de aplicación, siendo estos el de cada cuatro días, cada ocho días y cada doce días. Se utilizó el diseño de completamente al azar con arreglo bifactorial debido a que se evaluaron dos factores, cada factor con tres niveles y cada tratamiento con tres repeticiones. Además se instaló un testigo absoluto que sirvió para comparar los rendimientos obtenidos con los tratamientos aplicados.

Los resultados que se obtuvieron fueron más que satisfactorios ya que se determinó que si existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y entre las interacciones por lo que se determinó que la interacción que proporcionó mayor incremento en las variables analizadas es la aplicación de la concentración de 2×10^5 aplicada con un intervalo de cada cuatro días. Se logró determinar que independientemente de la concentración aplicada el intervalo que mayores incrementos reportó es el de cada cuatro días ya que siempre se mantuvo por encima de los demás intervalos.

Generalmente la concentración de 2×10^5 esporas por ml/agua es la que presenta lo mayores incrementos pero esta se ve afectada por el intervalo de aplicación de tal manera que con cuatro días de intervalo su rendimiento es mayor que con ocho y con doce, pero el efecto de aplicar cada ocho días es mayor que el de aplicar cada doce días. El testigo fue el que presentó los menores incrementos en todas las variables ya que fue el que siempre presentó las menores medias. El costo de aplicar cualquiera de los tratamientos es exactamente el mismo ya que es el mismo número de aplicaciones y las esporas se encuentran en el campo en abundancia en época de reproducción.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país eminentemente forestal, según los cálculos del Instituto Nacional de Bosques –INAB- más del 75% de las tierras son aptas o tienen vocación forestal, sin embargo el mismo INAB reconoce que en la actualidad se pierden aproximadamente una 90,000 hectáreas de bosque al año por diferentes razones, las que van desde el avance de la frontera agrícola y ganadera, el consumo de leña, los incendios forestales, algunas enfermedades hasta la expansión de las áreas urbanas (7).

Todas las razones anteriormente expuestas se deben principalmente al crecimiento poblacional desmedido, a diversos factores tanto económicos como culturales y hasta políticos pero que de todas formas desemboca por igual en la disminución de las áreas boscosas. Esto ha traído como consecuencia la penosa situación de contar únicamente con un total de 3,750,000 hectáreas de bosque, equivalente al 34% del área total del país y al 51% de del total de la masa forestal del mismo (7, 20).

El municipio de Poptún es un área en donde la especie de *Pinus caribaea var. hondurensis* es nativa y de gran importancia ecológica y económica para la región, sin embargo solo se han dedicado a la explotación del bosque y muy poco al manejo y cultivo de plantaciones, sin embargo desde hace varios años algunas personas pioneras se han dedicado a la producción de plantas en vivero y para ello han utilizado las esporas de hongo de *Pisolithus* sp. pero en diferentes métodos de aplicación, utilizado diferentes concentraciones y diferentes frecuencias de aplicación y como resultado han obtenido diferentes resultados en cuanto a calidad de planta se refiere.

La aplicación de hongos micorrícicos facilita a las plantas una mayor captación de los macro y micro nutrientes, la captación de agua, una mayor resistencia a las enfermedades, resistencia a periodos de sequía y hasta resistencia a altas temperaturas del suelo (17). En este trabajo se evaluó la inoculación de diferentes concentraciones de esporas de *Pisolithus* sp., con distintos intervalos de aplicación en plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis* en vivero y para ello se tomaron en cuenta las variables de altura de las plántulas, largo de las raíces, diámetro del tallo, peso fresco, peso seco y estado fitosanitario.

El número de aplicaciones por cada tratamiento fue de seis aplicaciones por cada uno, en los cuales se evaluaron las concentraciones de 1×10^5 , 2×10^5 y 3×10^5 esporas por ml/agua en intervalos de cada cuatro, ocho y doce días, la cantidad de solución utilizada fue de mililitro por aplicación para cada planta.

La interacción de aplicar la concentración de 2×10^5 esporas por mililitro de agua y aplicada en un intervalo de cada cuatro días es la que presentó el mayor incremento en plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis*, alcanzando una altura promedio de 18.43 centímetros, un largo de raíz promedio de 15.80 centímetros, un diámetro promedio de 0.290 centímetros un peso fresco de 3.27 gramos y un peso seco promedio de 0.66 gramos.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Guatemala sufre de grandes problemas de deforestación, por diferentes factores, causas o razones, pero que de todas maneras provoca serios problemas al manejo de sus recursos ya que no se están reponiendo las áreas deforestadas. Esta situación trae como consecuencia la necesidad de producir plántulas de rápido crecimiento para la obtención de recursos como leña, madera, la protección del manto acuífero y la protección de la fauna endémica.

El pino de Petén (*Pinus caribaea var. hondurensis*) es una especie que se adapta a diferentes condiciones climáticas y topográficas, está distribuido en forma natural en los departamentos de Zacapa, Alta Verapaz, Izabal y Petén y su adaptación en cuanto a elevación va desde los 0 hasta los 1,000 m. sobre el nivel del mar aunque se puede adaptar a mayores alturas si la precipitación anual sobrepasa los 1,900 mm. Esta especie puede alcanzar hasta los 30 metros de altura y hasta un metro de diámetro, su madera es de color blanca y es considerada una madera suave y su uso está orientado en su mayoría a la construcción y en carpinterías para la elaboración de muebles o como todavía se observa, algunos postes del tendido eléctrico (3).

Por estas razones se plantea el encontrar técnicas que faciliten el incremento de plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis* para poder replantar áreas que han sido deforestadas en otras épocas por diferentes razones y reponer de alguna manera la cubierta forestal que tanta falta le hace a Guatemala y además poder utilizar estas mismas plantaciones como recursos maderables más adelante por futuras generaciones.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 EL PINO DE PETÉN (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*)

Es la especie en estudio y tiene su distribución en forma natural en cuatro departamentos de Guatemala, siendo estos Izabal, Alta Verapaz, Zacapa y Petén. Esta especie mide aproximadamente entre 15 y 30 metros de altura y puede alcanzar un diámetro a la altura de pecho de hasta 1 metro. Es de ramas horizontales extensas, acículas cortas y deciduas, usualmente distribuidas en fascículos de tres, que tienen una medida entre 4 y 25 centímetros de largo. Sus conos suelen ser ovoides u oblongos de 4 a 12 centímetros de largo de 3.5 a 6 centímetros de ancho. Su distribución en cuanto a la altura sobre el nivel del mar va desde los 0 metros hasta los 1,000 msnm, pero se adapta a mayores alturas si la precipitación pluvial sobrepasa los 1,900. mm por año (3).

Su uso es especialmente de gran ayuda a la construcción de terrazas en casas de habitación o edificios, es ampliamente usada su madera para la realización de muebles, en la conducción de tendidos eléctricos y en la elaboración de artesones para vivienda rural. Su madera es de color blanco y es considerada como una madera suave ya que es fácil de tallar, en algunas ocasiones se puede obtener resina del fuste pero la planta muere con el tiempo. En raras ocasiones se siembra solamente para ser utilizado como árbol navideño siempre y cuando se cuente con la licencia respectiva.

3.1.2 DESCRIPCIÓN DE MICORRIZAS

La primera descripción de micorrizas con estructura reconocible fue realizada por Frank, en 1,885 (*Mico* = hongo + *Rhiza*= raíz) (14). Según Parlade (13), las micorrizas son órganos complejos resultantes de la simbiosis mutualista entre raíces de planta vasculares y hongo del suelo, el hongo invade el córtex de la raíz, mientras que el meristemo apical y el cilindro vascular quedan intactos. Esta asociación resulta altamente beneficiosa para las plantas por el incremento en absorción de nutrientes del suelo, de agua y por la protección que recibe contra patógenos y por las hormonas sintetizadas en el sistema simbiótico.

En la actualidad las micorrizas han sido de mucho beneficio en la introducción de muchas coníferas en varias partes del mundo ya que éstas no estaban presentes en las áreas de siembra y se han tenido que introducir ciertos tipos de micorrizas. Una característica muy especial de las micorrizas es que estas no se les encuentra en plantas acuáticas, en crucíferas, en quenopodiáceas ni en ciperáceas. Las hifas en la micorrización son las responsables de la mayor absorción de agua y nutrimentos del suelo, mientras que las internas intervienen más directamente en el intercambio nutricional y metabólico de la relación hongo-planta (1).

En el proceso de micorrización la raíz formada por pelos radiculares será sustituida por las hifas del hongo, lo que implica un menor gasto energético a la planta y una mayor área de absorción por la longitud de las hifas extremas desarrolladas. Las micorrizas pueden tomar variadas formas dependiendo de la naturaleza de la planta y del hongo (14).

3.1.2.1 BENEFICIO QUE RECIBE UNA PLANTA AL ENTRAR EN SIMBIOSIS CON UN HONGO MICORRÍCICO

- A. Aumento en producción de hormonas estimulantes del crecimiento (auxinas, citoquininas, tiaminas), que benefician al huésped.
- B. Mayor absorción de agua y nutrimentos ya que el micelio fúngico se prolonga más al suelo y lo trasloca al sistema radicular.
- C. Almacenamiento en su manto fungoso de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, silicio, zinc, aluminio y boro.
- D. Tolerancia a sequías, resistencia a altas temperaturas del suelo y valores extremos de pH.

3.1.2.2 TIPOS DE MICORRIZAS

A. ECTOMICORRIZAS

Son formadas por casi todos los grupos de Basidiomicetos, muchos ascomicetos hipogeos y algunos epigeos y por ficomicetos del género *Endogene*. Este tipo de micorriza se caracteriza por la formación de una estructura denominada manto (puede ser delgado), compuesta por hifas del hongo

densamente agrupadas que envuelven las raíces finas del huésped. Las plantas que forman ectomicorrizas en árboles o arbustos pertenecen a las familias Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae y Silicaceae, así como algunas de las Rosaceae, Leguminaceae, Mirtaceae y otras de clima templado (17).

B. MICORRIZAS ARBUSTOIDES

Están previstas de manto, hifas de proyección externa y normalmente red de Hartig bien desarrollada, penetración intracelular. Las plantas hospedadas pertenecen a los géneros componentes del sotobosque en ecosistemas ectomicorrícicos (13).

C. ECTOENDOMICORRIZAS

Un manto muy reducido o ausente, red de Hartig bien desarrollada, penetración de las hifas en las células huésped. Se encuentra asociadas con coníferas y se les encuentra en plantas en vivero (13).

D. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LAS ECTOMICORRIZAS

Las micorrizas son estructuras dinámicas que cambian desde un estado juvenil a la siempre mayor longevidad de una raíz trófica no micorrizada o se pueden adaptar a ciclos de crecimiento. La zona distal de los sistemas de hifas que constituyen la red de Hartig, contienen un citoplasma denso, rico en ribosomas, retículo endoplasmático rugoso y mitocondrias que frecuentemente recubren las paredes de las hifas. En la zona próxima se sitúan grandes básculas, el manto fúngico está formado por un plecténquima de hifas (14).

Según Parlade (13) en estadios iniciales de la infección, las hifas se desarrollan alrededor de células corticales diferenciadas y metabólicamente activas, formando en ese momento la red de Hartig. En estadio de madurez, las células corticales de la raíz, activas metabólicamente, se hayan rodeadas prácticamente de un sistema de hifas en su totalidad. El estadio de dormición se caracteriza por la formación de metacutis, consistente en una capa protectora constituida por suberificación de las paredes celulares y acumulación de polifenoles en las células del ápice radicular. De este modo, el meristemo radicular queda protegido y separado del hongo, la zona distal de los sistemas de hifas que constituyen la red de Hartig contienen un citoplasma denso rico en ribosomas, retículo endoplasmático rugoso y mitocondrias que frecuentemente recubren las paredes de las hifas.

Read y Finlay, demostraron que los carbohidratos pueden ser transportados a largas distancia a través de los cordones miceliarios interconectados con las raíces, de ese modo se suministran carbohidratos a otras micorrizas en formación a partir de micorrizas ya preexistentes.

E. ANATOMÍA DE LAS ECTOMICORRIZAS

Las hifas tienden a desarrollarse en las superficies radicales, sin embargo, en el desarrollo de una ectomicorriza, se considera un manto con un tejido compacto y no como una simple envoltura de hifas. Los mantos fúngicos son específicos de las ectomicorrizas. El Manto se desarrolla con anterioridad a la red de Hartig en ectomicorrizas estudiadas en *Fagus sylvatica*. Sin embargo, las ectomicorrizas formadas por *Laccaria bicolor* y *Pinus banksiana* el manto y la red aparecen y se desarrollan de manera simultánea. En angiospermas, los mantos parecen preceder en su organización a la formación de la red de Hartig debido a que sus raíces son relativamente más resistentes a la penetración de las hifas.

