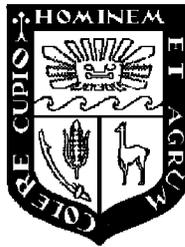


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Diagnóstico de micorrizas en 5
sistemas de uso del suelo en el valle de
Chanchamayo**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Dalia Elisa Carbonel Ramos

Lima – Perú
2009

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. DALIA ELISA CARBONEL RAMOS, intitulado “DIAGNÓSTICO DE MICORRIZAS EN 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL VALLE DE CHANCHAMAYO”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 17 de Noviembre de 2009

.....
Dr. Gilberto Domínguez Torrejón
Presidente

.....
Dr. Doris Elizabeth Zúñiga Dávila
Miembro

.....
Ing. Rosa María Hermoza Espezuía
Miembro

.....
Dr. Julio César Alegre Orihuela
Patrocinador

.....
**¡Error! No se encuentra el origen
de la referencia. ¡Error! No se
encuentra el origen de la**

.....
referencia.

RESUMEN

Las micorrizas son asociaciones simbióticas presentes en la mayoría de plantas de los ecosistemas tropicales que suponen grandes beneficios nutricionales para las plantas colonizadas además de ser una alternativa ecológica de uso en las plantaciones forestales.

Esta investigación realizó un diagnóstico de micorrizas en cinco sistemas de uso del suelo en el valle de Chanchamayo, especialmente en el Fundo la Génova de la UNALM, con el objetivo de determinar la calidad de los suelos bajo cinco sistemas de uso por efecto de las micorrizas y comparar la influencia que cada uno de los sistemas tiene en esta. La hipótesis planteada en esta investigación fue: en los ecosistemas tropicales el proceso de reciclaje de nutrientes de los sistemas arbóreos se regula mediante la abundancia de las micorrizas y en suelos con materia orgánica de buena calidad abundan las micorrizas. Se evaluó la cantidad y calidad de hojarasca, el porcentaje de colonización micorrízica, la cantidad de esporas en el suelo y porcentaje de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas en la materia orgánica del suelo.

Se encontró que las raíces de los cinco sistemas evaluados presentaron infección del tipo vesículo - arbuscular, siendo mayor en el sistema teca debido a su patrón de ramificación radicular. Los coeficientes de relación entre las variables estudiadas, confirman estudios realizados que afirman que altos contenidos de fósforo y acidez en el suelo inhiben la presencia de micorrizas y además sugieren que conforme mejor es la calidad de la materia orgánica en el suelo la simbiosis micorrízica se vuelve menos necesaria por lo que disminuye. Además estas correlaciones también indican que grandes cantidades de hojarasca en el suelo crean las condiciones para que haya más colonización micorrízica

Los sistemas de uso del suelo considerados en el estudio fueron: teca (*Tectona grandis*), bolaina (*Guazuma crinita*), guaba (*Inga edulis*), eucalipto (*Eucalyptus torreliana*) y café (*Coffea arabica*).

Palabras clave: Colonización micorrízica, esporas, materia orgánica, absorción de nutrientes.

ÍNDICE

Página

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 EL ECOSISTEMA FORESTAL..... | 3 |
| 2.2 LOS SUELOS TROPICALES..... | 4 |
| 2.3 LA HOJARASCA | 4 |
| 2.4 LA MATERIA ORGÁNICA..... | 5 |
| 2.4.1 <i>Clasificación de la materia orgánica</i> | 6 |
| 2.5 LA RIZÓSFERA..... | 7 |
| 2.5.1 <i>Microorganismos simbióticos</i> | 8 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 15 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA EN ESTUDIO | 15 |
| 3.1.1 <i>Ubicación</i> | 15 |
| 3.1.2 <i>Fisiografía e Hidrografía</i> | 16 |
| 3.1.3 <i>Clima</i> | 17 |
| 3.1.4 <i>Zonas de vida</i> | 17 |
| 3.1.5 <i>Vegetación</i> | 18 |
| 3.1.6 <i>Suelos</i> | 19 |
| 3.1.7 <i>Capacidad de uso mayor de las tierras</i> | 20 |
| 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS | 20 |
| 3.2.1 <i>Selección de las especies</i> | 20 |
| 3.2.2 <i>Sistema de Teca</i> | 22 |
| 3.2.3 <i>Sistema de Bolaina</i> | 22 |
| 3.2.4 <i>Sistema de Guaba</i> | 23 |
| 3.2.5 <i>Sistema de Eucalipto</i> | 24 |
| 3.2.6 <i>Sistema de Café</i> | 25 |
| 3.3 COLECCIONES EN CAMPO | 25 |
| 3.3.1 <i>Hojarasca</i> | 26 |
| 3.3.2 <i>Densidad aparente</i> | 26 |
| 3.3.3 <i>Muestras de suelo con raíces</i> | 26 |
| 3.3.4 <i>Presencia de nódulos</i> | 27 |
| 3.4 ANÁLISIS EN LABORATORIO | 28 |
| 3.4.1 <i>Caracterización del suelo</i> | 28 |
| 3.4.2 <i>Porcentaje de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas</i> | 29 |
| 3.4.3 <i>Porcentaje de materia orgánica</i> | 29 |
| 3.4.4 <i>Aislamiento de esporas</i> | 30 |
| 3.4.5 <i>Clareado y teñido de raíces y cuantificación de la colonización micorrízica</i> | 31 |
| 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 33 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 35 |
| 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS EVALUADOS | 35 |
| 4.1.1 <i>Sistema Teca</i> | 36 |
| 4.1.2 <i>Sistema Bolaina</i> | 37 |
| 4.1.3 <i>Sistema Guaba</i> | 38 |
| 4.1.4 <i>Sistema Eucalipto</i> | 39 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.1.5 | <i>Sistema Café</i> | 40 |
| 4.2 | CANTIDAD Y CALIDAD DE LA HOJARASCA, POR ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN | 41 |
| 4.2.1 | <i>Análisis estadístico</i> | 45 |
| 4.3 | CARACTERIZACIÓN DEL SUELO | 47 |
| 4.3.1 | <i>Análisis estadístico</i> | 49 |
| 4.4 | PESO DEL SUELO POR HECTÁREA | 50 |
| 4.5 | CANTIDAD DE CARBONO EN EL SUELO | 51 |
| 4.6 | PORCENTAJE DE ÁCIDOS HÚMICOS, FÚLVICOS Y HUMINAS | 52 |
| 4.6.1 | <i>Análisis estadístico</i> | 53 |
| 4.7 | CANTIDAD DE ESPORAS EN EL SUELO | 55 |
| 4.7.1 | <i>Análisis estadístico</i> | 56 |
| 4.8 | COLONIZACIÓN MICORRÍZICA | 57 |
| 4.8.1 | <i>Análisis estadístico</i> | 61 |
| 4.9 | NODULACIÓN | 61 |
| 5. | CONCLUSIONES | 63 |
| 6. | RECOMENDACIONES | 64 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 65 |
| | ANEXO 1 | 69 |
| | DATOS DE CANTIDAD DE HOJARASCA EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO | 69 |
| | ANEXO 2 | 70 |
| | DATOS DE PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA Y CANTIDAD DE ESPORAS EN EL SUELO EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO | 70 |
| | ANEXO 3 | 71 |
| | DATOS DE PORCENTAJES DE LAS FRACCIONES DE MATERIA ORGÁNICA Y PORCENTAJES DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO | 71 |
| | ANEXO 4 | 72 |
| | DATOS DE DENSIDAD APARENTE, TONELADAS DE CARBONO Y PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO | 72 |
| | ANEXO 5 | 73 |
| | VALORES DE CORRELACIÓN Y DE <i>P</i> ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS | 73 |
| | ANEXO 6 | 74 |
| | MATRIZ DE DISPERSIONES ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS | 74 |
| | ANEXO 7 | 75 |
| | VALORES DE CORRELACIÓN Y <i>P</i> ENTRE LAS VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y LAS VARIABLES ESTUDIADAS | 75 |
| | ANEXO 8 | 76 |
| | FOTOGRAFÍAS DE LAS RAÍCES DE LAS ESPECIES DE LOS 5 SISTEMAS EVALUADOS | 76 |

Lista de cuadros

| | Página |
|--|--------|
| CUADRO 1 TIPOS DE ASOCIACIONES MICORRÍZICAS | 11 |
| CUADRO 2 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y ESPECIES SELECCIONADAS | 21 |
| CUADRO 3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS EVALUADOS | 35 |
| CUADRO 4 DAP Y ALTURA PROMEDIOS DE LA PLANTACIÓN DE TECA..... | 37 |
| CUADRO 5 DAP Y ALTURA PROMEDIOS DE LA PLANTACIÓN DE BOLAINA | 38 |
| CUADRO 6 DAP Y ALTURA PROMEDIOS DE LA PLANTACIÓN DE EUCALIPTO..... | 40 |
| CUADRO 7 PORCENTAJE DE HOJARASCA SEGÚN ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN EN UNA HECTÁREA | 44 |
| CUADRO 8 VALORES DE CORRELACIÓN ENTRE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA Y LOS ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA | 45 |
| CUADRO 9 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DE CADA UNO DE LOS CINCO SISTEMAS | 47 |
| CUADRO 10 VALORES DE CORRELACIÓN Y P ENTRE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA, CANTIDADES DE MATERIA ORGÁNICA, ALUMINIO Y FÓSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO..... | 49 |
| CUADRO 11 PROMEDIO DE PESO DE UNA TONELADAS DE SUELO SECO POR HECTÁREA PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS. | 50 |
| CUADRO 12 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DEL SUELO | 59 |
| CUADRO 13 CANTIDAD DE NÓDULOS POR M ² DENTRO DEL SISTEMA DE GUABA | 62 |

Lista de figuras

| | Página |
|---|--------|
| FIGURA 1 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS TIPOS DE MICORRIZAS..... | 12 |
| FIGURA 2 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 15 |
| FIGURA 3 COLECCIÓN DE HOJARASCA EN UNA CUADRÍCULA DE 1M ² EN EL SISTEMA DE TECA | 26 |
| FIGURA 4 COLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO CON RAÍCES. | 27 |
| FIGURA 5 RAÍCES DE GUABA EN LACTOGLICEROL LUEGO DE LA TINCIÓN..... | 32 |
| FIGURA 6 RAÍCES MONTADAS EN PLACAS PORTAOBJETOS..... | 33 |
| FIGURA 7 VISTA PANORÁMICA DE UN MACIZO DEL SISTEMA DE TECA. | 36 |
| FIGURA 8 SISTEMA DE BOLAINA A UN LADO DE LA CARRETERA..... | 38 |
| FIGURA 9 SISTEMA DE GUABA. | 38 |
| FIGURA 10 SISTEMA DE EUCALIPTO A UN LADO DE LA CARRETERA..... | 40 |
| FIGURA 11 SISTEMA DE CAFÉ. | 41 |
| FIGURA 12 CANTIDAD DE HOJARASCA COMO MATERIA SECA EN CADA UNO DE LOS ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN..... | 42 |
| FIGURA 13 DISPERSIONES ENTRE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA Y LOS ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA..... | 46 |
| FIGURA 15 CANTIDAD DE CARBONO TOTAL DEL SUELO PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS EVALUADOS..... | 51 |
| FIGURA 16 PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN SUS DIFERENTES FORMAS EN CADA SISTEMA | 52 |
| FIGURA 17 DISPERSIONES ENTRE LA MATERIA ORGÁNICA Y SUS FRACCIONES | 53 |
| FIGURA 18 DISPERSIONES ENTRE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA Y LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO | 54 |
| FIGURA 19 CANTIDAD DE ESPORAS EN 100 G DE SUELO SECO EN CADA UNO DE LOS CINCO SISTEMAS | 55 |
| FIGURA 20 DISPERSIÓN DE LA CANTIDAD DE ESPORAS EN EL SUELO | 56 |
| FIGURA 21 RAÍZ DE TECA MOSTRANDO COLONIZACIÓN MICORRÍZICA | 58 |
| FIGURA 22 RAÍZ DE CAFÉ MOSTRANDO COLONIZACIÓN MICORRÍZICA..... | 58 |
| FIGURA 23 DISPERSIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS EVALUADOS..... | 61 |
| FIGURA 24 NÓDULOS EN RAÍCES DE GUABA. | 62 |

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos de la amazonía peruana, en general, contienen bajos niveles de materia orgánica y como consecuencia tienen una pobre fertilidad, son ácidos y con exceso de aluminio en niveles tóxicos para las plantas no adaptadas a estas condiciones (Calderón y Díaz, 2000); debido a esto, los procesos de reciclaje de nutrientes son muy importantes para poder mantener un crecimiento adecuado. Dentro de este proceso de reciclaje las micorrizas, asociaciones simbióticas que están presentes en la mayoría de plantas vasculares, juegan un rol principal en habilitar los nutrientes del suelo para que estén disponibles y puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas.

Las micorrizas benefician el crecimiento de los árboles y permiten que éstas absorban mayor cantidad de nutrientes, principalmente fósforo, del que podrían acceder sin la ayuda de los hongos micorrízicos (Clark y Zeto, 2000; Lavelle y Spain, 2001). Las hifas de los hongos micorrízicos se propagan ampliamente a través del suelo y significan una gran contribución en la absorción y ciclo de nutrientes en muchos ecosistemas forestales (Brundett et al, 1996).

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de los suelos bajo 5 sistemas de uso del suelo por efecto de las micorrizas y conocer la influencia que cada uno de estos sistemas tienen en la calidad del suelo, para esto se evaluó la esporulación y el porcentaje de infección micorrízica natural bajo los 5 sistemas de uso del suelo, se caracterizó la calidad de la materia orgánica en los 5 sistemas de uso del suelo y se determinó el efecto de la infección micorrízica natural en la calidad de la materia orgánica.