F. EL MANTO

Torres (17) sin señalar la fuente, en un sentido amplio manifiesta que los mantos maduros son característicos reminiscentes de tejidos fúngicos observables en los esporocarpos y tienen diferentes estratos desde su superficie extrema, hasta la interior que está en contacto con la epidermis radical. Torres Martínez (18) por su parte, escribe que se distinguen nueve subtipos de mantos plectenquimáticos y seis manto pseudoplectenquimáticos que son:

A. PLECTENQUIMÁTICOS

- a. Grupos de hifas compuestos por una red.
- b. Hifas dispuestas en forma irregular sobre la superficie de la raíz.
- c. Hifas embebidas de una matriz gelatinosa originada de las paredes de las hifas.
- d. Hifas dispuestas en una red desde la que parten cistidios prominentes.
- e. Hifas dispuestas en una red producida por la ramificación múltiple de hifas.
- f. Zona de células redondeadas sobre un manto de hifas entrelazadas.
- g. Hifas dispuestas en forma de estrellas.
- h. Hifas irregulares dispuestas en forma de red
- i. Hifas dispuestas de forma perpendicular a la superficie del manto.

B. PSEUDOPLECTENQUIMÁTICOS

- a. Células Angulares y grupos de células redondeadas emergentes.
- b. Células angulares.
- c. Células epidermiodes.
- d. Células más o meno angulares.

G. LA RED DE HARTIG

La extensión de la red de Hartig es otra característica importante para la determinación de ectomicorrizas, puede desarrollarse solo al nivel de la primera capa de células corticales, como ocurre en las angiospermas o penetrar hasta la endodermis, como es típico de gimnospermas. El micelio que forma la red de Hartig puede extenderse hasta en las raíces de angiospermas.

En general en el desarrollo de la red de Hartig se producen cambios de crecimiento y morfología de las hifas. Las hifas se orientan transversalmente al eje de la raíz y se ramifican irregularmente sin apenas septos. La organización de la red de Hartig es cenocítica, encontrándose un número variable por compartimiento (11).

H. TIPOS DE RAMIFICACIONES

Las ectomicorrizas que aparecen en las especies del género *Pinus*, están ramificadas dicotómicamente una y varias veces, dando lugar a sistemas coraloides. Cuando estos sistemas coraloides se ven envueltos por una capa de hifas, se desarrollan los sistemas en forma de nódulos o tubérculos. Las formas más típicas de la ectomicorrizas son las siguientes: a) No ramificadas, b) Monopodial pinadas, c) Monopodial piramidal, d) Dicotómicas, e) Irregular pinada, f) Coraloides, y g) Tuberosas (11).

3.1.3 INTERACCIÓN PLANTA - HONGO

3.1.3.1 EL PAPEL DE LA PLANTA

La morfología y disposición interna de las células radicales son características del hospedante, pero modificadas por la interacción del hongo. Este tipo de ramificaciones del sistema micorrícico varía muy poco o no varía entre especies arbóreas del mismo género, pero sí existen grandes diferencias entre géneros, en general la estructura interna de la raíz se modifica por la carencia de epidermis y pelos radicales y por la distorsión especial de las células corticales (17). La planta pone a la disposición del hongo el nitrógeno un elemento necesario para el desarrollo de la misma.

3.1.3.2 EL PAPEL DEL HONGO

Según Torres (17), sin anotar la fuente, señala que el hongo simbiote es el que directa o indirectamente produce cambios en las raíces, hasta transformarla en una ectomicorriza. Rodea a la raíz con sus hifas formando un manto bien diferenciado. Las hifas penetran entre las células corticales formando la red de Hartig. La interacción de la raíz provoca un cambio en las dimensiones de las células corticales, también estimula un crecimiento diferencial de la raíz, como la formación de dicotomías en el género *Pinus* y esta diferenciación puede estar influida por el hongo a través de la generación de auxinas. El hongo pone a la disposición de la planta macro y micro nutrientes que la misma puede utilizar para su desarrollo, además la protege contra la invasión de otros hongos, le da disponibilidad de agua y resistencia a algunas enfermedades de las raíces.

3.1.4 FORMAS DE INOCULACIÓN ARTIFICIAL

Existen varias formas de inoculación de las micorrizas en vivero, las que van desde la incorporación del sustrato proveniente del bosque de pino, repique de plántulas micorrizadas sobre los tabloncillos del semillero hasta llegar a la inoculación de esporas y utilización del micelio.

A. INCORPORACIÓN DE SUSTRATO

Es la forma de inocular el hongo más usado, especialmente en países en vías de desarrollo y consiste en recolectar humus proveniente de bosques de pino que contengan micelio, esporas y micorrizas para luego mezclarlo con el sustrato del vivero. Para obtener resultados satisfactorios la mezcla deberá de mantenerse húmeda hasta su uso.

B. UTILIZACIÓN DE LA PLANTA MICORRIZADA

En este método se utilizan plantas infectadas con el micelio que son colectadas en plantaciones establecidas, con ello se logra la infección de las plantas no micorrizadas que están próximas pero esta metodología solo se ha realizado a nivel de experimento simple ya que se necesitan grandes cantidades de inóculo.

C. UTILIZACIÓN DE ESPORAS

Este método es utilizado a partir de esporas procedentes de inóculo para desarrollar micorrizas específicos de hongos conocidos (13). Según Trappe (19), los primeros intentos de inoculaciones con esporas se desarrollaron en el siglo XVII, mediante la aplicación de esporocarpos de trufas en agujeros practicado debajo de roble en plantaciones para asegurar la producción de trufas.

Los hongos del grupo de los Gasteromicetos, tales como, *Rhizopogon*, *Scleroderma* y *Pisolithus*, producen gran cantidad de basidiosporas fáciles de colectar en grandes cantidades, estas esporas se

recolectan y tras la desecación se aplican ya sea en seco o mediante el riego (17). Marx (10), anota que se pueden almacenar por largo tiempo sin que su viabilidad se vea afectada drásticamente y entre sus inconvenientes está el que no existe una metodología para determinar la viabilidad de las esporas y la irregular fructificación de los esporocarpos.

D. UTILIZACIÓN DEL MICELIO

Es uno de los métodos más sanos biológicamente usado en inoculación. La utilización del micelio vegetativo o miceliar fue iniciado en Australia por Moser y su desventaja principal es que hay que producirlo mediante cultivos específicos principalmente a partir de turba y vermiculita.

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El experimento se realizó en la aldea Machaquilá del municipio de Poptún, del departamento de Petén, está ubicada al norte de este mismo municipio y dista 5 kilómetros de la cabecera municipal, 90 kilómetros de la cabecera departamental de Flores y 393 de la ciudad capital de Guatemala (Anexo 1).

3.2.2 RELIEVE Y FISIOGRAFÍA

La aldea de Machaquilá se encuentra ubicada en la región fisiográfica del Cinturón Plegado del Lacandón, la cual se caracteriza por presentar un relieve cárstico con sumideros y mogotes de carácter agreste, con predominio de colinas de poca elevación que aumentan en altitud al Este al conectarse con las montañas Mayas. Pertenece a la subcuenca del río Machaquilá y ésta a la vez a la cuenca del río la Pasión y ambas pertenecen a la vertiente del golfo de México. Presenta pendientes que van desde el 2% hasta el 60%, la orientación de las pendientes en su mayor parte es en sentido Sur-Oeste.

3.2.3 SUELOS

Según la clasificación de Simons, Taramo y Pinto (16), los suelos de esta área pertenecen a la serie Mopán Suchachín. A la serie Mopán corresponden los suelos cubierto por bosque latifoliados densos de caoba (*Switenia macrophila*), cedro (*cedrela odorata*) y chico zapote (*Manilkara sapota*). Son suelos moderadamente profundos, con un drenaje interno deficiente, suelos de formación *insitu*, del tipo de las Montmongorillonita, textura arcillosa y ligeramente arcillosa.

A la serie Suchachín corresponden los suelos de sabana cubiertos de bosque abierto de pino. Son suelos poco profundos con un drenaje deficiente, desarrollados sobre material residual de roca calcárea y de reacción fuerte ácida. En relación con la fertilidad del suelo se presenta un estudio realizado en año de 1,998 por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) y las características tanto físicas como químicas se presenta a continuación (Cuadro 1).

Cuadro 1 Análisis de fertilidad de suelos para la aldea Machaquilá

PARÁMETRO	TIERRAS ALTAS	TIERRAS BAJAS	PLANICIE INTERCOLINAR
TEXTURA	FRANCO-ARCILLOSO	FRANCO-ARCILLOSO-ARENOSO	FRANCO-ARENOSO
Densidad aparente	1.24	1.16	1.14
pH	6.50	6.10	7.10
Fósforo (ppm)	1.47	1.47	1.80
Potasio (ppm)	105.00	40.00	28.00
Ca. EEQ 100 ml	5.64	8.34	11.46
Mg. Meq 100 ml	1.23	0.99	3.69
Ca - Mg	4.58	8.42	3.11
Ca+ Mg/K	24.92	90.26	211
% Materia orgánica	3.94	2.48	3.09

Los suelos de esta región son suelos poco profundos, de textura pesada con un drenaje moderado. En relación con la fertilidad o potencial productivo de los suelos tomando como base los resultados del laboratorio se tienen los siguientes aportes:

- En las tierras altas se encontró en las muestras analizadas con fines de fertilidad que los niveles de P y K están bajos y los niveles de Ca y Mg son adecuados, el pH corresponde a neutro.
- En las tierras bajas se encontraron niveles bajo de P y K, así como niveles altos de Calcio y Magnesio y el pH se encontró ligeramente ácido.
- En las planicies intercolinarias se encontraron niveles bajos de P y K así como niveles altos de P y K así como niveles altos de Mg. El pH se encontró neutro.

En general los suelos de Machaquilá al determinar la relación Ca/Mg. Se puede observar que el valor se clasifica como muy alto y adecuado, así como también el valor de la relación Ca+Mg/K es alto.

3.2.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Según los registros meteorológicos de 1,984 a 1,995 reportados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de la estación de Poptún, la más cercana al área de estudio, los factores climáticos son los siguientes (Cuadro 2).

Cuadro 2 Variables climáticas para la zona, registrada por la estación metereológica de Poptún

MES	TEMPERATURA MEDIA (°C)	PRECIPITACIÓN MEDIA	HUMEDAD RELATIVA (%)	DÍAS DE LLUVIA (mm)
Enero	20.01	139.15	85.60	17.00
Febrero	22.00	56.35	81.40	9.60
Marzo	23.71	75.76	76.10	7.90
Abril	24.90	79.57	74.80	6.50
Mayo	24.99	123.46	74.80	11.40
Junio	25.41	180.57	79.20	18.00
Julio	23.63	252.40	83.00	20.60
Agosto	23.81	202.76	82.50	21.50
Septiembre	23.56	256.00	84.60	20.50
Octubre	22.58	154.50	87.80	19.10
Noviembre	21.51	182.15	86.70	17.10
Diciembre	20.81	110.30	86.40	15.30

Al observar el climadiagrama, se puede apreciar que la temperatura permanece casi constante a través de todo el año, es decir, que las diferencias en cuanto a temperatura no representan una limitante para el desarrollo de cualquier tipo de plantación. La precipitación media anual es de 1,842.9 mm lo cual garantiza en forma general el buen desarrollo de cultivos tropicales y la época crítica tal como se observa en el cuadro anterior, durante los meses de marzo y abril, que la época que menor cantidad de lluvia cae.

A. TEMPERATURA

La temperatura media anual es de 22.89 grados centígrados, con una máxima promedio de 24.75°C para los meses de marzo a junio y una mínima de 20.4 para los meses de diciembre y enero.

B. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa se mantiene casi constante durante todo el año con un promedio de 82.00% mostrando un rango de variación que va desde los 74 hasta 87% de humedad.

C. CLIMA

De acuerdo a la clasificación de Thortwaite, el tipo de clima del área corresponde a cálido, húmedo, con invierno benigno y sin estación seca bien definida (A, b, B, r).

D. ZONA DE VIDA

Según De La Cruz (5), el área pertenece al bosque muy húmedo sub tropical cálido (Bmh-sc).

3.2.5 DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL Y LA MICORRIZA

3.2.5.1 EL PINO DE PETÉN (*Pinus caribaea var. hondurensis*)

Es una especie de pino muy fino el cual se desarrolla en climas tropicales, su semilla ha sido utilizada para realizar grandes plantaciones de bosques e introducir la especie principalmente en el Cono Sur especialmente en los países de Venezuela y Colombia. Es un árbol relativamente muy alto, de aproximadamente 15 a 30 metros de altura y que puede alcanzar hasta un metro de diámetro a la altura de pecho, pero para uso en la construcción puede estar listo a los 25 años de plantado y alcanzar hasta 60 centímetros de diámetro en ese periodo de tiempo.

La planta es de ramas horizontales extensas, acículas cortas y deciduas, usualmente distribuidas en folículos de tres, tienen una medida de 4 a 25 centímetros de largo. Sus conos pueden ser oblongos u ovoides de 4 a 12 centímetros de largo y de 3.5 a 6 cm de ancho. Su distribución natural en cuanto a la altura va desde los 0 metros hasta los 1,000 sobre el nivel del mar, aunque se puede adaptar a rangos más altos que tengan una precipitación promedio de 1,900 mm /año. (3). En Guatemala se encuentra en forma natural distribuido en cuatro departamentos, siendo esto Zacapa, Alta Verapaz, Izabal y Petén. También se puede encontrar en otros países en forma natural como en Belice, Honduras y algunos países del Caribe. Se usa generalmente para la construcción de viviendas o como madera para la construcción de terrazas, como materia prima para carpinterías o para la conducción de tendido eléctrico.

3.2.5.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA SEGÚN EL SISTEMA CRONQUIST

REINO	Vegetal
SUBREINO	Embriobionta
DIVISION	Pinophyta
CLASE	Pinopsida
ORDEN	Pinales

FAMILIA	Pinaceae
GÉNERO	<i>Pinus</i>
ESPECIE	<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>

3.2.5.3 EL HONGO *Pisolithus* sp.

En otros países es usado como alimento y como medicina, pero en la actualidad se le da el uso en la producción de plántulas especialmente a nivel de vivero o se utiliza también para inocular áreas que van a ser reforestadas y en donde no existen los hongos de este tipo de manera natural.

3.2.5.4 EL esporocarpus

Este mide entre 5 y 20 centímetros de largo, es de color amarillento, las esporas aparentan ser gránulos de color rojizo y miden aproximadamente entre 7 y 12 μ m, el conjunto de esporas tiene forma globoide y cada una de ellas aparenta ser un gránulo y se observan como si fueran pelusa sobre el cuerpo fructífero del hongo. La época de reproducción y en la que se encuentran con frecuencia los cuerpos fructíferos del hongo son los meses de abril y mayo, especialmente después de caer las primeras lluvias. Importante es hacer notar que estas solo se encuentran en áreas no disturbadas de bosques de pino maduro o muy maduro. Esta especie se encuentra en bosques maduros y sobre maduros del género *Pinus*, principalmente cerca de las raíces grandes y viejas. Las esporas pueden permanecer por periodos largos sin que pierdan su viabilidad, siempre y cuando se conserven a temperaturas adecuadas y sin presencia de humedad (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Cuerpo fructífero del hongo antes de abrirse las esporas, el cual mide entre 5 y 20 centímetros de largo y entre 3 a 10 cm de diámetro, es de color café.



Figura 2. Cuerpo fructífero del hongo después de abrirse y quedar expuestas las esporas y éste puede medir entre 3 y 10 cms de largo y entre 2 hasta 6 cms de diámetro.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tres concentraciones de esporas de *Pisolithus sp.* y tres diferentes intervalos de aplicación, en el desarrollo de plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis*.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la frecuencia de aplicación que proporcione mayor crecimiento de las plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis*
2. Determinar la concentración de esporas de *Pisolithus sp.* que proporcione mayor crecimiento a las plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis*
3. Determinar si existe interacción entre la concentración y la frecuencia de aplicación de *Pisolithus sp* sobre la especie de *Pinus caribaea var. hondurensis*.
4. Determinar la incidencia y el índice de severidad de las planta

5. HIPOTESIS

5.1 Existe al menos una frecuencia de aplicación de esporas de *Pisolithus sp.* que incrementa el desarrollo del *Pinus caribaea var. hondurensis*.

5.2 Existe al menos una dosis de concentración de esporas de *Pisolithus sp.* que incrementa el desarrollo de las plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis*.

5.3 Existe interacción entre la dosis y la frecuencia de aplicación en cuanto al desarrollo de las plántulas de *Pinus caribaea var. hondurensis*.

6. METODOLOGIA

6.1 TRATAMIENTOS

Se evaluaron tres diferentes concentraciones de esporas, las cuales fueron de 1×10^5 , la de 2×10^5 y 3×10^5 , por cc de agua, en intervalos de cada cuatro, cada ocho y doce días, más un testigo absoluto para poder tener un parámetro de comparación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción de cada uno de los tratamientos aplicados a las plántulas de *Pinus caribaea*, implementados en la aldea Machaquilá, Poptún, Petén. 2004.

Factor / Concentración	Factor / días	Tratamientos	Descripción
A1	B1	A1B1	Con. 1×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 4 días
	B2	A1B2	Con. 1×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 8 días
	B3	A1B3	Con. 1×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 12 días
A2	B1	A2B1	Con. 2×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 4 días
	B2	A2B2	Con. 2×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 8 días
	B3	A2B3	Con. 2×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 12 días
A3	B1	A3B1	Con. 3×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 4 días
	B2	A3B2	Con. 3×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 8 días
	B3	A3B3	Con. 3×10^5 esporas/ml de solución aplicado C/ 12 días

Referencias:

- A1. Concentración de 3×10^5 esporas/ml de solución
- A2. Concentración de 2×10^5 esporas/ml de solución
- A3. Concentración de 1×10^5 esporas/ml de solución
- B1. Intervalo de aplicación de cada cuatro días
- B2. Intervalo de aplicación de cada ocho días
- B3. Intervalo de aplicación de cada doce días

6.2 UNIDAD EXPERIMENTAL

El número de unidades experimentales se obtuvo por la fórmula: $N = Tr$

Donde:

N = número de unidades experimentales.

T = número de tratamientos

r = número de repeticiones

Cada unidad experimental estuvo compuesta por la cantidad de 10 plántulas y para cada tratamiento se efectuaron tres repeticiones, en total se utilizaron 300 plántulas de *Pinus caribaea*, el número de unidades experimentales fue de treinta.

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado para este estudio fue un Completo Azar con arreglo bifactorial (concentración de esporas y frecuencia de aplicación), con tres niveles cada uno para un total de nueve tratamientos, más la incorporación de un testigo absoluto. Los tratamientos fueron asignados a las unidades experimentales aleatoriamente (al azar) y se utilizó este tipo de diseño debido a que es el que más se adaptaba a las condiciones del experimento en cuanto homogeneidad y por las distintas combinaciones a aplicar.

Se utilizaron dos modelos estadísticos para el análisis de los datos.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}, \text{ y}$$

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \Phi_j + T\Phi_j + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésimo tratamiento

μ = Efecto de la media general del experimento

T_i = Efecto de la i -ésimo tratamiento

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésimo tratamiento

T_i = Efecto de la i -ésima concentración

Φ_j = Efecto de la i -ésima frecuencia

$T\Phi_j$ = Efecto de la i -ésima interacción

E_{ijk} = error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental

6.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.4.1 *Pinus caribaea var. hondurensis*

La semilla de *Pinus caribaea var. hondurensis* fue adquirida en el Banco de semillas del Instituto Nacional de Bosques –INAB- y para realizar el experimento se utilizaron un total de 300 plantas, las cuales previamente se pusieron a germinar en un lugar adecuado denominado semillero.

6.4.2 *Pisolithus* sp.

Las esporas del género *Pisolithus* sp. fueron colectadas en el área de reserva “Pinos de Poptún” durante los meses de abril y mayo, que es la época de fructificación del hongo.

6.4.3 DE LAS ESPORAS

Inicialmente se colectaron los cuerpos fructíferos del hongo de *Pisolithus* sp., y luego se procedió a realizar una limpieza de las esporas del cuerpo fructífero con un pincel de cerdas gruesa y su disección de forma natural utilizando solo la circulación normal del aire. Para lograr mejores resultados se procedió a coleccionar únicamente la cantidad de 0.10 gramos de basidiosporas por cada cuerpo fructífero. Luego se procedió a mezclar las basidiosporas con agua destilada y se le agregaron cinco gotas de Tween 20, agitándose por un periodo de 20 minutos, posteriormente se procedió a realizar el conteo de las esporas y para ello se utilizó un hematómetro.

6.4.4 DE LAS PLÁNTULAS

La semilla de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* fue puesta a germinar en un lugar especial denominado semillero y luego de 10 días de germinadas, las plántulas fueron colocadas en su respectiva bolsa de polietileno las cuales tenían una medida de 3 por 4 por 8 pulgadas, las cuales habían sido llenadas con el sustrato previamente preparado. El sustrato estaba compuesto para el efecto con una proporción de 2:1:1 lo que significa dos partes de tierra negra, una parte de arena y una parte de materia orgánica.

Se colocaron dos plántulas por bolsa para posteriormente eliminar la que presentaba las peores características, teniendo especial cuidado en no dañar la plántula que iba a ser objeto de estudio. Posteriormente fueron distribuidas en el lugar del experimento en un total de 10 plantas por unidad experimental para ser sometidas a los tratamientos según sorteo elaborado para el efecto. Todas las plantas fueron sometidas a las mismas técnicas de riego (un riego cada dos días), limpiezas manuales (una cada 15 días) fertilización (una vez cada 15 días), para ello se utilizó fertilizantes elaborados a partir de quelatos, Fetrilón y Peter M77, para proporcionar hierro y micro nutrientes a las plantas.

La fertilización inicio después de la cuarta semana a partir de la siembra en el semillero combinando 3.6 gramos Peter M77, 0.24 gr. de fetrilón por dos litros de fertilizante preparado con agua corriente. El compuesto previo a su aplicación fue llevado a un pH de 5.5 y se aplicó la cantidad de 10 ml del compuesto por planta.

6.4.5 DOSIFICACIÓN DEL INÓCULO

La manera de inocular las esporas en el experimento fue por medio de inoculación directa al aplicar un mililitro de solución por cada una de las plantas tratadas y por cada concentración aplicada. Las concentraciones aplicadas fueron las de 1×10^5 , 2×10^5 y 3×10^5 y la frecuencia de aplicación fue de cuatro, ocho y doce días con un total de 5 aplicaciones para cada tratamiento. Además se instaló un testigo absoluto que al igual que todos los tratamientos se le aplicaron todos los cuidados que una plántula de vivero requiere (Cuadro 4).

Cuadro 4. Inoculación de las esporas según intervalo de aplicación después de llevadas las plántulas al vivero. El Petén 2004.

Conc. esporas (cc/agua)	Frec.	DÍAS DE APLICACIÓN											
		0	4	8	12	16	20	24	32	36	40	48	60
1×10^5	4	X	X	X	X	X	X						
2×10^5	4	X	X	X	X	X	X						
3×10^5	4	X	X	X	X	X	X						
1×10^5	8	X		X		X		X	X		X		
2×10^5	8	X		X		X		X	X		X		
3×10^5	8	X		X		X		X	X		X		
1×10^5	12	X			X			X		X		X	X
2×10^5	12	X			X			X		X		X	X
3×10^5	12	X			X			X		X		X	X

6.5 VARIABLES DE RESPUESTA

6.5.1. ALTURA DE LA PLANTA

Para medir el efecto causado por los tratamientos se procedió a la medición de la altura de las plántulas, para lo cual se utilizó una regla milimetrada para mayor exactitud y se tomó desde el hipocotilo de la planta hasta el meristemo apical, la medición se realizó en centímetros y se realizó una sola vez después de la 24ava semana.

6.5.2 LARGO DE LA RAÍZ

Para medir el efecto causado por los tratamientos en esta variable se procedió a realizar la medida del largo de la raíz y para ello se contó con la ayuda de una regla milimetrada y la medición fue realizada cuando terminó el experimento. La escala utilizada fue en centímetros.

6.5.3 DIÁMETRO DEL TALLO

Para medir el efecto causado por los tratamientos en esta variable se procedió a realizar la medida del diámetro de las plántulas y para ello se utilizó un vernier y la medición se realizó a la altura de donde se divide la raíz y la parte aérea de la planta.

6.5.4 PESO FRESCO

Para medir el efecto causado por los tratamientos en esta variable se procedió a pesar todas las plántulas del experimento y para ello se contó con la ayuda de una balanza. La medición se realizó por única vez después de concluido el experimento y la unidad de medida utilizada fue en gramos.

6.5.5 PESO SECO

Para medir el efecto causado por los tratamientos en esta variable se procedió a secar las plantas separando la parte aérea de la parte radicular de la planta y se introdujo a un horno a 30 °C y por espacio de setenta y dos horas. El peso se midió en gramos y se realizó después de finalizado el experimento.

6.5.6 ESTADO FITOSANITARIO DE LAS PLANTAS

Este conteo se realizó una vez terminado el experimento y para ello fue necesario tomar algunos parámetros, que aunque son muy subjetivos, si pueden ayudar a tomar una mejor decisión a la hora de aplicar un tratamiento recomendado, se analizó también el índice de severidad de las enfermedades y la incidencia de las mismas. El Índice de incidencia se analiza en porcentaje, la severidad se midió en ataque severo, muy severo, ligeramente severo (Cuadro 5).

Cuadro 5 Características que se tomaron en cuenta para la evaluación del estado fitosanitario.

CARACTERÍSTICAS	ESCALA			
	Color	Verde	Amarillo	Café
Enfermedad	Muy enferma	Enferma	Medianamente enferma	Sana

6.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico estaba planificado para una producción de 100,000 plántulas en vivero que es la cantidad mínima a producir para obtener una rentabilidad aceptable, sin embargo se descartó ya que el costo de aplicación del tratamiento es igual para todos los tratamientos, no hay diferencia y se decidió no realizar dicho análisis.