Actualmente el mundo está enfrentando los efectos del calentamiento global, para poder mitigar y adaptarnos a todos estos fuertes cambios que se avecinan es preciso utilizar tecnologías que sean respetuosas con el medio ambiente. Las micorrizas son una opción ecológica de uso en los proyectos de reforestación que permite que las raíces de las plantas sean más eficientes en la absorción de nutrientes y agua, tolerantes a sequías y más resistentes al ataque de enfermedades y agentes patógenos (Bejarano y Cano, 2007; Guerrero, 1996 y Smith y Read, 1997,) incrementando los crecimientos y la producción de biomasa en la planta hospedera (Álvarez y Naranjo, 2003 y Sylvia *et. al* , 2005).

En el país aún falta mucha investigación por realizar en el campo de las micorrizas, este trabajo busca contribuir a la información que ya existe y hacer notar sobre la importancia, beneficios y potencialidades de esta simbiosis.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL ECOSISTEMA FORESTAL

Dentro del ambiente forestal el árbol está influenciado por factores climáticos, ecológicos, biológicos y edáficos, formando parte de un sistema que se encuentra en constante interacción; en este sistema los árboles afectan indirectamente a otros organismos próximos a través del cambio que producen en los factores físicos del medioambiente (Donoso, 1991).

Dentro de los factores biológicos del ecosistema forestal se pueden diferenciar aquellos que actúan al interior del suelo de los que están por encima de él. Con los primeros nos referimos a las bacterias, hongos, actinomicetos, algas, etc.; dentro de los segundos se encuentra todos los insectos, animales y plantas que interactúan con las hojas y leño del árbol (Donoso, 1991).

El tipo de organismos y la cantidad de ellos que existen está en función del clima y la vegetación; pero a su vez, los organismos del suelo influyen en el tipo de humus que se forma, en las propiedades fisicoquímicas que el suelo adquiere, y finalmente en el desarrollo del suelo en el tiempo; así, todos estos factores determinan en conjunto que la vegetación se desarrolle y se reproduzca en el mismo sitio (Donoso, 1991). En el caso de las micorrizas su ocurrencia depende de la composición del bosque y éstas también impactan en la diversidad de la vegetación; a su vez las condiciones climáticas y edáficas condicionan la existencia de estas asociaciones (Ruiz, 1992).

2.2 LOS SUELOS TROPICALES

Los suelos tropicales de la Amazonía peruana son por lo general infértiles (Vargas, 1990), se estima que 49,7 millones de ha o el 66% del total de los suelos amazónicos son deficientes en fósforo (Ruiz, 1992). Particularmente Calderón y Díaz (2000) han referido que los suelos del valle de Chanchamayo son en su mayoría ácidos y que presentan bajos niveles de fósforo.

Bajo estas condiciones la mayoría de las raíces de las plantas que crecen en ellos son obligadamente dependientes de la presencia de hongos micorrízicos (Vargas, 1990).

2.3 LA HOJARASCA

Una de las características propias de la mayor parte de los ecosistema forestales es el desarrollo de una cubierta orgánica que resulta del retorno periódico, a través de la caída de las hojas, ramas, corteza, frutos, llamado hojarasca (Palma et al. 1998) que representa una fuente valiosa de materia orgánica después de sufrir procesos de descomposición (Laossi et al., 2008). Dentro de este sistema la hojarasca retiene una gran proporción de los nutrientes extraídos del suelo por los árboles (Palma et al. 1998) y transfiere los nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo (Schlatter et al., 2006) para ser nuevamente absorbidos por las raíces y así continuar con el reciclaje de nutrientes.

La tasa de descomposición de la hojarasca, no depende sólo de factores ambientales, como la temperatura y precipitación, sino también de las especies forestales (Palma et al. 1998) como las características morfológicas, estructurales y químicas de las hojas (Moro y Domingo, 1996).

Se sabe que a mayores tasas de descomposición ocurre un reciclaje más rápido de los nutrientes en el ecosistema forestal. Stefano y Fournier (2005) señalan que por lo general el índice de descomposición es más alto en las especies que tienen un máximo de ceniza y de nitrógeno y una mínima relación C/N, de lignina y de contenido de compuestos secundarios como taninos y fenoles, se sabe también que bajos contenidos de fósforo y altos contenidos de aluminio en las hojas son responsables de tasas bajas de descomposición.

Otros procesos que ocurren en el sistema de hojarasca comprenden la directa descomposición realizada por microorganismos, principalmente hongos, junto con la fragmentación y digestión realizada por invertebrados (Lavelle y Spain, 2001). Si bien aparentemente se ha observado en ciertos bosques que los hongos micorrízicos hacen una mineralización directa de la hojarasca, Smith y Read (1997) consideran que estos hongos no tienen la capacidad enzimática de realizar esta función.

Según Reddy (2002) la acumulación de residuos en plantaciones de especies de hoja ancha como la teca (*Tectona grandis*) no es común debido a que la vegetación del sotobosque se ve literalmente suprimida y las hojas que caen sufren un proceso de descomposición acelerado. En el caso de plantaciones de varias especies de Eucalyptus, la copa abierta y el tamaño pequeño de las hojas permite el crecimiento de plantas herbáceas produciéndose residuos que se desmenuzan y descomponen muy rápidamente. Aún en el caso de adiciones grandes de residuos de especies leguminosas fijadoras de N, no se produce una gran acumulación de residuos, pues el alto contenido de N en las hojas hace que estas sean muy apetecidas por los microorganismos del suelo.

2.4 LA MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo es una compleja y variada mezcla de sustancias orgánicas que presentan un alto contenido de carbono lo que la hace ser la principal fuente de energía para los microorganismos del suelo y sin ella la actividad bioquímica sería prácticamente nula. (Brady y Weil, 2008).

Lavelle y Spain (2001) mencionan que en suelos minerales, la materia orgánica comprende solamente una pequeña proporción del total del volumen del suelo. La calidad de la materia orgánica del suelo depende de:

- sus propiedades químicas;
- su forma y la representatividad proporcional de las diferentes clases de tamaños de partículas; y
- de su accesibilidad en la matriz del suelo (lo que depende de su inclusión dentro de los agregados del suelo y de si es que está combinada con minerales para formar complejos órgano-minerales).

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Acorde con la definición hallada en la Biblioteca de la Agricultura (1997) según su naturaleza química la materia orgánica se puede clasificar de acuerdo a su estado de descomposición desde el momento que queda incorporada al suelo hasta su completa mineralización en 3 estados:

- Materia orgánica fresca. Es aquella que acaba de incorporarse al suelo y su proceso de descomposición está en sus inicios (Biblioteca de la Agricultura, 1997).
- Humus. Son productos orgánicos de naturaleza coloidal que provienen de la descomposición de los restos vegetales y de la síntesis que resulta de la actividad de los microorganismos en el suelo. Representa del 10 al 15% de la materia orgánica del suelo (Biblioteca de la Agricultura, 1997).
- Sustancias húmicas. Se trata de sustancias de peso molecular relativamente alto, con coloraciones oscuras o negras que se diferencian entre sí en base a sus características de solubilidad (Biblioteca de la Agricultura, 1997); comprenden entre el 60% y el 80% de la materia orgánica del suelo (Brady y Weil, 2008). Se han descrito 3 subdivisiones en función a su comportamiento al ser disueltas coloidalmente en un medio alcalino débil de NaOH o NH₄OH, estas son:
 - Ácidos húmicos: Es la fracción más estudiada y seguramente la más importante, se trata de un material orgánico oscuro que se disuelve y precipita por acidificación a pH 1 ó 2. (Biblioteca de la Agricultura, 1997).

- Ácidos fúlvicos: Son sustancias orgánicas restantes que no precipitan, quedan disueltas coloidalmente al acidificar una solución de suelo a pH 1 ó 2. (Biblioteca de la Agricultura, 1997).
- Huminas: Estas sustancias son las que mayor peso molecular tienen, las de color más oscuro, insolubles en medios alcalinos y ácidos y las más resistentes a ataques microbianos (Brady y Weil, 2008).

Todas estas sustancias húmicas son relativamente estables en el suelo. La vida promedio (tiempo requerido para destruir la mitad de la cantidad de una sustancia) de los ácidos fúlvicos puede ser entre 10 a 50 años, mientras que la vida media de los ácidos húmicos se mide en siglos (Brady y Weil, 2008).

2.5 LA RIZÓSFERA

Se entiende por rizósfera a la región del suelo que se encuentra directamente influenciada por la raíces e incluye todos los procesos biológicos, químicos y físicos asociados con el funcionamiento del suelo (Lavelle y Spain, 2001). En este sistema las raíces regulan la actividad microbiana proveyendo fuentes de carbono provenientes de la fotosíntesis foliar (Brady y Weil, 2008).

En la rizósfera los recursos de la materia orgánica son utilizados mediante las relaciones mutualistas de la microflora del suelo asociada con las raíces vivas. Estas relaciones son reguladas por las exudaciones de las raíces y por la red alimenticia de microdepredadores. Estas redes incluyen las bacterias como recurso alimenticio, con protistas y nemátodos como predadores. La rizósfera también se caracteriza por la intensa actividad de raíces dependientes y semi-dependientes a la simbiosis con micorrizas y microorganismos fijadores de nitrógeno. (Lavelle y Spain, 2001).

2.5.1 MICROORGANISMOS SIMBIÓTICOS

A) MICORRIZAS

Las micorrizas son simbiosis mutualistas muy evolucionadas que se establecen entre ciertas especies de hongos (Basidiomycetos, Ascomycetos, Zygomycetos y Glomeromycetos) y las raíces de la mayor parte de las plantas (Álvarez y Naranjo, 2003) incluyendo la mayoría de especies de importancia económica (Brady y Weil, 2008). Las micorrizas suponen una relación que favorece a las dos partes implicadas; el hongo coloniza la raíz proporcionándole nutrientes minerales y agua que éste obtiene mediante su red de hifas, mientras que la planta recompensa al hongo con sustratos energéticos y carbohidratos que son producto de la fotosíntesis (Bejarano y Cano, 2007). El sistema micorrízico está formado por las hifas del hongo que por una parte se ramifican en el suelo y por otra se encuentran conectadas con el tejido de la raíz (Bago et al, 2000).

Los diferentes tipos de micorrizas no están distribuidas al azar sobre la superficie terrestre, algunos hongos micorrízicos parecen tener patrones de distribución alrededor de todo el mundo y aparentemente se han adaptado dentro de un rango muy amplio de hábitats (Brundett et al., 1996). Cada tipo de micorriza tiende a asociarse con un ecosistema y ambiente edáficos específicos, a escala de ecosistemas diferentes tipos de vegetaciones están dominadas por asociaciones particulares de micorrizas. Las micorrizas arbusculares están particularmente esparcidas en los bosques tropicales (Lavelle y Spain, 2001 y Álvarez y Naranjo, 2003).

La infección micorrízica puede ser afectada por altos niveles de aluminio, manganeso, cobre, hierro fósforo y nitrógeno en el suelo (Alvarado et al., 2004; Ruiz, 1992), los que podrían inhibir la formación de micorrizas, esto debido en parte a las altas concentraciones de fósforo en los tejidos de la raíz hospedera (Balakrishnan et al., 1994). Así mismo el pH del suelo puede restringir la distribución de varias especies de hongos micorrízicos (Brundett et al., 1996).

Cuando se producen modificaciones drásticas en algún sistema de uso del suelo, como lo es la tala, las poblaciones de hongos presentan una menor diversidad y la colonización de especies de plantas puede ser más lenta (Álvarez y Naranjo, 2003).

a) Roles de las micorrizas

En general las asociaciones micorrízicas tienden a favorecer a la planta tanto en ecosistemas naturales como en aquellos influenciados por el hombre (Lavelle y Spain, 2001). Probablemente el efecto más importante que provocan los hongos micorrízicos con su extensa red hifal es aumentar el área de exploración del suelo permitiendo a las raíces de las plantas acceder a una mayor fuente de nutrientes de lenta movilización como el fósforo – principalmente-, cobre, zinc, potasio, magnesio y calcio (Clark y Zeto, 2000; Smith y Read, 1997; Lavelle y Spain, 2001; Bejarano y Cano, 2007). El aumento en la absorción de estos nutrientes se traduce en un aumento de la producción de biomasa en la planta hospedera (Álvarez y Naranjo, 2003; Sylvia *et. al* , 2005).

Así como la red hifal aumenta la absorción de nutrientes en las plantas también lo hace con la absorción de agua ya que las hifas de las micorrizas transportan agua a las raíces de la planta haciéndolas más tolerantes a las sequías (Lavelle y Spain, 2001; Guerrero, 1996).

Aparte de los beneficios nutricionales e hídricos que la asociación micorrízica aporta a la planta también se sabe que la protege frente al ataque de enfermedades y agentes patógenos incluyendo las bacterias, nemátodos y hongos (Guerrero, 1996; Smith y Read, 1997, Bejarano y Cano, 2007), aunque Lavelle y Spain (2001) afirman que las enfermedades virales puedan ser más severas en plantas micorrizadas que en las no micorrizadas.

Se sabe también que las micorrizas tienen un efecto positivo sobre las características del suelo mejorando su estructura (Brundett et al, 1996), participando activamente en la mineralización del humus (Bejarano y Cano, 2007) y restaurando su fertilidad (Guerrero, 1996).

b) Absorción de nutrientes y agua

Se ha demostrado que los micelios pueden absorber agua hasta una distancia de 20 cm más allá de la raíz y transportarla a un nivel equivalente al de los vasos xilemáticos. Debido a la alta tolerancia mostrada por ciertos hongos a bajos potenciales agua, posiblemente por la disminución de la resistencia durante el flujo del agua a la raíz, las plantas micorrizadas son más resistentes al estrés hídrico (Lavelle y Spain, 2001).

Las hifas de los hongos micorrízicos son capaces de absorber iones de fósforo en el momento en que estos iones ingresan a la solución suelo; así, las hifas llevan el fosfato a la raíz transportándolas dentro de las células hifales. (Brady y Weil, 2008). Las fosfatasa de los hongos micorrízicos juegan un papel muy importante en la liberación del fósforo fijado en formas orgánicas permitiendo su transporte y absorción por la raíz (Lavelle y Spain, 2001). Li et al. (1991) han calculado que en plantas colonizadas, el aumento en la absorción de fósforo fue de más de cuatro veces y que entre el 76% y 79% de esta absorción ocurrió a través de las hifas fungales. Estos valores de absorción de fósforo varían ampliamente dependiendo del tipo de micorriza, las especies, el tipo de hongo y factores medioambientales (Lavelle y Spain, 2001).

Las asociaciones micorrízicas mejoran también la absorción de nitrógeno en las plantas, aunque concentraciones altas de nitrógeno en el suelo pueden inhibir su formación (Lavelle y Spain, 2001).

c) Tipos de micorrizas

Existen 7 tipos de asociaciones micorrízicas relacionadas a determinados grupos de plantas y hongos (Cuadro 1). Los dos principales tipos de micorrizas son las micorrizas externas y las del tipo interno vesículo arbusculares (MVA) o endomicorrizas; en las endomicorrizas el hongo

penetra la pared celular de las raíces y en las micorrizas externas o ectomicorrizas (ECM) no (Lavelle y Spain, 2001). En la figura 1 se puede observar una representación esquemática de los tipos de micorrizas.

Cuadro 1 Tipos de asociaciones micorrízicas

| | <i>MVA</i> | <i>ECM</i> | <i>Ectendoide</i> | <i>Arbutoide</i> | <i>Monotropoide</i> | <i>Ericoide</i> | <i>Orquidoide</i> |
|--------------------|--------------------|---|-------------------|------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Planta | | | | | | | |
| hospedera | Plantas vasculares | Gimnospermas y angiospermas | | Ericales | Monotropaceae | Ericales | Orquidaceae |
| Hongo | | | | | | | |
| colonizador | Zygo-Glomales | Mayormente Basid-, pero algunas Asco- y Zygo- | | | | Asco-(Basid-) | Basid- |

Fuente: Brundett et al. (1995)

Las familias de plantas colonizadas por micorrizas pueden ser predominantemente ectomicorrizas o endomicorrizas aunque, como en las Salicáceas, las dos formas pueden ocurrir. Aún en familias que se consideran ampliamente micorrizadas algunas especies pueden no presentar colonización como también puede ocurrir el caso contrario. En ambos tipos de micorrizas puede ocurrir que la raíz esté colonizada por varios tipos de hongos. (Lavelle y Spain, 2001).

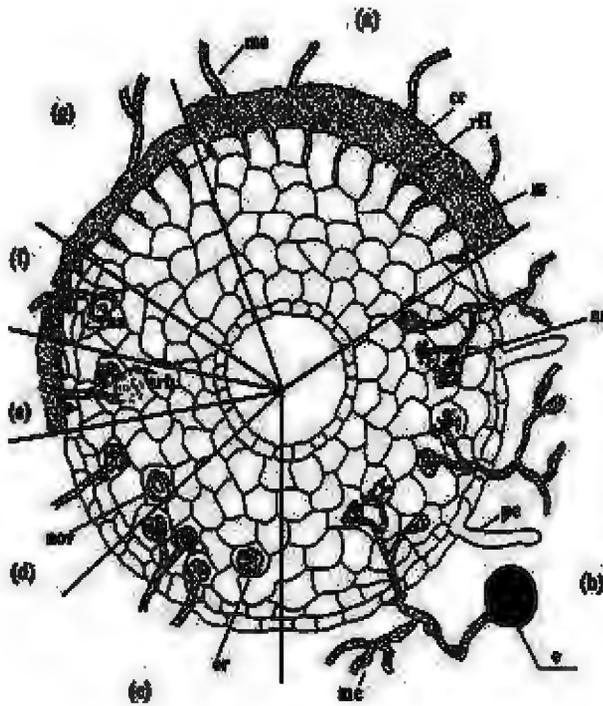


Figura 1 Representación esquemática de los tipos de micorrizas.

Ectomicorrizas (a), micorrizas arbusculares (b), micorrizas ericoides (c), micorrizas orquidoides (d), micorrizas arbutoides (e), micorrizas monotropoides (f), arbusculo (ar), arbutoides (arb), célula cortical (cc), espora (e), enrollamientos (er), manto (m), micelio extraradicular (me), red de Hartig (rH). (Tomado de http://www.dei.uc.pt/grasses/divers_fungica)

MVA (Micorrizas Vesículo Arbusculares)

Al contrario de las ectomicorrizas las MVA son estructuras internas que no son visibles a simple vista. (Lavelle y Spain, 2001). Los tres componentes de este tipo de asociación son: la raíz de la planta, las estructuras internas en la raíz de la planta (hifas, arbusculos, vesículas) y la red de hifas que se expande más allá de la raíz de la planta (Lavelle y Spain, 2001).

Las MVA son las asociaciones más dispersas y comunes (Brundett, 2004) e involucran cerca del 80% de las plantas, incluyendo aquellas de importancia económica como las familias Gramineae, Leguminosae, Solanáceae, Asteráceae, (Lavelle y Spain, 2001), Sterculiaceae,

(Brundett et al., 1996), etc; además son el tipos de micorrizas predominantes en la amazonia peruana (Ruiz, 1992); particularmente estudios realizados en Costa Rica (Alvarado et al., 2004) han confirmado la presencia de MVA en plantaciones de teca.

Debido a su poca especificidad (una especie de hongo puede colonizar varias especies vegetales) las MVA son el grupo de mayor envergadura (Bejarano y Cano, 2007). Los hongos que participan de estas asociaciones pertenecen a la clase Zygomycetos de la familia Endogonaceae, géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Scutellospora* (Bentivenga y Morton, 1995; Ruiz, 1992).

Las hifas fungales crecen dentro de la raíz y penetran las paredes celulares para formar microscópicos arbusculos que incrementan el área de contacto con el hospedante (Lavelle y Spain, 2001); los arbusculos son los responsables de la transferencia bidireccional de nutrientes que se produce en la interfase planta – hongo (Bejarano y Cano, 2007), estas estructuras tienen un período muy corto de vida y son digeridas por el hospedero luego de algunos días o semanas (Lavelle y Spain, 2001).

Según estudios realizados por Ruiz (1992) las especies con raicillas gruesas y con pocos o sin pelos radiculares soportan mayores grados de colonización micorrízica, mientras que especies con raicillas muy finas y/o con abundantes pelos radiculares presentan mucha menor colonización. Así mismo las plantas que son altamente dependientes del fósforo tienden a ser más susceptibles a la colonización de MVA (Balakrishnan et al., 1994).

Esporas de hongos MVA

La esporulación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares bajo condiciones de campo están determinado por: las condiciones físico – químicas del suelo (pH, contenido de fósforo, temperatura, aireación, textura y contenido de materia orgánica), condiciones climáticas (intensidad y duración de luz, temperaturas, humedad, épocas de lluvias y épocas secas) y por las prácticas agronómicas (preparación del terreno, aplicación de pesticidas y prácticas culturales) (Gonzales, 1996).

El número de esporas en el suelo puede ser que esté muy poco correlacionado con la actividad de los hongos micorrízicos en el suelo, lo que se puede medir más efectivamente con bioensayos (Brundett et al., 1996).

B) BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO

Dentro del suelo encontramos que existen varios microorganismos que forman asociaciones simbióticas como es el caso de las bacterias Rhizobias (especies pertenecientes a los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* y *Azorhizobium*) que forman nódulos en las raíces leguminosas y la actinobacteria (*Frankia* spp.) asociada a las raíces de las Casuarináceas y algunas otras plantas. Estos microorganismos obtienen su energía de los carbohidratos, derivados de la fotosíntesis, que le proporciona la planta y producto de esta asociación fijan cantidades importantes de nitrógeno (Lavelle y Spain, 2001).

La simbiosis entre las bacterias del género *Rhizobium* y *Bradyrhizobia* provee la mayor cantidad de fijación de nitrógeno en los suelos agrícolas. El grado de fijación biológica es altamente dependiente de las condiciones climáticas y edáficas, la simbiosis *Rhizobium* – leguminosas generalmente funcionan mejor en suelos no muy ácidos abastecidos con los nutrientes esenciales. (Brady y Weil, 2008).

Si bien las Rhizobias son bacterias que están presentes en el 90% de especies de la sub-familia Mimosoidea cerca de 200 especies pertenecientes a 29 géneros y 8 familias de no leguminosas se conoce que están adaptadas a la simbiosis con estos microorganismo y a la fijación de nitrógeno (Lavelle y Spain, 2001). Estas incluyen grupos importantes de angiospermas pertenecientes a las familias Betulaceae, Rhamnaceae, Myricaceae, Casuarinaceae, Elaeagnaceae, Coriariaceae. (Brady y Weil, 2008) que se asocian mayormente con bacterias pertenecientes a los géneros *Azospirillum*, *Acetobacter*, *Azoarcus* y otros (Baldani et al., 1997). Cuando presentes estas asociaciones también forman nódulos que pueden permanecer activos por muchos años y crecer hasta más de 20cm de diámetro (Lavelle y Spain, 2001).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA EN ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, región Junín. Específicamente las muestras se colectaron en el Fundo La Génova perteneciente a la Universidad Nacional Agraria La Molina, debido a que en este lugar se puede encontrar una mayor variedad y representatividad de los sistemas de uso del suelo que existen en el valle.

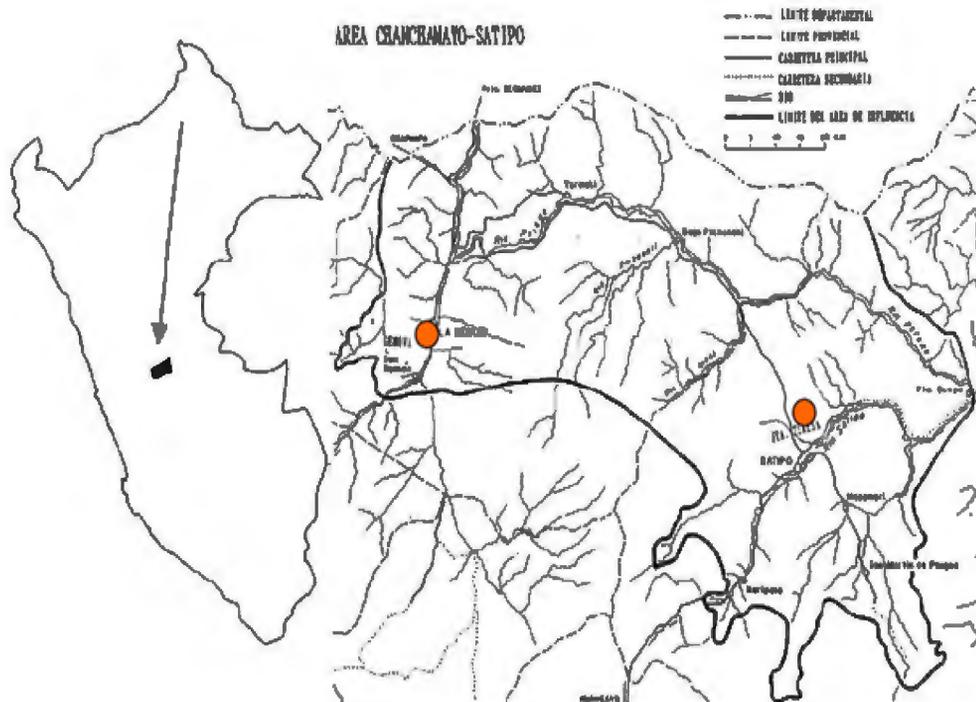


Figura 2 Localización del área de estudio (Tomado de Arellano, 2001)

El fundo La Génova se encuentra entre las coordenadas UTM: Zona 18L; 459,500 – 463,500 Oeste y 8'774,500 Norte (Reynel y Antón, 2004) y posee una extensión de 577 ha. Su territorio abarca desde el río Chanchamayo hasta las colinas localizadas atrás de la casa hacienda del fundo.

3.1.2 FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

El valle de Chanchamayo predominantemente es un paisaje montañoso, con altitudes que oscilan de 800 a 2200 m.s.n.m. y presencia de pendientes fuertes en las zonas de San Ramón y La Merced que representan alrededor del 80% de la superficie total. Las pendientes van de 65 a 100%; son áreas originalmente cubiertas de bosque, que por sus condiciones extremas de inaccesibilidad debieron ser en su mayoría bosques intangibles y sin embargo en la actualidad presentan serias alteraciones que muestran un panorama desolador. (Cáceres, 2004).

Particularmente el ámbito de estudio, el fundo La Génova, muestra un paisaje conformado por montañas. En las partes bajas se observa una pequeña planicie adyacente al río Chanchamayo, en la cual se cultivan principalmente cítricos como naranjas y mandarinas; además de algunos frutales como papaya, plátano, etc. En las partes medias y altas, el terreno se muestra en algunas zonas bastante escarpado, motivo por el cual no ha sido mayormente intervenido por el hombre. (Silva, 2005).

Existe un sistema hidrográfico poco complejo para el Valle de Chanchamayo, que se origina en Tarma a 50 km de San Ramón. En un inicio el Río Palca cuyo caudal es angosto además de torrentoso y el río Oxabamba que tiene un mayor caudal, se unen 10 km antes de San Ramón y forman el río Chanchamayo; el cual posee un caudal amplio típico en un río de Selva.

Este río se une al río Paucartambo y dan origen al río Perené, principal colector que atraviesa el área de estudio de oeste a este, el cual prosigue su cauce hacia Satipo para unirse con ríos de mayor caudal e importancia como el Tambo que junto al Urubamba forman el Ucayali. En

general estos ríos son muy torrentosos, con cauces estrechos que hacen difícil su utilización para el transporte fluvial. (Instituto Geográfico Nacional, citado en Silva 2005).

3.1.3 CLIMA

De acuerdo a datos climatológicos de la estación meteorológica FAP ubicada en la ciudad de San Ramón, obtenidos por un promedio de 5 años, se aprecia en la zona una temperatura media mensual comprendida entre 22,8 °C y 24,7 °C, y una media anual de 23,1 °C, con una temperatura máxima promedio de 30,1 °C y un mínimo promedio de 16,7 °C. (Cáceres, 2004).