6.7 ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó un ANDEVA al 5% de significancia, correspondiente al diseño experimental utilizado y las variables que presentan diferencias significativas se les aplicó una prueba múltiple de medias Tukey.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 ANÁLISIS DE COMPLETAMENTE AL AZAR

7.1.1 ALTURA DE LA PLANTA

De acuerdo a los modelos estadísticos y tomando en cuenta los diez tratamientos (nueve más el testigo) se procedió a el análisis de cada una de las variables. La altura de plantas fue una variable que presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos por lo que se realizó el ANDEVA correspondiente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable altura.

FUENTE DE VARIACIÓN	DEGRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	DECUADRADO MEDIO	F	Pr>F
				CALCULADA	
Tratamientos	9	12.34	1.37	23.51*	0.0001
Error exp.	20	1.16	0.58		
Total	29	13.51			

CV = 1.35

Se efectuó el ANDEVA utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente sí existen diferencias significativas entre tratamientos ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 (Pr>F=.0001) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba de Tukey para la diferencia entre alturas de planta inoculadas con esporas de *Pisolithus* sp., con su respectivo intervalo de aplicación. El Petén 2004.

TRATAMIENTOS	MEDIA(cm)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
2X10 ⁵ /4 D	18.43	A
3X10 ⁵ /4 D	18.33	A
1X10 ⁵ /4 D	18.23	A
3X10 ⁵ /8 D	18.13	A
2X10 ⁵ /8 D	18.13	A
3X10 ⁵ /12 D	18.06	A
1X10 ⁵ /8 D	17.93	AB
1X10 ⁵ /8 D	17.83	AB
2X10 ⁵ /12 D	17.36	B
Testigo	16.13	C

Se pudo determinar que el testigo se comportó totalmente diferente a los demás tratamientos, los tratamientos de $2 \times 10^5/4D$, $3 \times 10^5/4D$, $1 \times 10^5/4D$, $3 \times 10^5/8D$, $2 \times 10^5/8D$ y $3 \times 10^5/12D$ fueron estadísticamente similares, pero diferentes a los $1 \times 10^5/8D$, $1 \times 10^5/12D$ y $2 \times 10^5/12D$; $1 \times 10^5/8D$, $1 \times 10^5/8D$ que a su vez son estadísticamente iguales entre sí pero diferentes a todos los tratamientos y $2 \times 10^5/12D$ es totalmente diferente de todos los tratamientos con una media por encima del testigo pero por debajo de los demás tratamientos.

Se pudo observar que el tratamiento de $2 \times 10^5/4D$ fue comparativamente mejor que el resto de los tratamientos, y que la frecuencia de cada cuatro días es la que se mantuvo con mejores resultados (Figura 3).

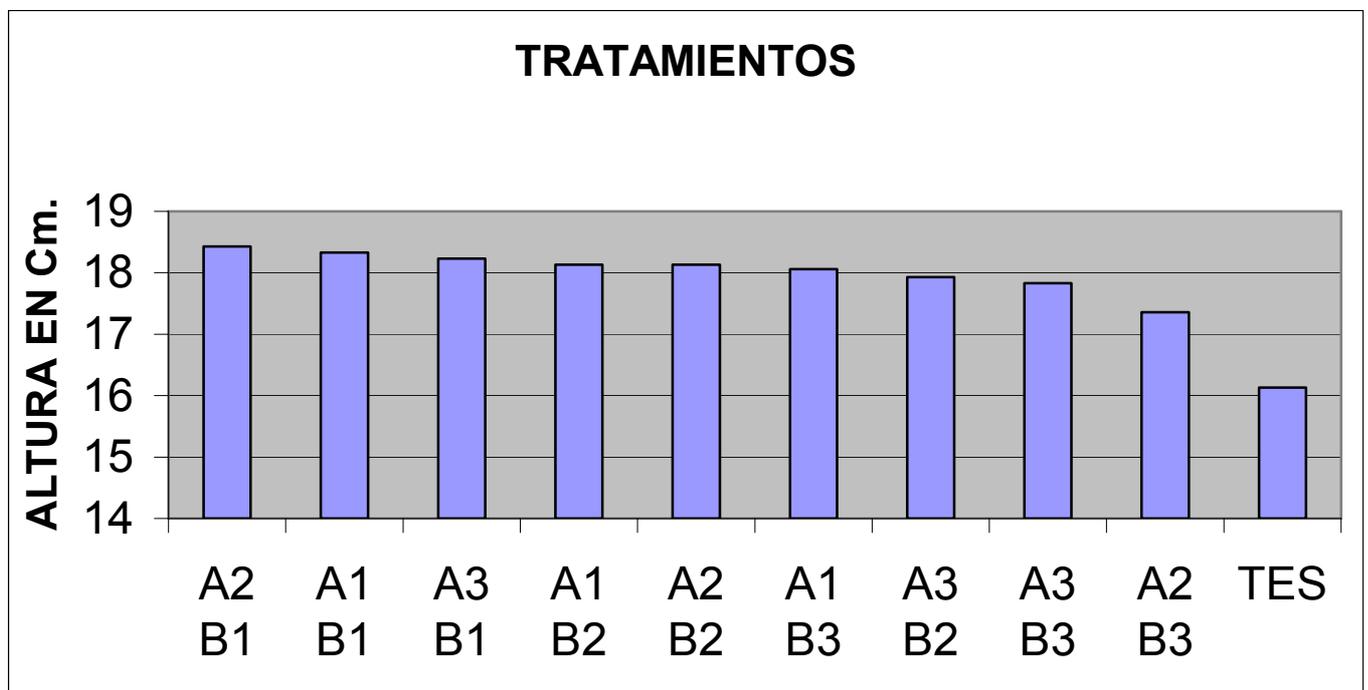


Figura 3. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable altura junto al comportamiento reportado por el testigo.

Referencias:

A1B1 con $3 \times 10^5 / 4$ días, A1B2 con $3 \times 10^5 / 8$ días, A1B3 con $3 \times 10^5 / 12$ días,

A2B1 con $2 \times 10^5 / 4$ días, A2B2 con. $2 \times 10^5 / 8$ días, A2B3 con $2 \times 10^5 / 12$ días,

A3B1 con $1 \times 10^5 / 4$ días, A3B2 con $1 \times 10^5 / 8$ días, A3B3 con. $1 \times 10^5 / 12$ días,

Tes =Testigo.

7.1.2 LARGO DE LA RAÍZ

Al igual que la variable altura, el largo de raíz fue una variable que presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos por lo que se realizó el ANDEVA correspondiente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable largo de la raíz.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS		F CALCULADA	Pr>F
		SUMA DE CUADRADOS	MEDIO		
Tratamientos	9	6.46	0.71	13.99	0.0001
Error exp.	20	1.02	0.051		
Total	29	7.48			

CV = 1.49

Se aplicó análisis de varianza utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre tratamientos ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 (Pr>F=.0001) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba de Tukey para la diferencia entre largo de raíz de plántulas de *Pinus caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus* sp. con su respectivo intervalo de aplicación.

TRATAMIENTOS	MEDIA (cm)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
2X10 ⁵ /4 D	15.80	A
2X10 ⁵ /8 D	15.60	B
1X10 ⁵ /4 D	15.46	B
3X10 ⁵ /4 D	15.33	BC
1X10 ⁵ /8 D	15.23	BC
1X10 ⁵ /12 D	15.20	BC
3X10 ⁵ /8 D	15.16	BC
2X10 ⁵ /12 D	15.13	BC
3X10 ⁵ /12 D	15.06	BC
Testigo	13.96	D

Se pudo determinar que el testigo fue totalmente diferente a los demás tratamientos, el tratamiento de $2 \times 10^5 / 4D$ fue el que mejores resultados registró, fue estadísticamente diferente a todos los demás tratamientos. Los tratamientos de $2 \times 10^5 / 8D$, $1 \times 10^5 / 4D$, son estadísticamente iguales entre sí pero diferentes con los demás tratamientos (Figura 4).

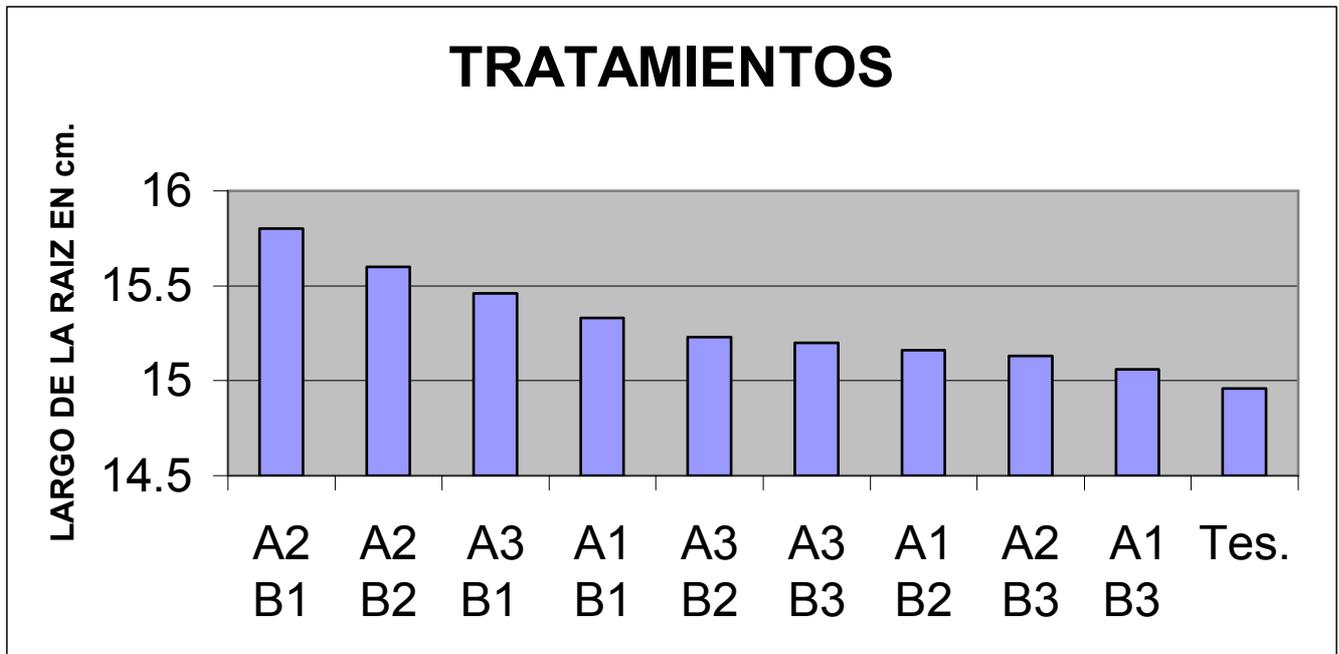


Figura 4. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable largo de la raíz junto al comportamiento reportado por el testigo.

Referencias:

A1B1 con $3 \times 10^5 / 4$ días, A1B2 con $3 \times 10^5 / 8$ días, A1B3 con $3 \times 10^5 / 12$ días,

A2B1 con $2 \times 10^5 / 4$ días, A2B2 con. $2 \times 10^5 / 8$ días, A2B3 con $2 \times 10^5 / 12$ días,

A3B1 con $1 \times 10^5 / 4$ días, A3B2 con $1 \times 10^5 / 8$ días, A3B3 con. $1 \times 10^5 / 12$ días,

Tes =Testigo.

7.1.3 DIÁMETRO DE LAS PLANTAS

De acuerdo a los modelos estadísticos y tomando en cuenta los diez tratamientos (nueve más el testigo) se procedió a el análisis de cada una de las variables. El diámetro de las plantas fue una variable que presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos por lo que se realizó el ANDEVA correspondiente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable diámetro. El Petén 2004.

FUENTE DE VARIACIÓN	DEGRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	DE CUADRADO MEDIO	F	Pr>F
				CALCULADA	
Tratamientos	9	0.88	.097	12.77	0.0001
Error exp.	20	0.15	.0076		
Total	29	1.03			

CV =3.30

Se aplicó análisis de varianza utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre tratamientos ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr>F=.0001$) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Prueba de Tukey para la diferencia entre diámetros de plantas inoculadas con esporas de *Pisolithus* sp. con su respectivo intervalo de aplicación.

TRATAMIENTOS	MEDIA (cm)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
2X10 ⁵ /4 D	0.290	A
3X10 ⁵ /4 D	0.283	A
2X10 ⁵ /8 D	0.273	AB
2X10 ⁵ /12 D	0.273	AB
1X10 ⁵ /4 D	0.270	AB
3X10 ⁵ /8 D	0.266	AB
1X10 ⁵ /8 D	0.256	B
1X10 ⁵ /12 D	0.253	B
3X10 ⁵ /12 D	0.253	B
Testigo	0.226	C

Se pudo determinar que el testigo fue totalmente diferente a los demás tratamientos, los tratamientos de 2X10⁵/4 D Y 3X10⁵/4 D son estadísticamente iguales, siendo los que mejores resultados proporcionan y son diferentes a los demás tratamientos. Los tratamientos 2X10⁵/8D, 2X10⁵/12D, 1X10⁵/4D y 3X10⁵/8D son estadísticamente iguales entre sí y diferentes con los demás tratamientos y los tratamientos de 1X10⁵/8D, 1X10⁵/12D y 3X10⁵/12D son iguales entre sí pero diferentes a los demás. (D igual a días) (Figura 5).