Conforme a los datos de 33 años del SENAMHI, el promedio anual de precipitación es de 2010,4 mm. Se observan dos épocas bien definidas, una de diciembre a mayo, caracterizada por sucesivas precipitaciones más o menos abundantes y otra de mayo a noviembre en la que las condiciones de lluvia disminuyen. No se han registrado deficiencias de agua presentando un porcentaje de humedad relativamente alto de 78,2 %. (Reynel, citado en Cáceres 2004).

3.1.4 ZONAS DE VIDA

De acuerdo a la clasificación del sistema de zonas de vida del Dr. Leslie R. Holdridge, en la cual sostiene que de las 103 zonas de vida existentes en el mundo, el Perú cuenta con 87. El Fundo La Génova pertenece al bosque muy húmedo premontano tropical (bmh - PT), la distribución de esta zona de vida es muy amplia, centrada en la selva baja y alta; generalmente sobre las laderas con fuertes pendientes. Altitudinalmente se sitúan entre los 600 y casi 2000 m.s.n.m.

3.1.5 VEGETACIÓN

En el valle de Chanchamayo más del 90% del área está conformada por Bosque Secundario o disturbado (Reynel, 1989). Malleux (Citado en Silva, 2005) sostiene que existen 3 tipos de bosques para el Valle de Chanchamayo, los cuales son:

Bosque de colinas clase III:

Las principales especies forestales que caracterizan este bosque son: las moenas de la familia Lauraceae, el tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), el nogal (*Juglans neotropica*), la congona (*Brosium sp.*), el tulpay (*Clarisia sp.*), el almendro (*aryocar sp.*), quinilla (*Manilkara bidentata*), el cedro de altura y en los límites superiores se observan la existencia del ulcumano (*Podocarpus sp.*).

Bosque de protección clase I:

Las especies forestales más importantes son: ulcumano (*Podocarpus sp.*), moenas de la familia Lauraceae y el carapacho (*Weinmannia sp.*).

Bosque de protección clase II:

La vegetación natural está constituida por árboles pequeños y delgados donde el epifitismo es muy abundante tanto en especies heliófitas como esciófitas.

Actualmente en el valle de Chanchamayo gran parte de los bosques han sido talados, dando lugar a la formación de bosques secundarios, llamados también purmas, partizales y áreas degradadas. En las colinas más altas todavía es posible observar pequeños relictos del bosque original.

En el fundo la Génova la vegetación es siempre verde, los árboles según su posición sociológica están distribuidos en cuatro estratos: dominantes, codominantes, suprimidos y oprimidos; en el fundo sobresalen los estratos superiores de árboles emergentes que alcanzan los 50 metros de altura (Cáceres, 2004).

3.1.6 SUELOS

Según estudios realizados por Dancé en 1982 (citado en Silva, 2005); los suelos de la zona se clasifican de acuerdo a su origen y posición fisiográfica en:

Suelos aluviales recientes en terrazas altas:

Suelos que han sido formados a partir de sedimentos aluviales de una antigüedad media por lo general, ocupa una posición de terrazas altas a lo largo del río Perené. Estos suelos son pardos francos, de fertilidad moderada, generalmente se hallan bajo cultivos o cubiertos por purmas.

Suelos coluvio – aluvio locales:

Suelos formados generalmente a partir de materiales gruesos o medios acumulados por la acción de la gravedad en la base de las pendientes empinadas, o acarreados desde lugares cercanos por acción del agua de escorrentía. Se encuentran distribuidos principalmente a lo largo de las quebradas estrechas, estos suelos son pardos rojizos y oscuros de textura media gruesa y de reacción extremadamente ácida a neutras; gran parte de estas tierras se hallan bajo cultivo permanente.

Suelos residuales en ladera y cima de los cerros:

Son suelos de formación *in situ*, de topografía quebrada, textura pesada, ácidos, de baja fertilidad y productividad. La mayor parte de la superficie de estas tierras se encuentra cubierta por vegetación natural.

3.1.7 CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LAS TIERRAS

El potencial mayoritario de uso del Valle Chanchamayo es forestal, pero la cubierta original de bosques nativos se deforestó a niveles mayores al 80%. Ahora dichos bosques han quedado localizados en zonas de difícil acceso.

El Fundo Génova ha sido caracterizado en las zonas bajas para el uso de cultivos permanentes; las zonas altas del Fundo son exclusivamente para una aptitud forestal. (Silva, 2005).

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS

En este estudio se evaluaron cinco sistemas de uso del suelo. Tres sistemas son forestales (teca, bolaina y eucalipto), uno es agroforestal (guaba) y el último es un sistema frutal (café). El sistema frutal se eligió como sistema comparativo.

3.2.1 SELECCIÓN DE LAS ESPECIES

La selección de especies de los sistemas se realizó en base a los siguientes criterios de selección: su uso extendido y aceptado en la zona (criterio social), es decir la “costumbre” de las personas a sembrar estos cultivos; la investigación realizada en el manejo de estas especies (criterio científico); la productividad y rentabilidad de los productos que pudieran obtenerse de ellos (criterio económico) y su adaptación a las condiciones climáticas y edáficas de la zona (criterio ecológico). En el cuadro 2 se observan las especies seleccionadas comparadas con los criterios de selección.

Cuadro 2 Criterios de selección y especies seleccionadas

| | <i>Teca</i> | <i>Bolaina</i> | <i>Guaba</i> | <i>Eucalipto</i> | <i>Café</i> |
|------------|-------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| Social | ✘ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Científico | ≡ | ≡ | ✓ | ≡ | ✓ |
| Económico | ✓ | ✓ | ≡ | ✓ | ✓ |
| Ecológico | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

✓ : Cumple con el criterio

≡: Cumple parcialmente con el criterio

✘: No cumple con el criterio

Fuente: Elaboración propia

Vemos en el cuadro 2 que el café, sistema frutal comparativo, cumple todos los criterios de selección. La guaba se encuentra dentro de un sistema agroforestal en donde las hortalizas cumplen con las funciones de producción mientras que la guaba brinda beneficios ecológicos (razón por la que la guaba no cumple parcialmente con el criterio económico), y cumple con los criterios de selección sociales, científicos y ecológicos.

El eucalipto y la bolaina cumplen con el criterio social porque son utilizados en la zona, incluso el eucalipto también dentro de sistemas agroforestales, están adaptadas a las condiciones ecológicas y han demostrado ser especies rentables aunque no haya mucha investigación realizada en su manejo.

Por último la teca aunque no cumple con el criterio social por ser una especie “nueva” en la amazonía peruana, las pocas plantaciones instaladas han mostrado buenos resultados lo que indica que cumple con los criterios ecológicos; la madera de esta especie tiene gran valor y hay muchísima experiencia en manejo de plantaciones en bosques tropicales alrededor del mundo, por lo que se decidió seleccionarla.

3.2.2 SISTEMA DE TECA

A) DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Nombre común: Teca

Nombre científico: *Tectona grandis*

Familia: Verbenáceae

Esta especie es nativa del sudeste de Asia, Malasia e Indochina. Los árboles son caducifolios y en general grandes, de fuste recto y cilíndrico, y pueden alcanzar los 45 metros de alto y 1,5 metros de diámetro; la corteza es de color café grisáceo; presenta grietas superficiales y las hojas son simples y de tamaño grande.

Se desarrolla en suelos profundos y de buen drenaje, franco arenosos o ligeramente arcilloso, además con pH neutro o ligeramente ácido, en climas húmedos y elevaciones bajas. En el trópico americano, ha sido plantada en gran cantidad en sitios como Puerto Rico, América Central, Belice y Panamá. En América del Sur se ha cultivado en Colombia, Venezuela, Brasil y Guyana.

Se utiliza en construcción marina en general, madera contrachapada, paneles decorativos, juguetería, madera torneada y tallada, muebles y gabinetes, cerchas, marcos de puertas y ventanas, carpintería en general, y pulpa para papel. (Govaere, 2008)

3.2.3 SISTEMA DE BOLAINA

A) DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Nombre común: Bolaina

Nombre científico: *Guazuma crinita*

Familia: Sterculiaceae

La bolaina es una especie nativa caducifolia de 25 a 80cm de diámetro y 15 a 30m de altura total, tiene fuste cilíndrico con base recta y presenta ramificación en el tercer tercio. La corteza externa es lisa o finamente agrietada, de color marrón claro a grisáceo. Las hojas son simples, alternas y dísticas.

Es una especie heliófita característica de la vegetación secundaria temprana. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Suele presentarse en suelos limosos a arenosos, muchas veces de escasa fertilidad. Se distribuye ampliamente en el Neotrópico desde Centroamérica a la región Amazónica, hasta el sur de Brasil y Bolivia, mayormente hasta los 1500 msnm. Esta especie abunda en la amazonía peruana (Reynel *et. al* 2003).

La madera es de buena calidad, se le usa en carpintería, elaboración de utensilios pequeños como paletas de chupetes, mondadientes, palos de fósforo y artesanías; en años recientes se le usa crecientemente en la industria de los tableros contrachapados. (Reynel *et. al* 2003)

3.2.4 SISTEMA DE GUABA

A) DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Nombre común: Guaba

Nombre científico: *Inga edulis*

Familia: Fabaceae (Mimosoideae)

La guaba es un árbol nativo caducifolio o perennifolio de 15 a 50 cm de diámetro y de 6 a 18 m de altura total. Tiene un fuste cilíndrico o irregular, la ramificación es desde el segundo tercio y la base del fuste recta o con pequeñas raíces tablares de hasta 0,5 m de alto. Las hojas son compuestas paripinnadas, alternas y dispuestas en espiral. La corteza externa es lisa y

lenticelada, color marrón claro, con lenticelas circulares o alargadas dispuestas en hileras horizontales y abundantes hacia la zona basal del fuste (Pennington, 1997).

Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada; es una especie heliófita de crecimiento rápido, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos; prefiere suelos arenosos de zonas ribereñas. Crece silvestre en el Oeste de Sudamérica hasta Bolivia, mayormente debajo de los 1200 msnm. Se le cultiva desde Centroamérica a Sudamérica.

Los frutos tienen semillas envueltas en un tejido algodonoso, comestible y apreciado localmente. La madera es usada como leña, por ser corriente y poco durable. Tiene alto potencial para la recuperación de suelos degradados; su crecimiento es muy rápido y aporta gran cantidad de hojarasca y materia orgánica (Reynel *et. al* , 2003).

3.2.5 SISTEMA DE EUCALIPTO

A) DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Nombre común: Eucalipto

Nombre científico: *Eucalyptus torelliana*

Familia: Myrtaceae

Esta especie es nativa de la zona de Queensland en Australia en el borde del bosque pluvial. Es un árbol perennifolio que alcanza los 30m de altura ostentando un buen tronco y copa densa. Presenta una corteza en capas subfibrosa en la base y fisurada hasta cerca de los 5m siendo lisa más arriba.

Se le encuentra en alturas desde 100 hasta 800 msnm, precipitaciones de 1100 a 1500 mm con estación seca de 3 meses, temperaturas desde 16 hasta 29 °C. Crece en suelos franco arenoso y suelos francos más pesados de origen volcánico, exigiendo subsuelos permeables o de buen drenaje. Sus usos más comerciales son para madera y como planta ornamental. (Ugalde, 1997)

3.2.6 SISTEMA DE CAFÉ

A) DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Nombre común: Café

Nombre científico: *Coffea arabica*

Familia: Rubiaceae

El café es un arbusto perennifolio nativo de Etiopía que alcanza los 8 metros de altura. Presenta hojas opuestas, ovales u oblongas de color verde oscuro, las inflorescencias son axilares y produce una drupa de color rojo brillante, que contiene dos semillas.

Sus temperaturas óptimas son de 20 °C a 26 °C, y se desarrolla entre los 600 y 1600 msnm. Requiere de suelos profundos, francos y con un pH de 5,5 a 6,5.

Su uso es principalmente para la producción de café a partir de las semillas tostadas, las hojas y las semillas se usan en medicina tradicional. (MacVean, 2007).

3.3 COLECCIONES EN CAMPO

De cada sistema se recolectaron 5 muestras de hojarasca, densidad aparente y suelo con raíces; además de una muestra, compuesta por 5 sub muestras, de suelo representativo de cada sistema para realizar los análisis de caracterización del suelo. El muestreo en todos estos casos fue al azar.

3.3.1 HOJARASCA

Para coleccionar la hojarasca se delimitó una cuadrícula de 1 m de lado y en las zonas donde había grandes cantidad de hojarasca se usó una cuadrícula más pequeña de 0.5 m de lado. Dentro de la cuadrícula se seleccionó sólo la hojarasca de la especie predominante dentro del sistema clasificándola en 3 estados de descomposición (de menor a mayor descomposición) y guardándolas en diferentes bolsas.



Figura 3 Colección de hojarasca en una cuadrícula de 1m² en el sistema de teca

3.3.2 DENSIDAD APARENTE

Para medir la densidad aparente del suelo se utilizó el método del cilindro metálico (Zavaleta, 1992). Con la ayuda de un mazo de goma, se introdujo el cilindro en el perfil del suelo a 15 cm de profundidad. La muestra extraída se almacenó en bolsas de papel, y luego se secó en una estufa. La densidad aparente se determinó dividiendo el peso del suelo seco a la estufa expresada en gramos entre el volumen del cilindro expresado en centímetros cúbicos.

3.3.3 MUESTRAS DE SUELO CON RAÍCES

Las muestras se obtuvieron a partir del suelo que rodea las raíces excavando hasta 20 cm de profundidad hasta encontrar las raicillas del árbol, comprendiendo la muestra suelo y raíces

desde el nivel del suelo hasta los 20cm de profundidad. Se colectó aproximadamente 3 kg de suelo y se guardaron en bolsas plásticas. Las muestras se conservaron en coolers con hielo durante el viaje y al llegar al laboratorio se refrigeraron. Se tomaron muestras de raíces de 5 árboles por sistema estudiado. A este suelo recolectado junto con las raíces se le realizó el aislamiento de esporas para cuantificarlas.



Figura 4 Colección de muestras de suelo con raíces.

3.3.4 PRESENCIA DE NÓDULOS

Al momento de hacer la calicata dentro de cada sistema se pudieron observar las raíces, si es que en ellas se identificaba la presencia de nódulos se procedió a contabilizar la cantidad de nódulos dentro de una cuadrícula de 30 cm por lado.

3.4 ANÁLISIS EN LABORATORIO

3.4.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Los análisis de caracterización de suelo fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes del departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM de acuerdo a los métodos descritos por Bazán (1996) que se detallan a continuación:

- Para la textura del suelo: el método del hidrómetro que mide el porcentaje de arena, limo y arcilla.
- Para la salinidad: se midió la conductividad eléctrica del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de pasta de saturaciones.
- Para el pH: se midió en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua en relación 1:1 ó en la suspensión suelo: KCl – N, en relación 1:2:5.
- Para calcáreo total (CaCO_3): se empleó el método gasovolumétrico utilizando un calcímetro.
- Para materia orgánica: se utilizó el método de Walkey y Black en el que la oxidación del carbono orgánico se hace con dicromato de potasio.
- Para el nitrógeno total: se empleó el método del micro – Kjeldahl.
- Para el fósforo disponible: se desarrolló el método de Olsen modificando la extracción con $\text{NaHCO}_3 = 5\text{M}$ a pH 8,5.
- Para el potasio disponible: se realizó la extracción con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$) a pH 7.0.
- Para hallar los iones de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ cambiabiles, se hizo el reemplazamiento con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$) N a pH 7.0 y la cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
- Para $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$; se utilizó el método de Yuan haciendo la extracción con KCl, N.

- Para los iones solubles:
 - a) El Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ solubles se hallaron por fotometría de llama y/o absorción atómica.
 - b) El Cl , $\text{CO}_3 =$, $\text{HCO}_3 =$, NO_3 solubles se hallaron por volumetría y colorimetría y con SO_4 turbidimetría con cloruro de bario.
 - c) En el Boro soluble la extracción se hizo con agua y la cuantificación con curcumina.
 - d) El yeso soluble se solubilizó con agua y se precipitó con acetona.

3.4.2 PORCENTAJE DE ÁCIDOS HÚMICOS, FÚLVICOS Y HUMINAS

Se utilizó el método Kononova y Belquicova (1982) referido por López (2007).

- Se pesó una submuestra de 1gr de suelo y se colocó en un frasco añadiéndole 100 ml de solución extractante (44,5 gr de pirofosfato de sodio y 4 gr de NaOH) agitándolo durante 1 hora.
- Trasladando la solución a tubos de centrifuga se centrifugaron las muestras a 4500 rpm durante 15 minutos. El líquido extraído se almacenó en frascos, repitiendo la agitación y centrifugación hasta obtener un líquido incoloro.
- Los sólidos (las huminas) se guardaron aparte. Con todos los líquidos extraídos se formó un extracto enrasándolo a volumen conocido.
- De este volumen se tomó 100 ml a los cuales se le añadió ácido sulfúrico hasta llevarlo a pH 1. Luego de dejar enfriar se centrifugó a 2000 rpm durante 10 minutos.
- Cada fracción (siendo la solución los ácidos fúlvicos y el precipitado los ácidos húmicos) se llevó a vasos y luego a la estufa a 70 °C hasta sequedad.

3.4.3 PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA

A cada una de estas 3 fracciones se le determinó el contenido de materia orgánica empleando el

método de Walkey y Black referido en Jackson (1982).

- En un erlenmeyer grande se colocó la materia seca.
- Se añadieron 10 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico, se mezcló para homogenizar la mezcla y se dejó 1 hora para que reaccionara.
- Luego se enrazó a 50 ml y se extrajeron 10 ml a los que se les añadió 4 gotas de indicador ferroin.
- Se tituló con sulfato ferroso hasta notar el cambio de color a verde.

La cantidad de materia orgánica se obtuvo empleando la siguiente fórmula

$$\% \text{ de C en el suelo} = \frac{N \times (V_1 - V_2) \times 0,39}{P}$$

N = Normalidad del sulfato ferroso

$$0,39 = 3 \times 10^{-3} \times 100 \times 1,3$$

3×10^{-3} = peso equivalente del carbono

1,3 = factor de asunción de 77% de recuperación

V1 = volumen de sulfato ferroso requerido para el blanco

V2 = volumen de sulfato ferroso requerido por la muestra

P = peso del suelo en gramos

$$\% \text{ de Materia Orgánica} = \% \text{ de C en el suelo} \times 1,724$$

3.4.4 AISLAMIENTO DE ESPORAS

Se utilizó el método de tamizado y centrifugación (Daniels & Skipper 1982 y Tommerup 1992) referido en Brundett et al. (1996).

- Se determinó el contenido de humedad del suelo por diferencia de pesos secándolo durante 24 horas a 70 °C.

- Se tomaron 100 gr de suelo de cada muestra y se colocó en un recipiente añadiendo 100ml de agua.
- Se agitó por 3 minutos y se esperó unos segundos a que las partículas más pesadas precipiten.
- Se tamizó varias veces utilizando abundante agua y tamices de 246, 104 y 45 micrómetros (mm).
- Las fracciones restantes de los dos tamices más finos se colocaron en tubos de centrifugación.
- Se centrifugaron las muestras durante 5 minutos a 2000 rpm.
- Se descartó el agua y se añadió una solución al 50% de sacarosa a los tubos de centrifugación.
- Se centrifugó por 1 minuto a 2000 rpm.
- Luego la solución de sacarosa se tamizó con el tamiz más fino (45 mm) para luego pasarlo por el papel filtro. El papel filtro se marcó con cuadrículas de 7 mm para facilitar el conteo.
- Las esporas se almacenaron refrigeradas en placas petri.
- Utilizando un estereoscopio se contaron las esporas. La cantidad de esporas se expresó en relación al suelo seco.

3.4.5 CLAREADO Y TEÑIDO DE RAÍCES Y CUANTIFICACIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

Se empleó la técnica de Phillips y Hayman (1970) modificada por Rivillas (1995) referida en Botero (2006).

- Se escogió una sub muestra de raíces y se les sumergió en agua para remover el exceso de tierra.

- Se seleccionaron las raíces más finas y se colocaron en un recipiente.
- Se adicionó KOH al 10%, se calentó en baño maría a 70 °C durante 1 hora aproximadamente dependiendo de la especie.
- Se lavaron con agua destilada y se agregó HCl al 5%, dejándolo a temperatura ambiente por 1 hora.
- Se lavaron con agua destilada, se agregó azul de tripano al 0,01% y se calentaron en baño maría a 70 °C durante 1 hora.
- Para retirar el exceso de tinte las raíces se lavaron con agua destilada y se almacenaron en lactoglicerol al 50%.



Figura 5 Raíces de guaba en lactoglicerol luego de la tinción

Para la cuantificación de la colonización micorrízica se utilizó el método de intersección de raíces de McGonigle et al. (1991) citado en Brundett et al. (1996).

- En un portaobjeto se montaron las raíces más finas y se observaron en un microscopio con aumento de 40x.
- El portaobjetos se marcó con líneas paralelas distanciadas 2 mm y las raíces se colocaron transversalmente.

- Se observaron las intersecciones de la raíz con la línea anotando el número de intersecciones colonizadas y el número de intersecciones observadas. La colonización se reconoció por la presencia de hifas, vesículas o arbusculos.

El porcentaje de colonización se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Colonización (\%)} = \text{Intersecciones colonizadas} / \text{Intersecciones observadas} \times 100$$

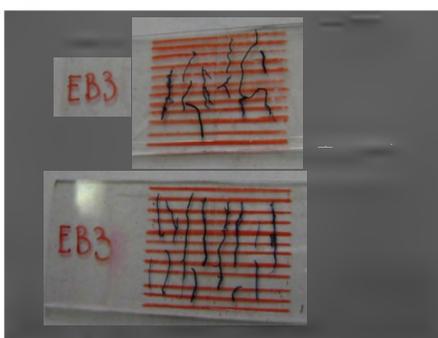


Figura 6 Raíces montadas en placas portaobjetos.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis estadísticos de correlación, dispersión y diagrama de cajas (boxplot) utilizando el programa Minitab 15.

Correlación

Para conocer el grado de relación entre las diferentes variables estudiadas (cantidad de esporas, porcentaje de colonización micorrízica, calidad y cantidad de hojarasca, etc) se realizó el análisis de correlación y se hallaron los valores de p para cada correlación.

Diagrama de cajas (boxplot)

Para comparar los datos se realizó el diagrama de cajas (boxplot) por tratarse de un estudio de diagnóstico y comparación de los sistemas de uso de la tierra predominantes en la zona con especies arbóreas que están siendo plantados y promocionados. En esta evaluación no se ha contado con “controles” ni sistemas de usos de la tierra homogéneos comparables con un control que podría haber seguido las reglas de un análisis estadístico tradicional como el de bloques completamente randomizados. Esta randomización no se pudo realizar ya que los sistemas estaban ya establecidos.

El boxplot, permite comparar simultáneamente, diversos conjuntos de datos, se trata de un gráfico simple, donde se observa de forma clara la distribución de los datos, dispersión de las medias y sus principales características. Se utiliza como herramienta visual para ilustrar los datos, para estudiar simetría, colas y supuestos sobre la distribución, y para comparar diferentes distribuciones. El gráfico contiene un rectángulo, orientado con el sistema de coordenadas tal que el eje vertical tiene la misma escala del conjunto de datos, la parte superior y la inferior del rectángulo coinciden con el tercer cuartil y el primer cuartil de los datos. Esta caja se divide con una línea horizontal a nivel de la mediana, y una línea vertical (un bigote) que se extiende desde la mitad de la parte superior de la caja hasta la mayor observación de los datos si se encuentran dentro de un paso, definiendo un “paso” como 1,5 veces el rango intercuartil; igual se hace en la parte inferior de la caja.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS EVALUADOS

En el campo se evaluaron las principales características de los sistemas. En el Cuadro 3 se muestra la comparación de la cantidad de árboles en cada uno de los sistemas.

Cuadro 3 Descripción de los sistemas evaluados

| Sistema | Número de árboles x ha | Número de árboles en el sistema | Número de individuos evaluados | Observaciones |
|------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| <i>Teca</i> | 2 000 | 11 600 | 50 | Plantación de 5.8 ha |
| <i>Bolaina</i> | 1 111* | 100 | 100 | Fajas en el camino principal |
| <i>Guaba</i> | 8 000 | 8 000 | ---- | Sistema agroforestal con los árboles de guaba instalados en surcos |
| <i>Eucalipto</i> | 1 111* | 11 | 11 | Fajas en el camino principal |
| <i>Café</i> | 3 333 | 4 166 | --- | Plantación de 1.25ha asociada con árboles de guaba, actualmente sin manejo. |

*: Considerando un distanciamiento de 3m x 3m.

Fuente: Elaboración propia

Se observó que el sistema de tecla es el que presenta mayor cantidad de individuos, seguido de la guaba debido a que estos árboles están instalados en surcos. El sistema con la menor cantidad de individuos es el de eucalipto.

El número de árboles por ha nos permite comparar la densidad de siembra. El sistema más denso es el de guaba, y los menos densos los sistemas de bolaina y eucalipto que son los únicos instalados en fajas.

El número de individuos evaluados se refiere a la muestra tomada para las mediciones de dap (diámetro a la altura del pecho) y altura de los árboles. En el caso de los árboles de guaba y café no se realizaron estas mediciones.

4.1.1 SISTEMA TECA

Este sistema está compuesto por 5,8 ha de árboles de teca sembrados a un distanciamiento de 2 m x 2,5 m. La plantación se instaló hace aproximadamente 25 años con fines de investigación y producción. El sistema está ubicado en las laderas próximas a las plantaciones de cítricos.



Figura 7 Vista panorámica de un macizo del sistema de teca.

La mayor parte de la plantación se encuentra en zona de ladera con pendientes largas y pronunciadas, otra parte se ubica en lo que fue el cauce de una pequeña quebrada ocupando las laderas y el antiguo lecho del cauce.

El sistema se encuentra sembrado en macizos de más de 1 ha (Figura 7) lo que hace que la vegetación predominante dentro del sistema sea la teca, y en menor abundancia algunas

especies herbáceas y arbustivas. Las copas de los árboles forman un dosel cerrado, generando un microclima con menores tasas de evotranspiración. El suelo se encuentra cubierto por una espesa capa de hojarasca proveniente de caída de las grandes hojas de las tecas.

Se muestrearon 50 árboles del total de la población encontrándose los siguientes valores de diámetro a la altura del pecho (dap) y altura total.

Cuadro 4 Dap y altura promedios de la plantación de teca

| | |
|--------|---------|
| Dap | 26,4 cm |
| Altura | 14,1 m |

4.1.2 SISTEMA BOLAINA

Este sistema lo conforman árboles de bolaina sembrados en línea con un distanciamiento de 3m. Aproximadamente las plantas han sido instaladas hace 10 años. Las bolainas de este sistema están ubicadas a ambos lados de la carretera que lleva a la casona del Fundo; los árboles se encuentran sembrados por bloques de 30 individuos aproximadamente (Figura 8).



Figura 8 Sistema de bolaina a un lado de la carretera.

Debido a que los árboles están en fajas no tienen mucha influencia en el microclima ni en la radiación recibida por el suelo. Como las plantas están al borde de la carretera el suelo es de muy baja calidad, se observaron claros, duros y compactados.

La población total del sistema es de 100 individuos. Se hizo un muestreo del 50% obteniéndose los siguientes valores de dap y altura total.

Cuadro 5 Dap y altura promedios de la plantación de bolaina

| | |
|--------|---------|
| Dap | 12,8 cm |
| Altura | 14,8 m |

4.1.3 SISTEMA GUABA

El sistema de guaba es un sistema agroforestal que ha sido instalado hace aproximadamente 3 años con fines de investigación y comprende 1 ha en una zona de baja pendiente al costado de la carretera que lleva a la casona del Fundo. (Figura 9)



Figura 9 Sistema de guaba.

El sistema lo conforman guabas sembradas en surcos en contorno con un distanciamiento entre plantas de 0,5 m y entre surcos de 2,5 m y cultivos anuales como: frejol, tomate, maíz y ají, sembrados entre los surcos de guaba. Las copas de las guabas que alcanzan hasta 3 m de altura cierran parcialmente el dosel. Los suelos se observaron oscuros y sueltos con presencia de cantos rodados.