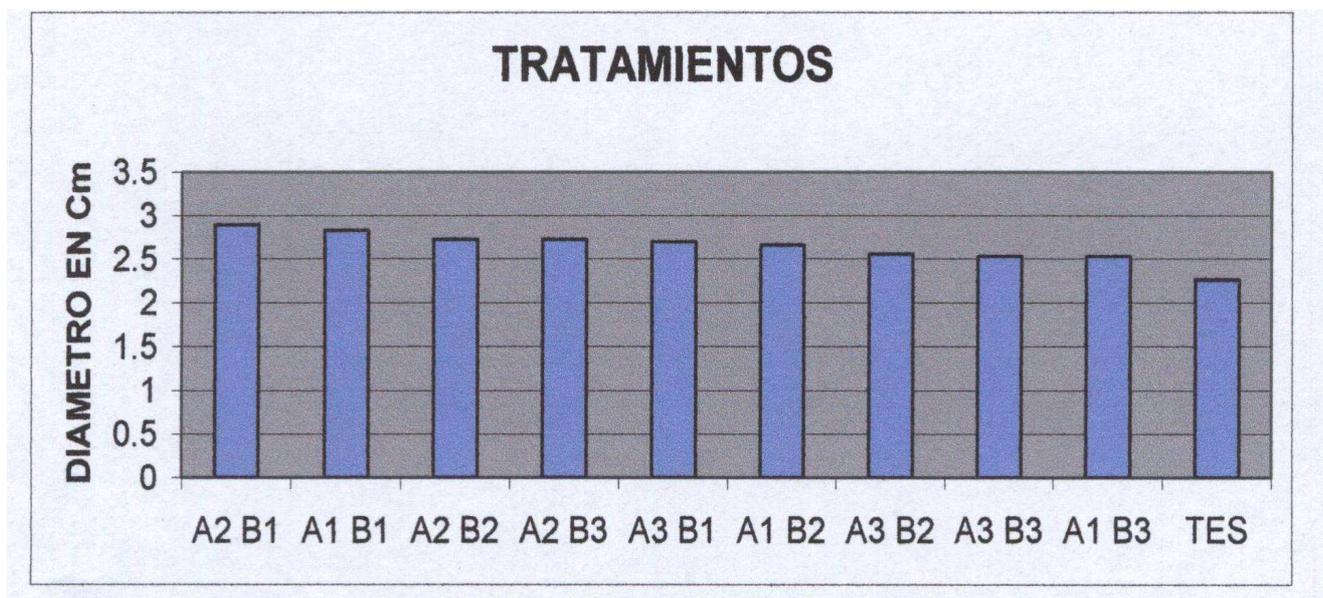


Figura 5. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable diámetro junto al comportamiento reportado por el testigo. Referencias las anteriores (idem).

7.1.4 PESO FRESCO DE LA PLANTA

De acuerdo a los modelos estadísticos y tomando en cuenta los diez tratamientos (nueve más el testigo) se procedió a el análisis de cada una de las variables. El peso fresco de las plantas fue una variable que presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos por lo que se realizó el ANDEVA correspondiente (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso fresco. El Petén 2004.

FUENTE VARIACIÓN	DEGRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	DECUADRADO MEDIO	F	Pr>F
				CALCULADA	
Tratamientos	9	1.24	0.13	19.73	0.0001
Error exp.	20	0.44	0.007		
Total	29	1.38			

CV =2.81

Se hizo el respectivo análisis de varianza utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre tratamientos ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 (Pr>F=.0001) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Prueba de Tukey para la diferencia entre peso fresco de plántulas inoculadas con esporas de *Pisolithus* sp. con su respectivo intervalo de aplicación.

TRATAMIENTO	MEDIA (gramos)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
2X10 ⁵ /4 D	3.26	A
3X10 ⁵ /4 D	3.16	ABC
2X10 ⁵ /8 D	3.10	ABC
2X10 ⁵ /12 D	3.03	ABC
1X10 ⁵ /4 D	2.96	CB
3X10 ⁵ /8 D	2.96	CB
1X10 ⁵ /8 D	2.93	CB
1X10 ⁵ /12 D	2.93	CB
3X10 ⁵ /12 D	2.86	C
Testigo	2.46	D

Se pudo determinar que el testigo fue totalmente diferente a los demás tratamientos, el tratamiento de 2X10⁵/4D fue el que mejores resultados reflejó y estadísticamente fue diferentes a los demás. Los tratamientos de 3X10⁵/4D, 2X10⁵/8D y 2X10⁵ /12 D fueron estadísticamente iguales entre sí pero diferentes con los demás y los tratamientos de 1X10⁵/4D, 3X10⁵/8D, 1X10⁵/8D y 1X10⁵/12D fueron estadísticamente iguales entre sí pero diferentes a los demás tratamientos y el tratamiento de 3X10⁵/12D fue totalmente diferente a los demás y presentó el menor promedio entre todo los tratamientos pero es mayor su media que la del testigo (Figura 6).

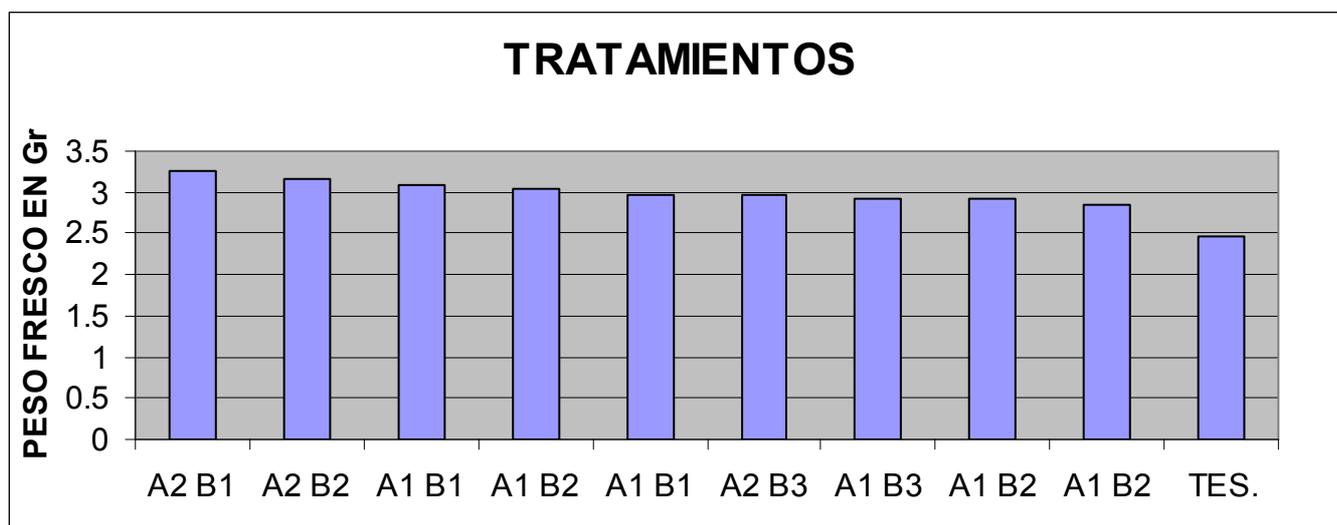


Figura 6. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable peso fresco. Referencias Idem (para los tratamientos).

7.1.5 PESO SECO DE LA PLANTAS

Se efectuó el análisis de varianza utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre tratamientos ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr>F=.0001$) (Cuadro 14). Debido a que se determinó que hubo diferencias estadísticas significativas para ésta variable, fue necesario realizar la prueba múltiple de medias, Tukey (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso seco.

FUENTE VARIACIÓN	DEGRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	DE CUADRADO MEDIO	F	Pr>F
				CALCULADA	
Tratamientos	9	0.122	0.013	11.07*	0.0001
Error exp.	20	0.024	0.0012		
Total	29	0.14			

CV = 6.49

Cuadro 15. Prueba de Tukey para la diferencia entre peso seco de las plántulas de *Pinus caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus* sp. con su respectivo intervalo de aplicación

TRATAMIENTO	MEDIA /GR.	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
2X10 ⁵ /4 D	0.66	A
3X10 ⁵ /4 D	0.62	AB
1X10 ⁵ /4 D	0.57	ABC
3X10 ⁵ /8 D	0.54	BC
2X10 ⁵ /8 D	0.54	BC
1X10 ⁵ /8 D	0.53	BC
3X10 ⁵ /12D	0.51	CD
2X10 ⁵ /12 D	049	CD
1X10 ⁵ /12 D	048	CD
Testigo	043	D

Se pudo determinar que el testigo es estadísticamente diferente a los demás tratamientos. El tratamiento de 2X10⁵/4D fue el que mejores resultados registró y fue estadísticamente diferentes a los demás. El tratamiento de 3X10⁵/4D fue estadísticamente diferente a lo demás y el segundo en mayor rendimiento. El tratamiento de 1X10⁵/4D también fue diferente a los demás pero similar a los primeros tratamientos y los tratamientos de 3X10⁵/8D, 2X10⁵/8D y 1X10⁵/8D fueron estadísticamente diferentes a los demás y 3X10⁵/12D, 2X10⁵/12D y 1X10⁵/12D también fueron diferentes a los demás y con medias por debajo de la media general. Pareciera ser que el factor preponderante es el intervalo de aplicación ya que el intervalo de 4 días es el más alto y el de 12 días el más bajo (Figura 7).

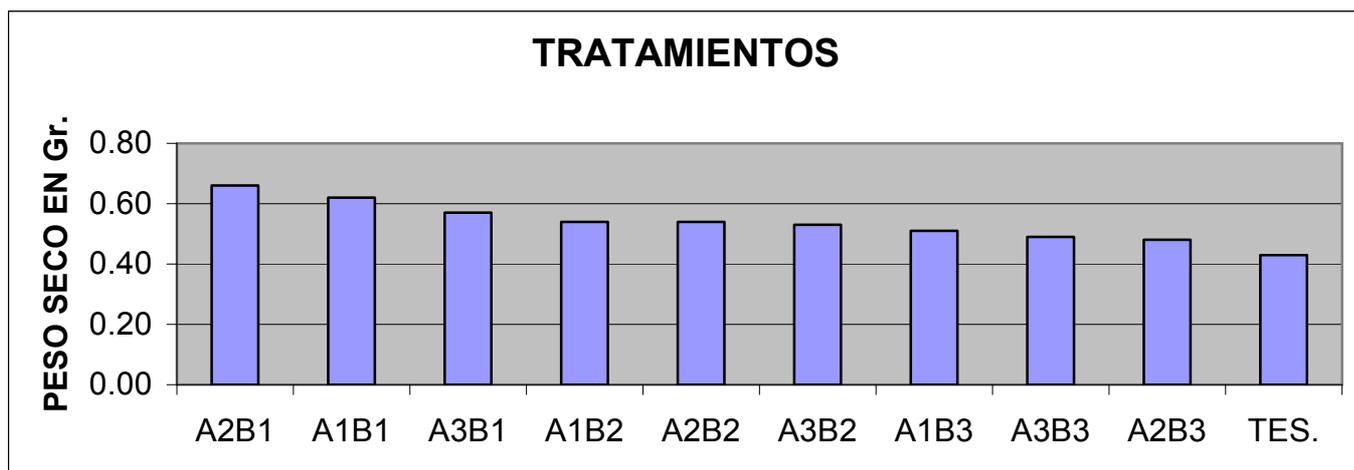


Figura 7. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable peso seco. El Petén 2004.

7.2 ANÁLISIS BIFACTORIAL

7.2.1 ALTURA DE LA PLANTA

De acuerdo a los modelos estadísticos utilizados y tomando en cuenta los nueve tratamientos (sin el testigo), se procedió al análisis de cada una de las variables. La altura de plantas fue una variable que presentó diferencias estadísticamente significativas entre las interacciones por lo que se realizó el ANDEVA correspondiente (Cuadro 16).

Cuadro 16. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable altura de la planta. El Petén 2004.

FUENTE DE VARIACIÓN	DE GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	DE CUADRADO MEDIO	FCALCULADA	Pr>F
CONCENTRACIÓN	2	0.216	0.108	2.03*	0.0001
FRECUENCIA	2	1.505	0.752	14.11*	
CON. * FREC	4	0.68	0.171	3.22*	
ERROR	18	0.96	0.053		
TOTAL	26	3.36			

CV = 1.27

Se efectuó el análisis de varianza correspondiente utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre las interacciones ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr>F=.0001$) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Prueba de Tukey para la diferencia entre altura de las plántulas inoculadas con esporas de *Pisolithus* sp. con su respectivo intervalo de aplicación.