La guaba dentro de este sistema agroforestal cumple la función de aportar materia orgánica producto de su hojarasca y biomasa desprendida, mejorar la calidad del suelo fijando nitrógeno y estabilizar la pendiente disminuyendo la erosión. Dentro de este sistema no se están empleando fertilizantes.

4.1.4 SISTEMA EUCALIPTO

Este sistema los conforman árboles de eucalipto sembrados en línea a un distanciamiento de 3m. Se ubica a un lado de la carretera que lleva a la casona del fundo, al costado del sistema de guaba. Los eucaliptos han sido instalados hace aproximadamente 10 años.



Figura 10 Sistema de eucalipto a un lado de la carretera.

Los árboles de este sistema se encuentran todos en un solo bloque y en una parte de la carretera que colinda con la vegetación al otro lado de la carretera, lo que aporta mayor sombra al sistema (Figura 6). Se observó que los suelos eran de baja calidad, de color claro y compactados.

En total hay 11 individuos, se evaluó el total de la población obteniéndose los siguientes valores de dap y altura total.

Cuadro 6 Dap y altura promedios de la plantación de eucalipto

| | |
|--------|--------|
| Dap | 9,8 cm |
| Altura | 9,8 m |

4.1.5 SISTEMA CAFÉ

Este sistema lo conforman 1,25 ha de plantas de café, con un distanciamiento de 1,5 m x 2 m, y árboles de guaba distanciados a 10 m x 10 m (Figura 11). Se ubica al costado de la carretera que lleva a la casona del fundo, aproximadamente 10 m metros más arriba del sistema de guaba. Este sistema se instaló como parte de un programa de investigación en fertilizaciones con fuentes naturales con el objetivo de mejorar los niveles de productividad y calidad del café en el marco de una agricultura orgánica (Julca, 2009).



Figura 11 Sistema de café.

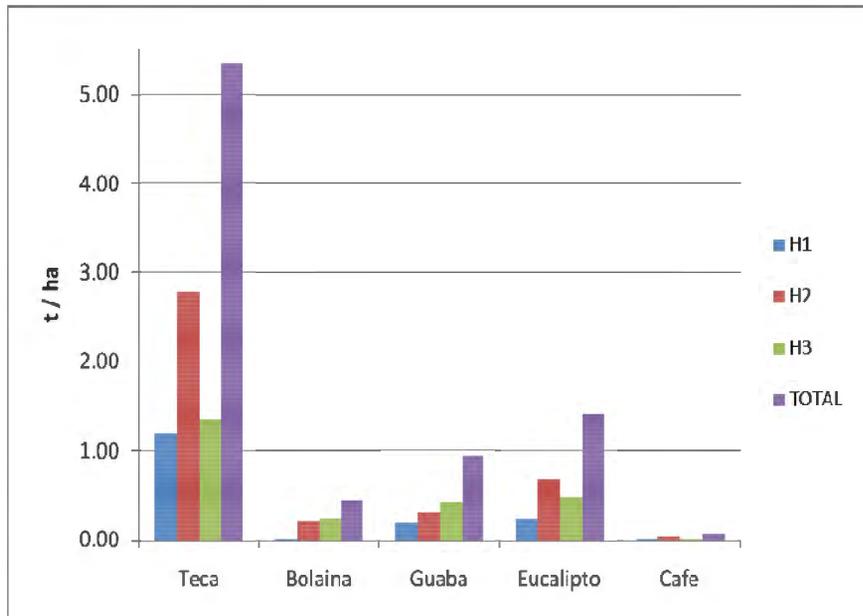
El manejo de este sistema como experimento inició el mes de octubre del 2006 y finalizó en diciembre del 2008, desde esa fecha no ha vuelto a ser manejado. Dentro del periodo que duró el experimento el sistema recibió cinco tratamientos distintos de fertilización natural que fueron: guano de isla, roca fosfórica, sulfato de potasio, kieserita y ulexita (Julca, 2009).

Dentro de este sistema los árboles de guaba, por estar tan distanciados, no cierran el dosel como si ocurre, por ejemplo, en el sistema de teca. El terreno tiene una pendiente baja y los suelos se observaron oscuros con poca pedregosidad.

4.2 CANTIDAD Y CALIDAD DE LA HOJARASCA , POR ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN

En el sistema de teca la hojarasca predominante fueron las hojas de los árboles de teca, lo mismo ocurrió en el sistema de guaba. En el sistema de eucalipto se encontraron varios tipos de hojarasca pertenecientes a árboles cercanos al sistema, no siendo predominante la hojarasca del

eucalipto. En los sistemas de café y de bolaina en general había muy poca cantidad de hojarasca. En la figura 12 se presentan los promedios de las cantidades de hojarasca, en el Anexo 1 se presenta el detalle de los datos obtenidos para cada una de las repeticiones en los cinco sistemas.



H1: Hojarasca no descompuesta

H2: Hojarasca medianamente descompuesta

H3: Hojarasca altamente descompuesta

TOTAL: H1 + H2 + H3

Figura 12 Cantidad de hojarasca como materia seca en cada uno de los estados de descomposición

En la figura 12 se muestra la cantidad de hojarasca como materia seca producida en toneladas según los tres estados de descomposición para los cinco sistemas de uso del suelo y el total representa la cantidad de hojarasca producida sumando los tres estados de descomposición.

Se observa que el sistema que produce mayor cantidad de hojarasca es la teca con 5,34 t de hojarasca total producida en 1 ha, le sigue el eucalipto con 1,41 t; después la guaba con 0,94 t; luego la bolaina con 0,45 t y por último el café con 0,07 t de hojarasca total producida en 1 ha.

La cantidad de hojarasca encontrada en los sistemas tiene relación con las tasas de descomposición particulares para cada especie. Stefano y Fournier (2005) encontraron que especies con hojas que presentaban altas relaciones de C/N, lignina o contenidos de compuestos secundarios como taninos y fenoles, se descomponían lentamente en el bosque. Entonces una de las razones por las que el sistema de teca, en comparación con los otros sistemas, ha producido mayor cantidad de hojarasca puede deberse a las propiedades químicas de las hojas que hace que presente bajas tasas de descomposición. Otra razón puede ser que es una especie caducifolia, con hojas de tamaño grande y textura gruesa y por último a que este sistema se encuentra instalado como un macizo, a diferencia del sistema de eucalipto o de bolaina que se encuentran plantados en líneas.

La elevada producción de hojarasca en el sistema de teca contradice lo señalado por Reddy (2002) quien afirma que la acumulación de residuos en plantaciones de especies de hoja ancha como la teca no es común ya que la vegetación del sotobosque se ve suprimida haciendo que las hojas sufran un proceso de descomposición acelerado. Esta discrepancia puede deberse a diferencias en las condiciones climáticas, edáficas y de adaptabilidad de la misma especie, que da como resultado la lenta descomposición de la hojarasca.

El sistema de café ha producido una cantidad muy pequeña de hojarasca lo que puede deberse a que es una especie perennifolia. Después del café la bolaina es quien menor cantidad de hojarasca ha producido, la bolaina es una especie caducifolia por lo que la poca cantidad de hojarasca producida puede deberse a la fenología de la especie y a que como el sistema de bolaina no es cerrado la hojarasca producida es transportada por el viento lejos del sistema.

En el caso del eucalipto y la bolaina presentaron valores menores de hojarasca (1,41 t/ha y 0,45 t/ha respectivamente) lo que puede deberse como señala Reddy (2002) a que la copa abierta y

el tamaño pequeño de las hojas permite el crecimiento de plantas herbáceas produciendo residuos que se descomponen rápidamente.

La guaba presentó valores similares de producción de hojarasca (0,94 t/ha), esto concuerda con la afirmación de Moro y Domínguez (1996) quienes plantean que las leguminosas debido a sus altos contenido de nitrógeno foliar son muy propensas a la degradación producida por los microorganismos del suelo, por lo que presentan altas tasas de descomposición.

Cuadro 7 Distribución porcentual de la hojarasca según estados de descomposición en 1 ha

| | <i>No descompuesta</i> | <i>Medianamente descompuesta</i> | <i>Altamente descompuesta</i> |
|------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| <i>Sistema</i> | <i>H1</i> | <i>H2</i> | <i>H3</i> |
| | (%) | (%) | (%) |
| Teca | 22,5 | 52,1 | 25,4 |
| Bolaina | 0,9 | 46,5 | 52,7 |
| Guaba | 21,1 | 32,5 | 46,4 |
| Eucalipto | 16,9 | 48,5 | 34,6 |
| Cafe | 11,8 | 69,4 | 18,9 |

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 7 se observa el porcentaje de hojarasca seca producido según cada estado de descomposición y tipo de sistema de uso del suelo. El sistema de café ha producido la mayor cantidad de hojarasca medianamente descompuesta (H2) con 69,4% dentro de su sistema pero si lo comparamos con la cantidad total producida con los otros sistemas y que son mostradas en la Figura 12, estos fueron los más bajos por lo que estos valores no son muy representativos de compararse con otros sistemas. En general todos los sistemas tienen en menor proporción la hojarasca no descompuesta (H1), con un valor muy bajo para la bolaina lo que puede deberse a las características fenológicas de la especie. De la hojarasca medianamente descompuesta (H2) se presentan proporciones mayores a la de la hojarasca no descompuesta (H1) para todos los sistemas, esto quiere decir que la hojarasca está en un proceso lento de descomposición.

4.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Anexo 5 se observa que los valores del coeficiente de correlación entre el porcentaje de materia orgánica del suelo y los tres estados de descomposición de hojarasca son bajos. Diversos estudios realizados (Palma et al., 1998; Moro y Domingo, 1996; Stefano y Fournier, 2005) refieren que la descomposición de la hojarasca no depende sólo de los factores microbiológicos del suelo sino también de factores medioambientales y de las características morfológicas, estructurales y químicas de las especies forestales así como los contenidos de carbono, nitrógeno y lignina en las hojas. Entonces debido a esta diversidad y complejidad de factores que intervienen en la descomposición de la materia orgánica se explica estos valores bajo de correlación entre la materia orgánica del suelo y la hojarasca.

En el cuadro 8 se muestran las correlaciones entre la colonización micorrízica y los diferentes estados de descomposición de la hojarasca.

Cuadro 8 Valores de correlación entre la colonización micorrízica y los estados de descomposición de la hojarasca

| | <i>H1</i> | <i>H2</i> | <i>H3</i> | <i>Total</i> |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Colonización micorrízica (%) | 0.77* | 0.58* | 0.56* | 0.70* |

H1: Hojarasca no descompuesta

H2: Hojarasca medianamente descompuesta

H3: Hojarasca altamente descompuesta

Total: H1 + H2 + H3

*: Correlación de 25 evaluaciones

Fuente: Elaboración propia

En los siguientes gráficos se observan las dispersiones entre las variables.

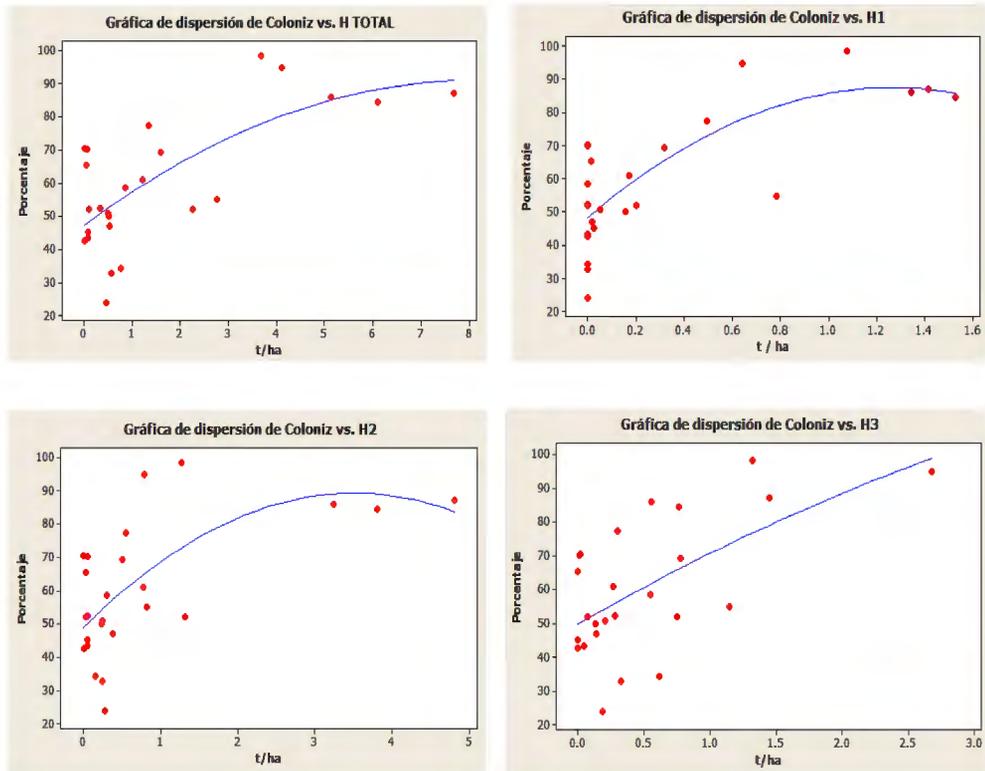


Figura 13 Dispersiones entre la colonización micorrízica y los estados de descomposición de la hojarasca

Se encontró una correlación significativa entre la colonización micorrízica y H1, seguido de HT (Hojarasca Total), esto se debe principalmente a que el sistema de teca fue el que presentó una mayor colonización micorrízica en las raíces y gran cantidad de hojarasca en el sistema en comparación a los otros. Si bien la alta colonización en las raíces de teca se debe principalmente a su patrón de ramificación radicular, al parecer la cantidad de hojarasca (que se acumula en grandes cantidades en el suelo debido a su lenta tasa de descomposición) y las condiciones del sistema (poca intervención y sembrado en grandes macizos) crean las condiciones para la mayor abundancia de la colonización micorrízica. En la figura 13 observamos que a mayor contenido de hojarasca en el suelo mayor es la colonización micorrízica.

La dispersión de los datos fue muy variable y los estados menos descompuestos siguieron una tendencia asintótica con excepción del estado mas descompuesto que presento una mayor dispersión con una tendencia no muy definida.

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

En el cuadro 9 se presentan los valores de caracterización del suelo de las muestras representativas de cada uno de los cinco sistemas de uso del suelo.

Cuadro 9 Caracterización del suelo de cada uno de los cinco sistemas

| SISTEMA | pH (1:1) | C.E dS/m | M.O % | P ppm | K ppm | Arena % | Limo % | Arcilla % | Clase Textural | CIC | Cationes Cambiables | | | | | Suma de Bases | % Saturacion de bases |
|-----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------|------|------|--------|---------------------|-----------------------------|
| | | | | | | | | | | | Ca | Mg | K | Na | Al + H | | |
| | | | | | | | | | | | me/100g | | | | | | |
| TECA | 6,22 | 0,17 | 2,47 | 8,1 | 163 | 64 | 22 | 14 | Fr. A. | 10,24 | 8,68 | 0,93 | 0,41 | 0,21 | 0,0 | 10,24 | 100 |
| BOLAÑA | 6,54 | 0,11 | 2,89 | 14,8 | 164 | 66 | 22 | 12 | Fr. A. | 11,68 | 10,03 | 0,98 | 0,43 | 0,20 | 0,0 | 11,64 | 100 |
| GUABA | 5,82 | 0,18 | 3,05 | 22,2 | 242 | 70 | 20 | 10 | Fr. A. | 14,72 | 11,81 | 1,77 | 0,55 | 0,20 | 0,4 | 14,32 | 97 |
| EUCALIPTO | 6,21 | 0,08 | 2,21 | 7,1 | 65 | 62 | 22 | 16 | Fr. A. | 11,52 | 9,28 | 1,73 | 0,28 | 0,23 | 0,0 | 11,52 | 100 |
| CAFE | 5,86 | 1,18 | 2,68 | 41,8 | 767 | 66 | 22 | 12 | Fr. A. | 12,80 | 9,65 | 0,45 | 1,12 | 0,23 | 0,5 | 11,46 | 89 |

C.E: Conductividad eléctrica M.O: Materia Orgánica

P: Fósforo disponible K: Potasio disponible CIC: Capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la UNALM

Todos los sistemas presentan valores similares de pH, C.E, clase textural y CIC (Cuadro 9); siendo moderadamente ácidos, con poca cantidad de sales y de textura franco arenosa. En todos los sistemas gran parte del CIC se debe al alto contenido de calcio en el suelo, sin embargo en promedio el CIC es bajo lo que quiere decir que el suelo tiene poca capacidad de intercambiar nutrientes.

El contenido de materia orgánica en los suelos es medio. En los sistemas de guaba y café se observan mayores porcentajes. En el caso del sistema guaba se debe a que es una especie leguminosa que aporta grandes cantidades de biomasa al suelo y en el caso del sistema de café a los tratamientos con fertilización que ha recibido.

Todos los sistemas presentan valores máximos de saturación de bases cuando se le compara con la capacidad de intercambio que ha sido bajo para todos los sistemas, esto indica una baja fertilidad del suelo.

Los valores de fósforo disponible de los sistemas presentan una alta variabilidad. Los sistemas de teca, bolaina y eucalipto presentan valores medios de fósforo disponible; los sistemas de guaba y café presentan valores altos de fósforo disponible, siendo mayor el café con 41,8ppm. Esto se debió a que el sistema de café ha recibido tratamientos con fertilizantes naturales, incluido el guano de islas que es un abono orgánico con alto contenido de fósforo. En el sistema de guaba el alto contenido de fósforo puede deberse a un posible bombeo de nutrientes de los horizontes de las partes bajas por parte de las raíces.

Así mismo, en los valores de potasio disponible también se observa una alta variabilidad entre las cantidades de cada uno de los sistemas. El valor más bajo lo presenta el eucalipto con 65 ppm, los sistemas de bolaina y teca presentan cantidades medias de potasio disponible y por último nuevamente los sistemas de café y guaba presentan los valores más altos de potasio disponible siendo el mayor el del café con 767 ppm. Igualmente estos dos últimos valores más altos pueden deberse a la dosis de fertilización que han recibido el sistema de café y al aporte de materia orgánica en el sistema de agroforestal de guaba.

En resumen, los contenidos altos de fósforo y potasio en los sistemas de café y guaba se deben a los tratamientos recibidos y a las características de la especie respectivamente; el resto de sistemas conserva sus condiciones naturales manteniéndose con el reciclaje de nutrientes.

En general en base a los resultados de la caracterización del suelo de los cinco sistemas estudiados se puede afirmar que los suelos son ácidos, de pobre fertilidad y deficientes en fósforo, lo que corrobora lo mencionado por los autores Ruiz (1992) y Calderón y Díaz (200) en sus descripciones de los suelos amazónicos.

4.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el cuadro 10 se observa que existe una correlación significativa inversa entre la colonización micorrízica y las cantidades de materia orgánica, aluminio y fósforo disponible en el suelo.

Cuadro 10 Valores de correlación y p entre la colonización micorrízica, las cantidades de materia orgánica, aluminio y fósforo disponible en el suelo

| | % M.O | Al + H | P | |
|------------------------------|--------------|---------------|----------|---|
| Colonización micorrízica (%) | -0.61 * | -0.64 * | -0.68 * | r |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 | p |

M.O: Materia orgánica

Al + H: Aluminio más hidrógeno

P: Fósforo disponible

*: Correlación de 19 evaluaciones

En la siguiente figura se observa la dispersión de los datos entre la colonización micorrízica y el fósforo disponible en el suelo.

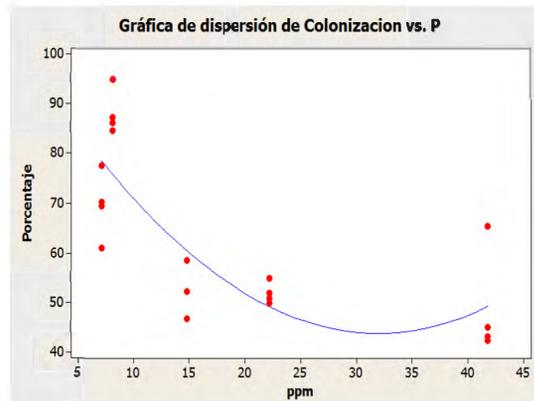


Figura 14 Dispersiones entre la colonización micorrízica y el fósforo disponible

De las correlaciones que se observan en el cuadro 10 se aprecia que a mayor porcentaje de materia orgánica disminuye la colonización micorrízica, debido al signo negativo de la

correlación. Diversos estudios (Alvarado et al., 2004; Ruiz, 1992) afirman que la colonización micorrízica puede verse inhibida por altos niveles de nutrientes en el suelo, en este caso el porcentaje de materia orgánica en el suelo está afectando negativamente la colonización micorrízica como ocurrió en los sistemas de café y guaba donde los porcentajes de colonización han sido menores.

Se menciona también que altos niveles de fósforo en el suelo pueden inhibir la presencia de micorrizas (Ruiz, 1992) y la correlación negativa entre estas dos variables corrobora esta afirmación (Figura 14).

Aunque los sistemas estudiados presentaron valores nulos o muy bajos de Al en el suelo se observa que hay una relación inversa entre el Al y la colonización micorrízica (Cuadro 10). Esto confirma lo señalado por Alvarado et al., (2004) quienes afirman que niveles altos de Al inhiben la formación de micorrizas en las raíces de las plantas hospederas. Así, al haber poco Al en el suelo disminuyen los factores adversos a la colonización micorrízica.

4.4 PESO DEL SUELO POR HECTÁREA

En el cuadro 11 se muestran los valores promedio de t/ha de suelo seco y sus respectivos valores de densidad aparente. En el Anexo 4 se presentan todos los valores obtenidos de densidad aparente, contenido de humedad y t/ha de suelo seco para todas las repeticiones de los cinco sistemas de uso del suelo estudiados.

Cuadro 11 Promedio de peso de una toneladas de suelo seco por hectárea para cada uno de los sistemas.

| Sistema | Densidad aparente (g / cc) | Peso del suelo (t / ha) |
|----------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Teca | 1,43 | 2 148,5 |
| Bolaina | 1,35 | 2 021,9 |
| Guaba | 1,23 | 1 839,6 |
| Eucalipto | 1,34 | 2 009,3 |
| Cafe | 1,36 | 2 046,0 |

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados de densidad aparente del suelo se han obtenido los valores de toneladas por ha de suelo seco hasta los 15cm de profundidad (Cuadro 11). El sistema de guaba tiene el valor más bajo con 1 839,6 t de suelo por ha y 1,23 g/cc de densidad aparente; esto quiere decir que este suelo tiene mayor cantidad de espacios vacíos, presentado un suelo más suelto y también, según las observaciones realizadas en campo, con mayor pedregosidad. El sistema de teca presenta el mayor valor con 2 148,5 t de suelo seco por ha; lo que muestra que este sistema tiene suelos más compactados y con menor cantidad de espacios vacíos.

4.5 CANTIDAD DE CARBONO EN EL SUELO

En la figura 15 se observa la cantidad de carbono que tiene cada sistema en el suelo hasta los 15 cm de profundidad. Estos valores se han obtenido a partir de los datos de densidad aparente y de porcentaje de materia orgánica en el suelo.

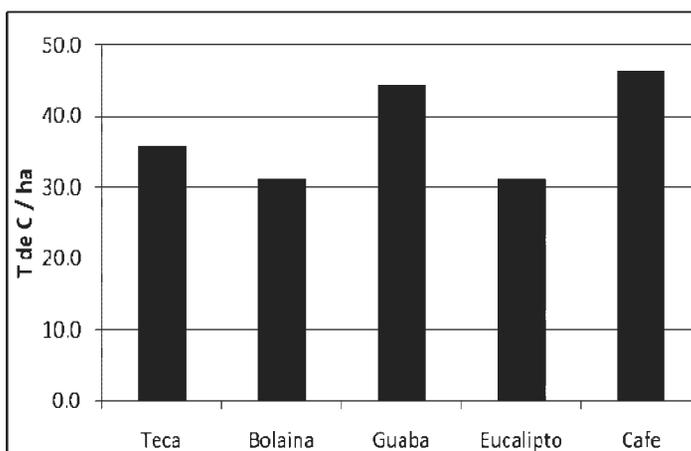


Figura 15 Cantidad de carbono total del suelo para cada uno de los sistemas evaluados

Los sistemas de café y guaba presentan los valores más altos con 46,4 t y 44,4 t de carbono en el suelo respectivamente. Los sistemas de bolaina y eucalipto muestran los valores más bajos con 31,2 t y 31,1 t de carbono en el suelo respectivamente. (Figura 15). Esto quiere decir que los suelos de los sistemas de café y guaba tienen mayor cantidad de materia orgánica. En el sistema de café esto se debe a los tratamientos con fertilizantes orgánicos que recibió durante

dos años. En el sistema agroforestal de guaba puede deberse al aporte de materia orgánica en la biomasa de la guaba.

4.6 PORCENTAJE DE ÁCIDOS HÚMICOS, FÚLVICOS Y HUMINAS

En la figura 16 se presentan los porcentajes de materia orgánica en sus diferentes formas. En el Cuadro Anexo 3 se muestra el detalle de la información colectada para los cinco sistemas de uso del suelo.

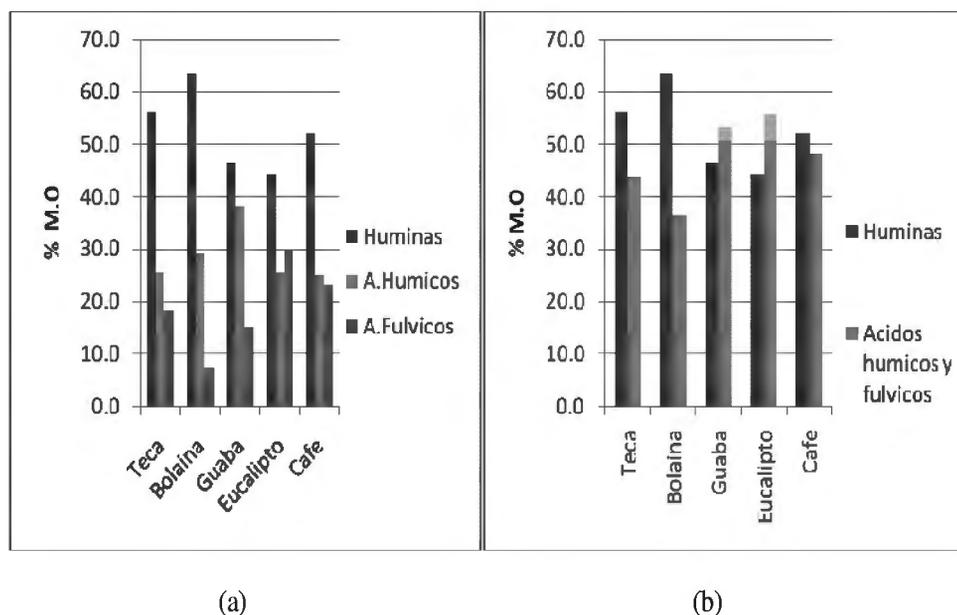


Figura 16 Porcentaje de materia orgánica en sus diferentes formas en cada sistema. (a) huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos; (b) huminas y ácidos húmicos + ácidos fúlvicos.

En la figura 16a se aprecian los porcentajes de huminas, ácidos fúlvicos y húmicos para cada uno de los cinco sistemas de uso del suelo. Todos los sistemas muestran mayor porcentaje de huminas, que es la fracción de la materia orgánica poco descompuesta y menos disponible (Brady y Weil, 2008). En el caso del sistema teca, que tiene grandes cantidades de hojarasca de lenta descomposición, esta materia orgánica se está acumulando en el suelo y es ésa la razón por la que hay mayores proporciones de huminas en este sistema.