INTERACCIÓN	MEDIA (cm)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
A2 B1	18.43	A
A1 B1	18.33	AB
A3 B1	18.23	ABC
A2 B2	18.13	BCD
A1 B2	18.13	BCDE
A1 B3	18.07	BCDEF
A3 B2	17.93	DEFG
A3 B3	17.83	FGH
A2 B3	17.37	I

Se pudo determinar que la interacción de A2B1 es la que presentó los mejores resultados ya que presentó los valores promedios más altos aunque estadísticamente similar a la interacciones A1B1, y A3B1; lo que indica que la mayor altura siempre está dentro de intervalo de cada cuatro días, aun con diferente concentración de esporas. La interacción de A2B3 es la que presentó los menores valores promedios en la altura de las plántulas y estadísticamente fue diferente a las demás interacciones (Figura 8).

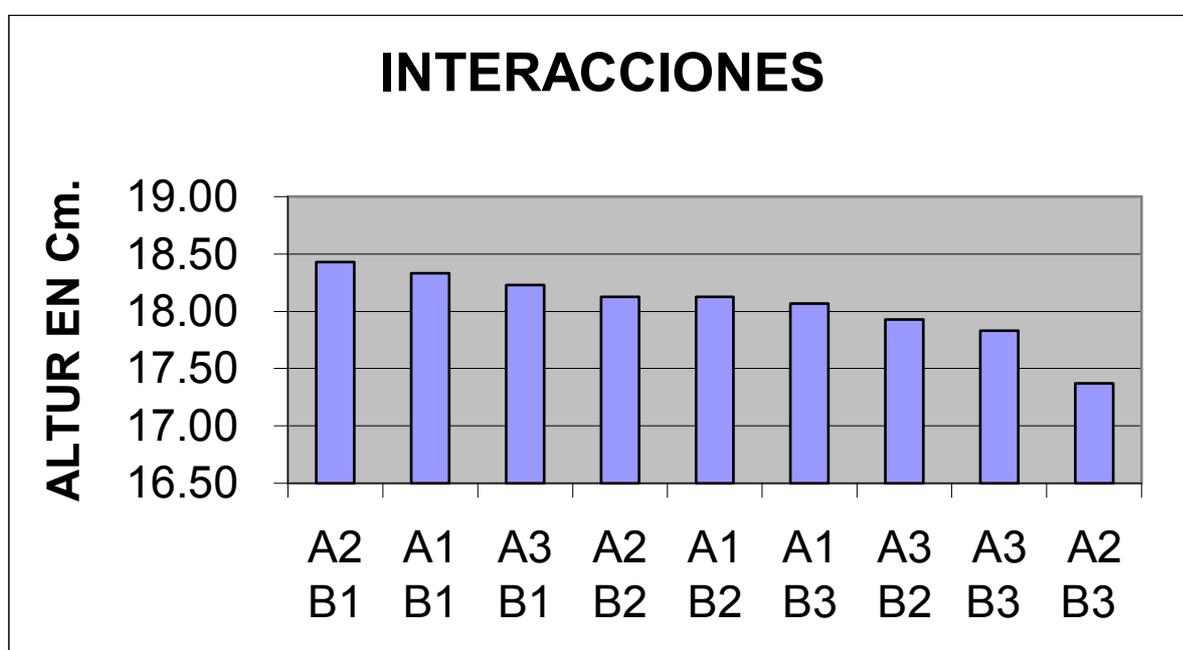


Figura 8. Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable altura.

7.2.2 LARGO DE LA RAÍZ

Al igual que la variable anterior, con los datos obtenidos se efectuó el análisis de varianza correspondiente, y se determinó que también hubo diferencias estadísticas significativas entre las interacciones ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr>F=.0001$) (Cuadro 18). Para determinar la interacción que registraba la diferencia estadística en el largo de la raíz se efectuó la respectiva prueba de medias de Tukey (Cuadro 19).

Cuadro 18. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable largo de la raíz. El Petén 2004.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	Pr>F
CONCENTRACION	2	0.48	0.24	4.34*	0.0001
FRECUENCIA	2	0.72	0.36	6.48*	
CON. * FREC	4	0.21	0.054	0.98*	
ERROR	18	1.00	0.055		
TOTAL	26	2.42			

CV = 1.53

Cuadro 19. Prueba de Tukey para la diferencia entre interacciones para la variable largo de la raíz.

INTERACCION	MEDIA (cm)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
A2 B1	15.80	A
A2 B2	15.60	AB
A3 B1	15.47	BC
A1 B1	15.33	BC
A3 B2	15.23	CDE
A3 B3	15.20	CDEF
A1 B2	15.17	DEFG
A2 B3	15.13	DEFGH
A1 B3	15.03	DEFGHI

Se determinó que la interacción de A2B1 fue la que mejores resultados reportó ya que tiene la mayor media, aunque estadísticamente no existan diferencias con la interacción de A2B2. La interacción de A1B3 fue la que menores incrementos presentó aunque estadísticamente no presenta diferencias significativas con las interacciones de A3B2, A3B3, A1B2 y A2B3 (Figura 9).

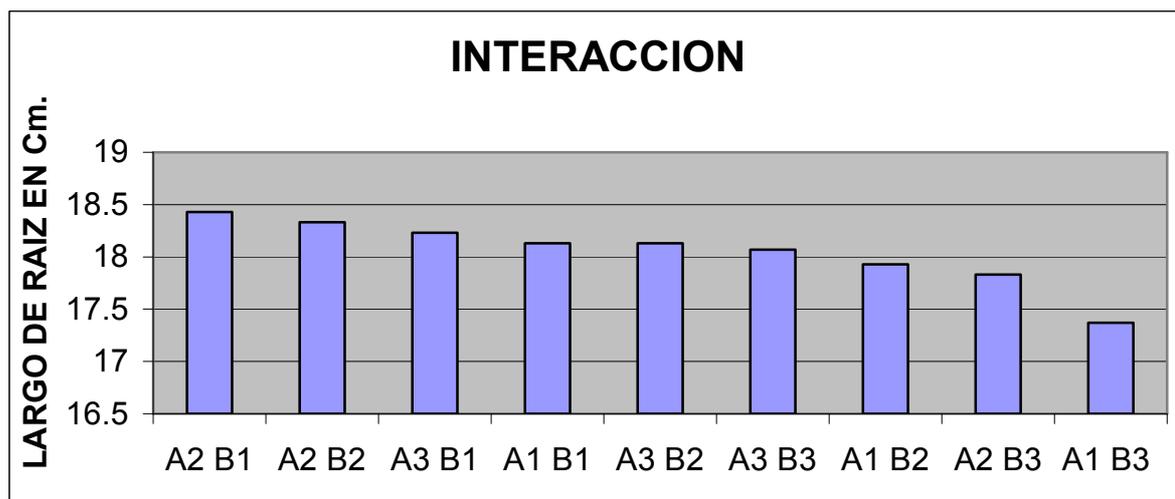


Figura 9. Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable largo de la raíz

7.2.3 DIÁMETRO DE LAS PLÁNTULAS

Se efectuó el análisis de varianza respectivo utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre las interacciones ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr>F=.0001$) (Cuadro 20). Debido a lo cual, también se efectuó la respectiva prueba múltiple de medias Tukey al 5% (Cuadro 21).

Cuadro 20. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable diámetro de las plántulas.

FUENTE DE VARIACIÓN	DE GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	DE CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	Pr>F
CONCENTRACION	2	0.16	0.08	13.69*	0.0001
FRECUENCIA	2	0.21	0.10	18.19*	
CONC - FREC	4	0.022	0.005	0.94*	
ERROR	18	0.10	0.005		
TOTAL	26	0.50			

CV = 2.86

Cuadro 21. Prueba de Tukey para la diferencia entre diámetro de las plántulas.

INTERACCION	MEDIA (cm)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
A2 B1	0.290	A
A1 B1	0.283	AB
A2 B2	0.273	C
A2 B3	0.273	C
A3 B1	0.270	C
A1 B2	0.267	C
A3 B2	0.257	D
A3 B3	0.253	D
A1 B3	0.253	D

Se determinó que la interacciones A2B1 y A1B1 fueron las que presentaron los mayores valores en y mayores incrementos. Aunque numéricamente la primera con datos reales. La interacción de A1B3 es la que menores incrementos registraron y fue la que menor media presentó aunque estadísticamente es igual a las interacciones de A3B2 y A3B3 (Figura 10).

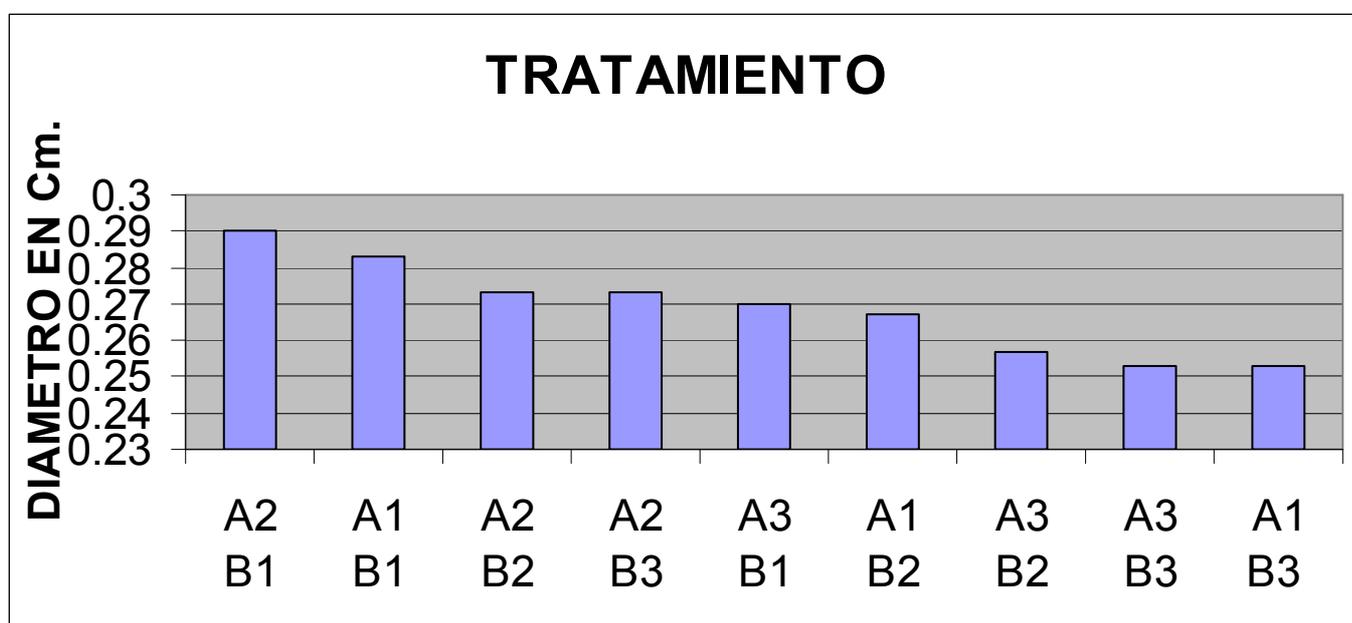


Figura 10. Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable diámetro de las plántulas

7.2.4 PESO FRESCO

Se efectuó el respectivo análisis de varianza utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre las interacciones ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr > F = .0001$) (Cuadro 22). Debido a lo cual fue necesario efectuar además la respectiva prueba múltiple de medias, Tukey (Cuadro 23).

Cuadro 22. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso fresco. El Petén 2004.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	Pr>F
CONCENTRACIÓN	2	0.169	0.84	16.36*	0.0001
FRECUENCIA	2	0.162	0.82	15.93*	
CONC-FREC	4	0.063	0.015	3.015*	
ERROR	18	0.09	0.005		
TOTAL	26	0.47			

CV = 2.37

Cuadro 23. Prueba de Tukey para la diferencia entre peso fresco de las plántulas.

INTERACCIÓN	MEDIA (gramos)	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
A2 B1	3.27	A
A2 B2	3.17	B
A1 B1	3.10	BC
A1 B2	3.03	CD
A3 B1	2.97	DE
A2 B3	2.97	DE
A3 B2	2.93	E
A3 B3	2.93	E
A1 B3	2.87	F

Se determinó que la interacción de A2B1 fue la mejor ya que presentó la media más alta y estadísticamente presenta diferencias significativas con respecto al resto de interacciones. La interacción de A1B3 es la que peores resultados presentó y a su vez la media más baja y estadísticamente es diferente a todas las demás interacciones (Figura 11).

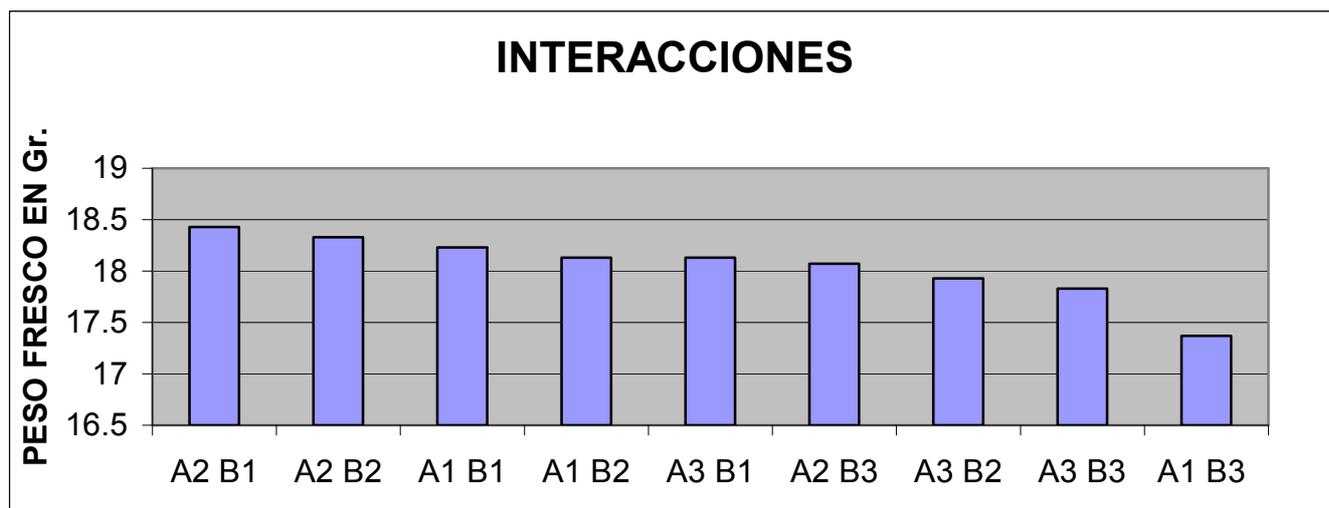


Figura 11. Efecto de las diferentes interacciones en plántulas de *Pinus caribaea*, sobre la variable peso fresco.

7.2.5 PESO SECO

Se efectuó el respectivo análisis de varianza utilizando el sistema SAS y se determinó que estadísticamente si existen diferencias significativas entre las interacciones ya que se obtuvo un valor de probabilidad inferior al nivel crítico de .05 ($Pr > F = .0001$) (Cuadro 24). Debido a lo cual fue necesario efectuar además la respectiva prueba múltiple de medias, Tukey (Cuadro 25).

Cuadro 24. Resumen del análisis de varianza aplicado a la variable peso seco. El Petén 2004.

FUENTE DE VARIACIÓN	DE GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	DE CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	Pr>F
CONCENTRACION	2	0.0042	0.0021	1.61*	0.0001
FRECUENCIA	2	0.067	0.033	25.26*	
CONC - FREC	4	0.010	0.0026	1.99*	
ERROR	18	0.024	0.001		
TOTAL	26	0.1052			

CV = 6.16

Cuadro 25. Prueba de Tukey para la diferencias entre peso seco. El Petén 2004.

INTERACCION	MEDIA EN Gr.	AGRUPAMIENTO DE TUKEY
A2 B1	0.66	A
A1 B1	0.62	AB
A3 B1	0.57	C
A1 B2	0.55	CD
A2 B2	0.54	CDE
A3 B2	0.54	CDEF
A1 B3	0.51	FG
A3 B3	0.50	FGH
A2 B3	0.48	GHI

Se determinó que la interacción de A2B1 es la que presentó los mayores incrementos, aunque estadísticamente es igual a la interacción de A1B1. La interacción de A2B3 es la que presentó los menores incrementos y estadísticamente no presenta diferencia con las interacciones de A1B3 y A3B3 (Figura 12).

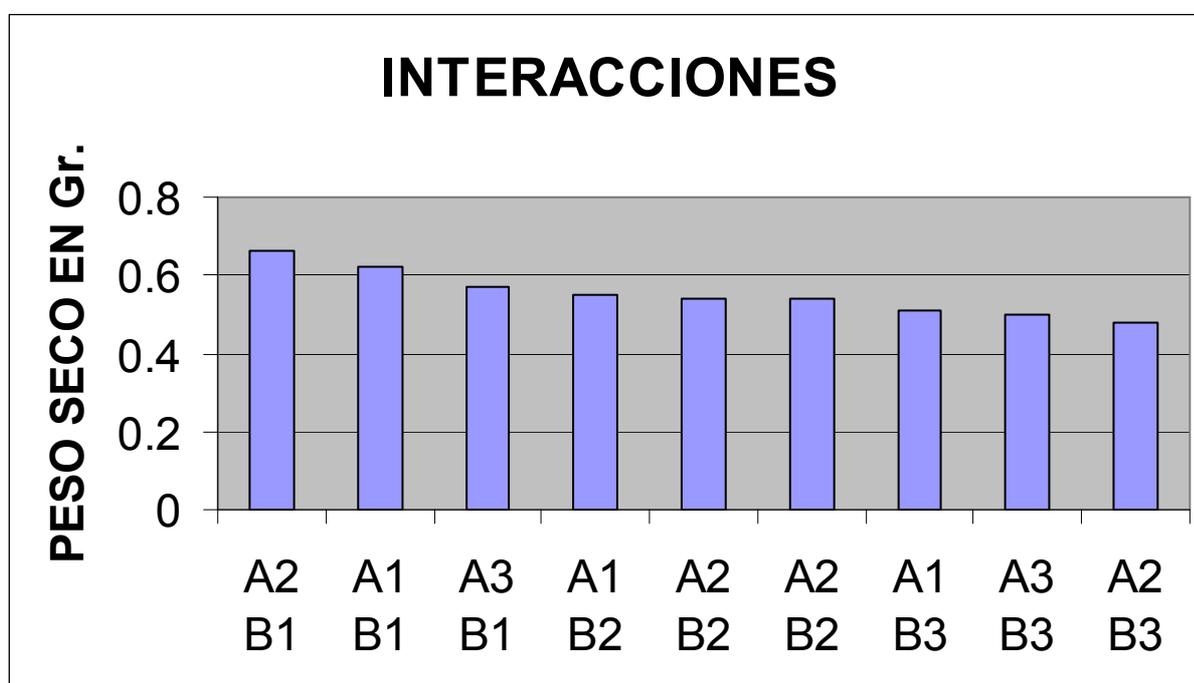


Figura 12. Efecto de las diferentes interacciones en plántulas sobre la variable peso seco.

7.2.6 ESTADO FITOSANITARIO

El estado fitosanitario no presentó problema en ninguno de los tratamientos aplicados, incluso el testigo por lo que no se presenta ningún análisis de severidad ni de incidencia ya que no se consideró necesario (Cuadro 26).

Cuadro 26. Porcentaje de plantas con características deseables para la venta por tratamiento.

No.	TRATAMIENTO	PLANTAS VERDES (%)	PLANTAS AMARILLAS (%)	PLANTAS CAFÉ(%)
1	Con. 3×10^5 con aplicación cada cuatro días	100	0	0
2	Con. 3×10^5 con aplicación cada ocho días	100	0	0
3	Con. 3×10^5 con aplicación cada doce días	100	0	0
4	Con. 2×10^5 con aplicación cada cuatro días	100	0	0
5	Con. 2×10^5 con aplicación cada ocho días	100	0	0
6	Con. 2×10^5 con aplicación cada doce días	100	0	0
7	Con. 1×10^5 con aplicación cada cuatro días	100	0	0
8	Con. 1×10^5 con aplicación cada ocho días	100	0	0
9	Con. 1×10^5 con aplicación cada doce días	100	0	0
10	Testigo	100	0	0

Las plantas no presentaron ningún síntoma de enfermedad ni ataque de insectos, por lo tanto no se consideró necesario la realización de análisis de severidad ni de incidencia pues no tiene razón de ser.

8. CONCLUSIONES

1. La inoculación de esporas del hongo micorrízico *Pisolithus* sp. en concentraciones de 1×10^5 , 2×10^5 y 3×10^5 esporas por mililitro de solución aplicado cada cuatro, cada ocho y cada doce días en plántulas de *Pinus caribaea* variedad *hondurensis* sí presenta diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.
2. La inoculación de esporas del hongo micorrízico *Pisolithus* sp. en una concentración de 2×10^5 esporas por mililitro de solución es la que presenta los mayores incrementos en la especie de *Pinus caribaea* variedad *hondurensis* a nivel de vivero.
3. La inoculación de esporas del hongo micorrízico *Pisolithus* sp. en un intervalo de aplicación de cada cuatro días es el que presenta los mayores incrementos en la especie de *Pinus caribaea* variedad *hondurensis* a nivel de vivero.
4. La interacción de inocular la concentración de 2×10^5 esporas por mililitro de solución del hongo micorrízico *Pisolithus* sp. y aplicado cada cuatro días es la que mayores incrementos reportó en la especie de *Pinus caribaea* variedad *hondurensis* a nivel de vivero, alcanzando promedios de 18.43 cm de altura, 15.8 cms de largo promedio de raíces, 0.290 centímetro de diámetro promedio, 3.27 gramos de peso fresco promedio de 0.66 gramos de peso seco promedio.
5. En el índice de severidad así como la incidencia es cero, ya que no se encontraron plantas que presentaran daño alguno, lo que no se puede determinar es si es debido al manejo del experimento, a la época de su realización o a la aplicación de esporas.

9. RECOMENDACIONES

- 1.-Se recomienda utilizar la interacción de aplicar la concentración de 2×10^5 esporas de *Pisolithus* sp. cada cuatro días (A2B2) en plántulas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ya que esta fue la que mayores incrementos reportó en todas y cada una de las variables evaluadas
2. Se recomienda evaluar otras concentraciones de esporas de *Pisolithus* sp. con un intervalo de tiempo de cada cuatro días en plántulas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ya que este fue el que mayores incrementos reportó.
3. Se recomienda evaluar diferentes número de aplicación de esporas de *Pisolithus* sp. en concentraciones de 2×10^5 esporas por mililitro de agua para poder determinar el análisis económico ya que variaría el costo para cada número de aplicaciones
4. Se recomienda investigar el comportamiento de plántulas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* que hayan sido tratadas para obtener información sobre el comportamiento definitivo en el campo y determinar cual de las interacciones es la que presenta los mejores resultados en cuanto al pegue de la plántula se refiere.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Ainsworth, G C; Susman, A S. 1,986 The Fungi, advance treatise London, England, Academic, Press. V.3, P 139-171.
2. Alvarez, I. ,s,f. Aislamiento y cultivo de hongos ectomicorrícicos en Australia. España, centro de Experimentación agraria . p 7.
3. ASOCIACION INTERNACIONAL DE DESARROLLO. (CR) 1,985. Manual DE especies forestales para viveros. p 89.
4. Barillas Muñoz, M R. 1,999. Evaluación del solarizado para el control de patógenos del suelo y el efecto de la micorrización a nivel de vivero en cuatro especies de pino (*Pinus* sp), en el municipio de Guatemala, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos De Guatemala, Facultad de Agronomía. p71
5. De la Cruz JR.1,978. Clasificación de zonas de vida, basado en el sistema Holdridge. Guatemala. INFOR, p27.
6. Guatemala, Leyes y Decretos. 1,997. Ley Forestal. Decreto Legislativo 101-96 Guatemala. Instituto Nacional de Boques. p 27.
7. Guatemala. MAGA, GT. Plan de Acción forestal para Guatemala. 20 p.
8. Guatemala. Mapa de uso actual de la tierra. 1,985. Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica
9. Martínez, M. 1,984. Los pinos mexicanos. 2 ed. México, Botas. P 36.
10. Marx, DH. 1,996 The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on of the résistance of the root to pathogenic infection I, Pathogenic fungi and soil bacteria Pathology. (E.E.U.U.), 59: 153-163.
11. MIKOLA, P. 1,973. Application of mycorrhizal symbiosis. New York, Academic Press. 444.p
12. NAPIER, I 1,985. Técnicas de viveros forestales con referencia especial a Centro América. Honduras, Escuela Nacional de Ciencia Forestales de Honduras p 295.
13. PARLADE IZQUIERDO, X. 1,992. Técnicas de inoculación de abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziensii*) con hongos ectomicoríticos y su aplicación en reforestación. Tesis Ph.D. España. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Biología 202 p.

14. PELZAR, READ, CHAN. 1,992. Microbiología. Traducido por Jorge Tay Zavala. ed. México Macgraw-Hiil, 826 pag.
15. PRERA ALVARES, J.I. 1,992. Selección de hongos ectomicorriticos de *Pinus pinaster* para su aplicación en reforestación. Tesis Ph. D. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Biología 178.p
16. SIMOMNS et. Al. 1,959. Clasificación de reconocimiento de los suelos. Traducido por Pedro Tirado Sulcen, Guatemala. Editorial Pineda Ibarra, Ministerio de Educación Guatemala.
17. TORRES HERRERA, J.A 1,989. Aislamiento, identificación. 1,989. aislamiento, identificación y evaluación de hongos ectomicorriticos de *Pinus sp* de la cuenca del río Villa Lobos. Departamento de Guatemala. Tesis de ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 43.p
18. TORRES MARTINE. P. 1,992. Estudio DE las ectomicorrizas de pino carrasco, *Pinus halapensis*, Miller, Tesis Ph. D España, Barcelona, Universidad de Murcia, Facultad de Biología. 71 p.
19. TRAPPE, J.M. 1,977. Selection of fungi for ectomycorrhyzal inoculation in nurseries. Ann. Rev. Phytoparhol, (EEUU), 15: 203-222.
20. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Facultada de Agronomía. 1,996. La deforestación en Guatemala.
21. URIZAR QUEZADA, M,G. Eficiencia en la producción de Micorrizas y aumento de la biomasa en plántulas de pino candelillo (*Pinus maxminoi*)H.E. Moore) Con *Laccaria laccata* (Scop. Ex. Fr.Bk. E. Br.) *Pisolithus tncorihus* (Pres, Coker y Couch) y *Scleroderma sp.* (Per) en contenedor. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 50 p.

11. ANEXOS

ANEXO 2. Cuadro de resultados por variable del experimento.

Cuadro 27A. Resultados de la variable altura de la planta de *Pinus caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus* sp. y un testigo después de veinticuatro semanas de edad.

Tratamiento	R uno/ Cm.	R dos/Cm.	R tres/Cm.	media
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 4 días	18.40	18.30	18.30	18.33
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 8 días	18.1	18.2	18.10	18.13
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 12 días	18.1	18	18.10	18.07
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 4 días	18.3	18.4	18.60	18.43
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 8 días	18.2	18.2	18.00	18.13
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 12 días	18.1	17	17.00	17.37
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 4 días	18.3	18.3	18.10	18.23
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 8 días	17.8	18	18.00	17.93
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 12 días	17.8	17.8	17.90	17.83
Testigo	16.5	15.9	16.00	16.13

Cuadro 28A. Resultados de la variable largo de la raíz de la planta de *Pinus caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus* sp. y un testigo después de veinticuatro semanas de edad.

Tratamiento	R uno/ Cm.	R dos/Cm.	R tres/Cm.	media
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 4 días	15.40	15.40	15.20	15.33
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 8 días	15.00	15.20	15.30	15.17
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 12 días	15.10	15.10	15.00	15.07
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 4 días	15.80	15.90	15.70	15.80
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 8 días	16.00	15.40	15.40	15.60
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 12 días	15.00	14.90	15.50	15.13
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 4 días	16.00	15.20	15.20	15.47
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 8 días	15.30	15.20	15.20	15.23
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 12 días	15.30	15.20	15.10	15.20
Testigo	14.10	13.90	13.90	13.97

Cuadro 29A. Resultados de la variable diámetro de la planta de *Pinus caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus sp.* y un testigo después de veinticuatro semanas de edad.

Tratamiento	R uno/ Cm.	R dos/Cm.	R tres/Cm.	media
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 4 días	0.280	0.290	0.280	0.283
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 8 días	0.270	0.270	0.260	0.267
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 12 días	0.250	0.250	0.260	0.253
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 4 días	0.290	0.290	0.290	0.290
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 8 días	0.270	0.270	0.280	0.273
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 12 días	0.270	0.280	0.270	0.273
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 4 días	0.260	0.280	0.270	0.270
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 8 días	0.260	0.250	0.260	0.257
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 12 días	0.240	0.250	0.270	0.253
Testigo	0.230	0.240	0.210	0.227

Cuadro 30A. Resultados de la variable peso fresco de la planta de *Pinus Caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus sp* y un testigo después de veinticuatro semanas de edad.

Tratamiento	R uno/ Cm.	R dos/Cm.	R tres/Cm.	media
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 4 días	3.10	3.10	3.10	3.10
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 8 días	3.00	3.00	3.10	3.03
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 12 días	2.90	2.90	2.80	2.87
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 4 días	3.20	3.30	3.30	3.27
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 8 días	3.20	3.10	3.20	3.17
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 12 días	2.90	3.00	3.00	2.97
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 4 días	3.00	2.90	3.00	2.97
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 8 días	3.00	2.90	2.90	2.93
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 12 días	3.10	2.90	2.80	2.93
Testigo	2.50	2.60	2.30	2.47

Cuadro 31A. Resultados de la variable peso seco de la planta de *Pinus Caribaea* inoculado con esporas de *Pisolithus sp.* y un testigo después de veinticuatro semanas de edad.

Tratamiento	R uno/ cm.	R dos/cm.	R tres/cm.	media
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 4 días	0.56	0.64	0.66	0.62
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 8 días	0.50	0.56	0.58	0.55
Conc. de 3×10^5 aplicado cada 12 días	0.52	0.50	0.52	0.51
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 4 días	0.67	0.67	0.65	0.66
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 8 días	0.52	0.55	0.56	0.54
Conc. de 2×10^5 aplicado cada 12 días	0.46	0.50	0.48	0.48
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 4 días	0.50	0.60	0.61	0.57
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 8 días	0.48	0.55	0.58	0.54
Conc. de 1×10^5 aplicado cada 12 días	0.50	0.49	0.50	0.50
Testigo	0.42	0.45	0.42	0.43

Mapa de la localización

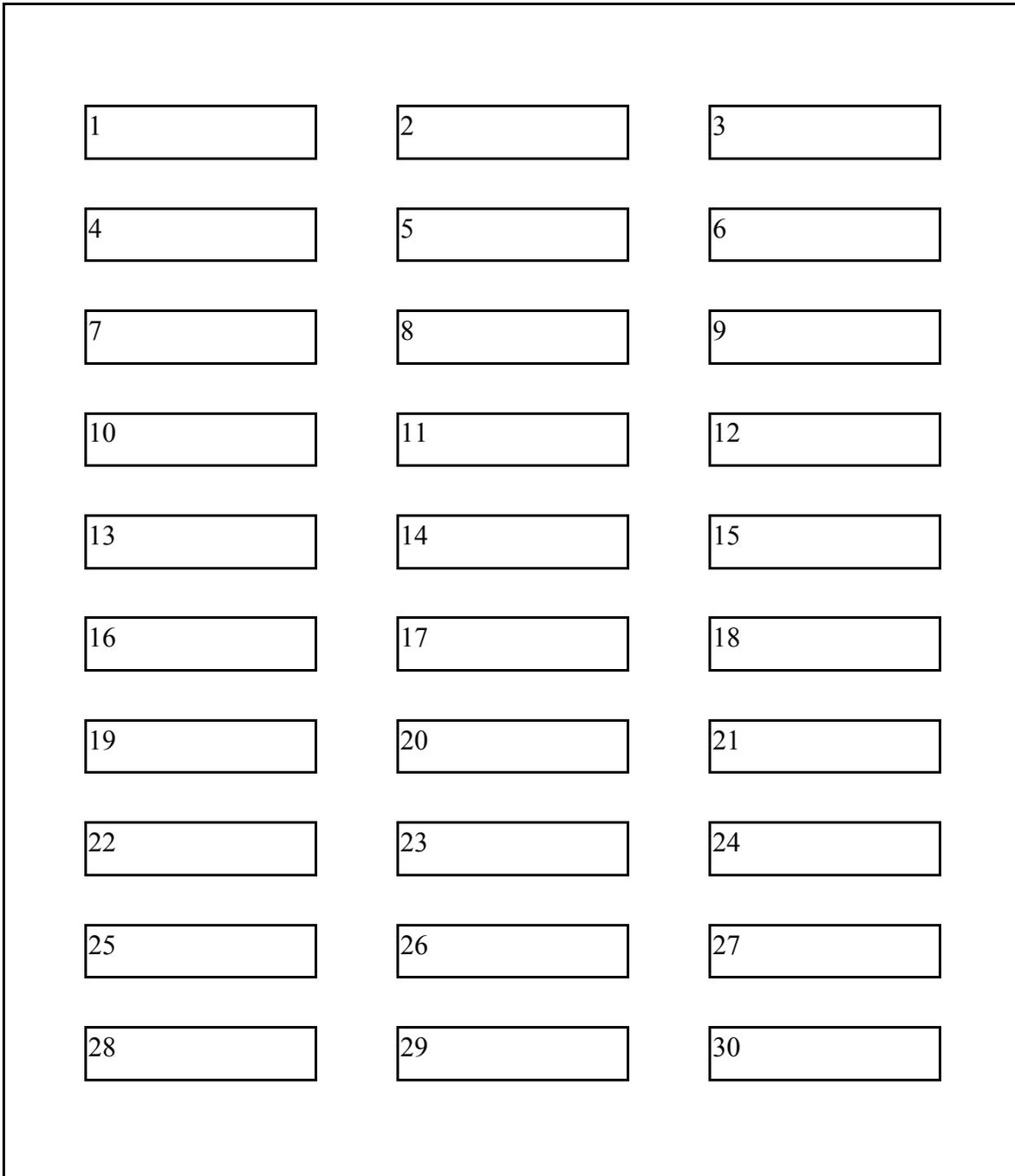


Figura 14A. Distribución de las Unidades experimentales

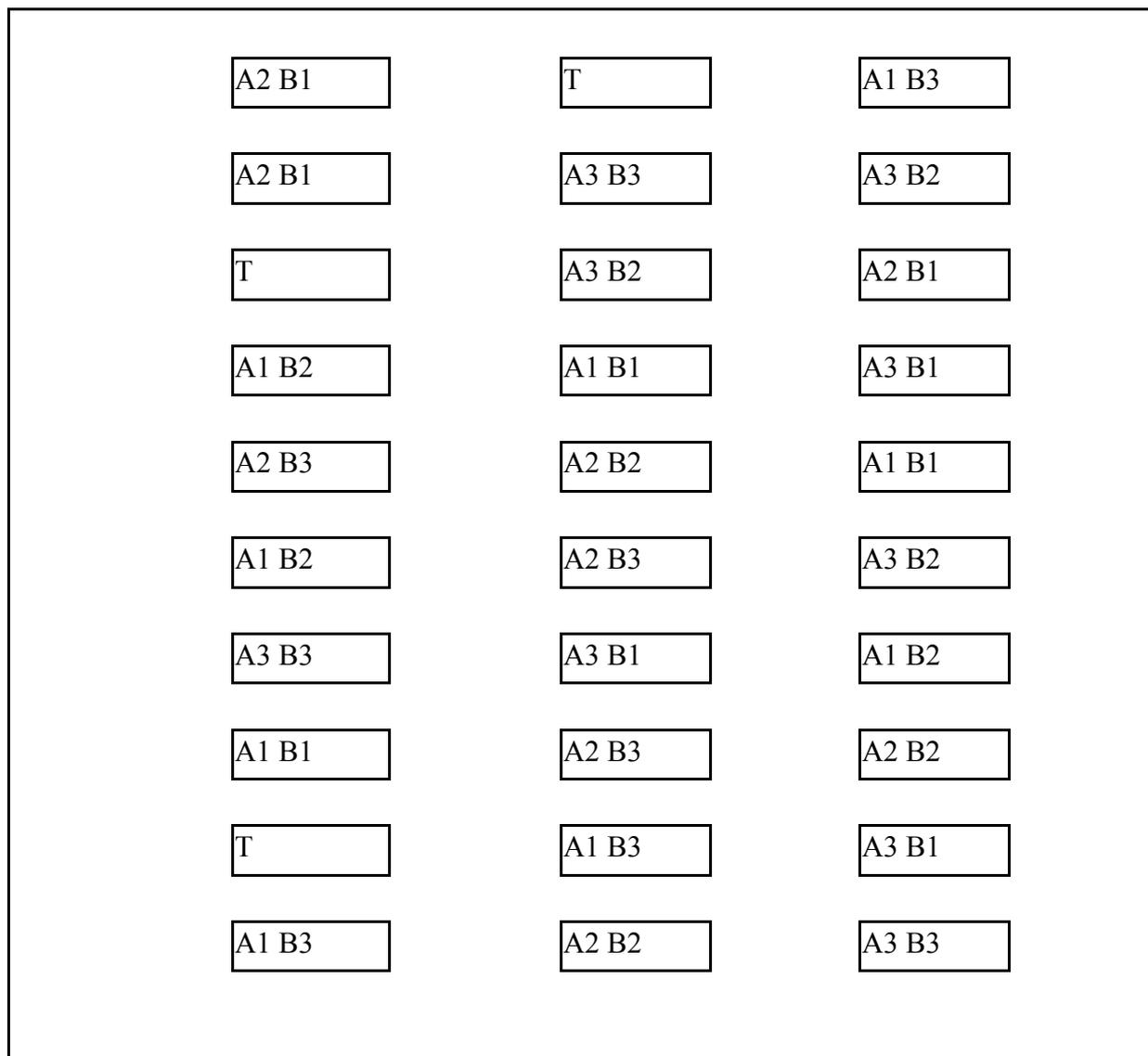


Figura 15A. Aleatorización de los tratamientos y referencia de los mismos.

Referencia:

- A1 Concentración de 3×10^5 esporas por ml/solución
- A2 Concentración de 2×10^5 esporas por ml/solución
- A2 Concentración de 1×10^5 esporas por ml/solución
- B1 Intervalo de aplicación de cada cuatro días
- B2 Intervalo de aplicación de cada ocho días
- B3 Intervalo de aplicación de cada doce días