En la figura 16b observamos que los sistemas que presentan mayores proporciones de ácidos húmicos más fúlvicos son el de la guaba y el del eucalipto. Los ácidos fúlvicos y húmicos

mejoran las propiedades físicas del suelo, en el caso del sistema guaba fue éste quien presentó menor densidad aparente lo que indica mayor espacios porosos en el suelo, entonces estos valores de densidad aparente en la guaba puede deberse a la mayor proporción de ácidos húmicos más fúlvicos en el suelo.

En general la mayor proporción de huminas en el suelo en los sistemas estudiados nos indica que la materia orgánica no está descompuesta ni disponible para las plantas.

4.6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la figura 17 observamos cómo se relacionan las huminas y los ácidos húmicos más fúlvicos con los porcentajes de materia orgánica en el suelo. Estas relaciones fueron muy dispersas y sólo mostraron tendencias poco definidas por la variabilidad de estas evaluaciones.

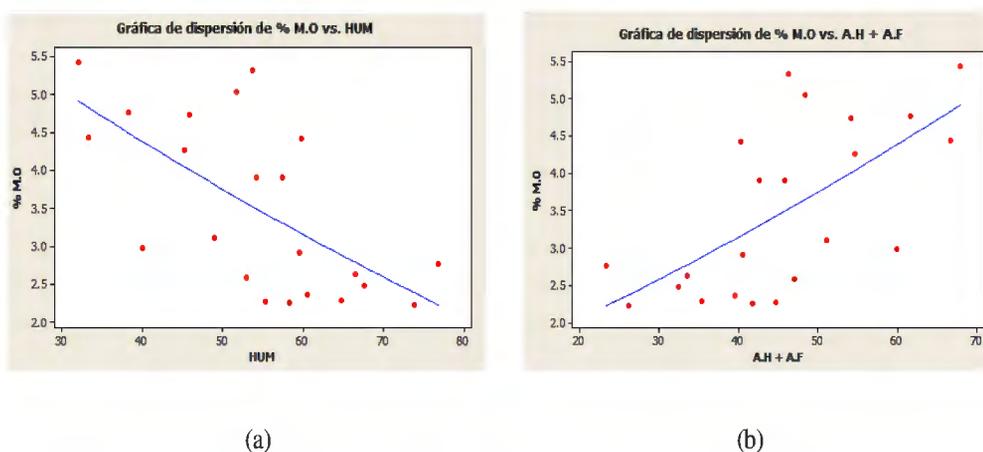


Figura 17 Dispersiones entre la materia orgánica y sus fracciones

Así observamos en la Figura 17a, que a mayor cantidad de materia orgánica disminuye la proporción de huminas en el suelo y cuando combinamos los ácidos húmicos más fúlvicos esta tendencia es opuesta.

De estos resultados mostrados en los gráficos podemos interpretar que a pesar de que la proporción de huminas haya sido mayor en el suelo se constató que está teniendo un buen proceso de descomposición ya que disminuyó conforme aumentó la materia orgánica.

Conforme las huminas se descompongan, aumentarán los ácidos fúlvicos y húmicos que estarán más disponibles para las plantas y cumplirán sus funciones de mejorar las propiedades físicas del suelo.

Se observó que existió una fuerte correlación negativa entre el porcentaje de ácidos húmicos en el suelo y la colonización micorrízica (Figura 18). La correlación entre la suma de ácidos húmicos más fúlvicos es menor debido a que está influenciada por los ácidos fúlvicos que no se correlacionan con la colonización micorrízica.

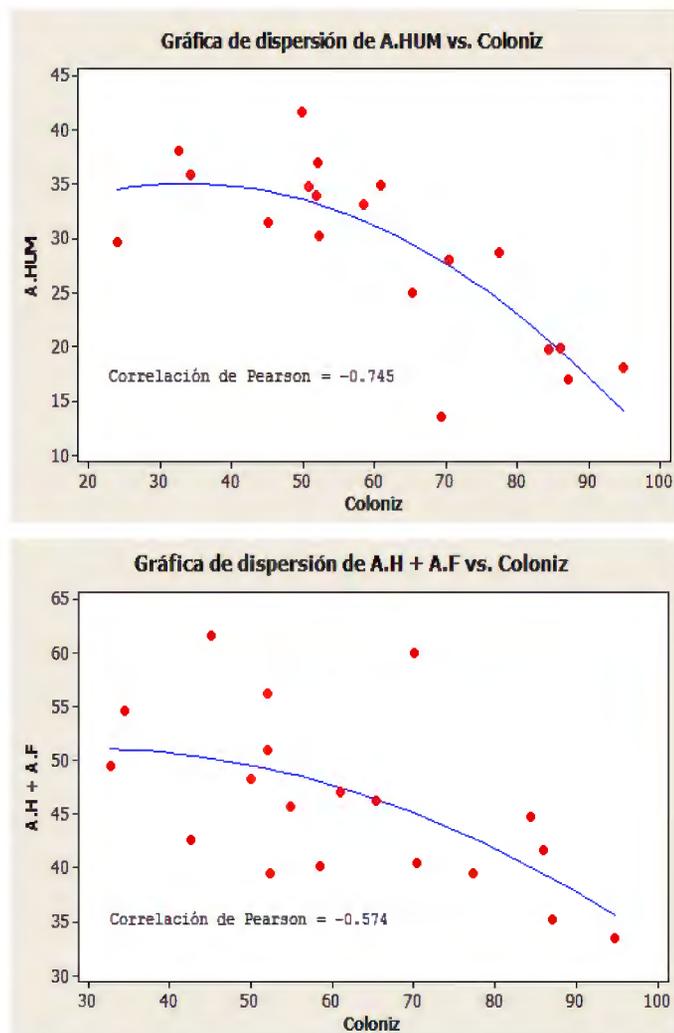


Figura 18 Dispersiones entre la colonización micorrízica y los ácidos húmicos y fúlvicos de la materia orgánica del suelo

Observamos que a mayor porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos disminuye la colonización micorrízica (Figura 18). Así como la colonización micorrízica disminuye al aumentar el porcentaje de materia orgánica en el suelo (Cuadro 10), ésta también disminuye al aumentar los ácidos húmicos y fúlvicos, que son la fracción del suelo más activa y que se encuentra disponible para ser absorbida por las plantas. Estos resultados siguen las mismas tendencias encontradas con el fósforo y otros nutrientes (Alvarado et al., 2004; Ruiz, 1992) lo que indica que posiblemente conforme hay mayor disponibilidad de materia orgánica en el suelo la simbiosis micorrízica se vuelve menos “necesaria” por lo que disminuye.

4.7 CANTIDAD DE ESPORAS EN EL SUELO

En la figura 19 se observan los resultados de cantidad de esporas promedios para cada uno de los sistemas y en el Anexo 2 se presentan todos los datos obtenidos para los cinco sistemas de uso del suelo.

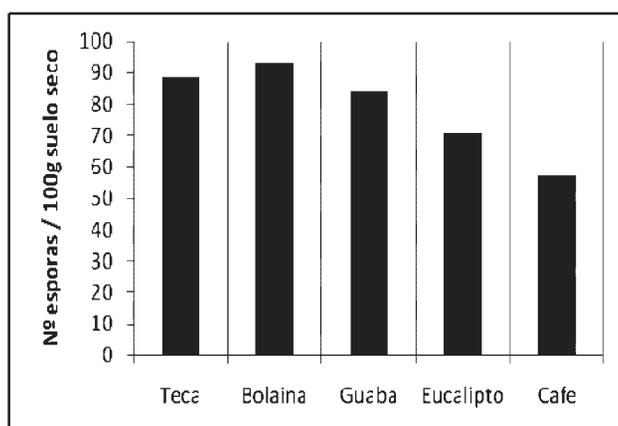


Figura 19 Cantidad de esporas en cada uno de los cinco sistemas

El sistema de bolaina presentó el mayor contenido de esporas en la rizósfera con 93 esporas, seguido de la teca, guaba y eucalipto.

El café con 57 esporas presentó el menor valor. Gonzales (1996) menciona que en suelos que han recibido manejo agronómico disminuye la cantidad de esporas. En el caso del sistema del

café, éste estuvo bajo un manejo intensivo durante dos años lo que puede haber contribuido a disminuir la cantidad de esporas en el suelo más no el porcentaje de colonización micorrízica.

4.7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la figura 20 se comparan los sistemas respecto a la cantidad de esporas en el suelo y la variabilidad presentada en las repeticiones.

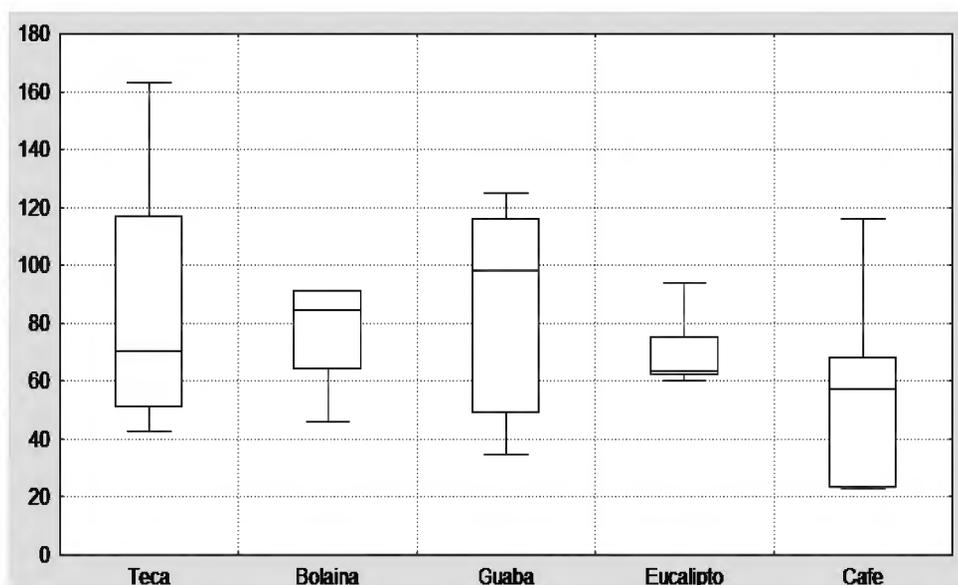


Figura 20 Dispersión de la cantidad de esporas en el suelo

La mayor dispersión de los datos se ha dado en los sistemas de teca, guaba y café. En el sistema de teca esta alta variabilidad puede a la diferencia de condiciones edáficas que hay en el mismo; lo que también puede estar ocurriendo en el sistema de café aunque el área en este sistema es mucho menor (1,25 ha). En el caso del sistema de guaba la variabilidad de datos puede deberse a que es un sistema agroforestal en donde hay diversos cultivos anuales que podrían influir en la población de esporas en el suelo.

Los valores de correlación entre la cantidad de esporas y las variables estudiadas son bajos y no significativos (Anexo 5), esto debido a, como menciona Gonzales (1996) la cantidad de esporas en la rizósfera del suelo es muy variable y depende de muchos factores.

Sobre la baja correlación entre la cantidad de esporas y el porcentaje de colonización micorrízica Brundett et al. (1996) mencionan el número de esporas en el suelo no se relaciona con la colonización ya que si bien puede ser considerado como un indicativo del establecimiento de los hongos no representa un indicativo de la efectividad de la colonización.

Entonces está baja correlación se debe a la gran variabilidad de factores que influyen en la colonización micorrízica. También al momento de realizar el conteo de esporas en el estereoscopio no se tenía la seguridad de si todas las esporas contabilizadas pertenecieran a hongos micorrízicos y fueran viables.

4.8 COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

Todas las raíces de las especies de los cinco sistemas del uso del suelo evaluados presentaron MVA. Este tipo de micorrizas fue reconocido por la presencia de hifas, arbuscúlos y en algunos casos de vesículas dentro de las raíces.

Al momento de cuantificar la colonización micorrízica en las raíces de teca se observó claramente la presencia de vesículas, arbuscúlos e hifas dentro de la raíz. Las raíces de las demás especies fueron más sensibles al proceso de clareado por lo que no se pudo observar tan claramente la presencia de vesículas, más si en todas las hifas dentro de las células de las raíces se apreciaron nítidamente.

Las siguientes fotografías fueron tomadas desde el lente de un microscopio con aumento 40x.

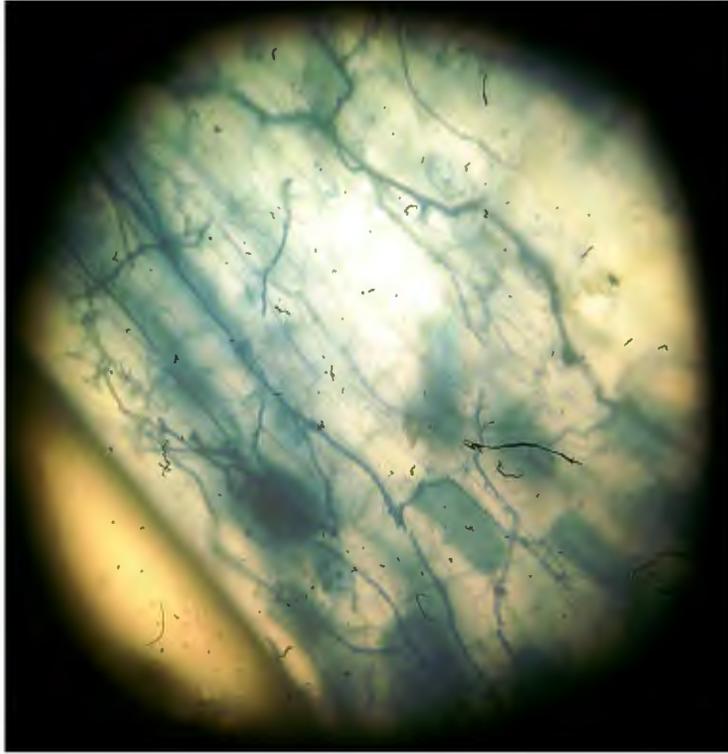


Figura 21 Raíz de teca mostrando colonización micorrízica

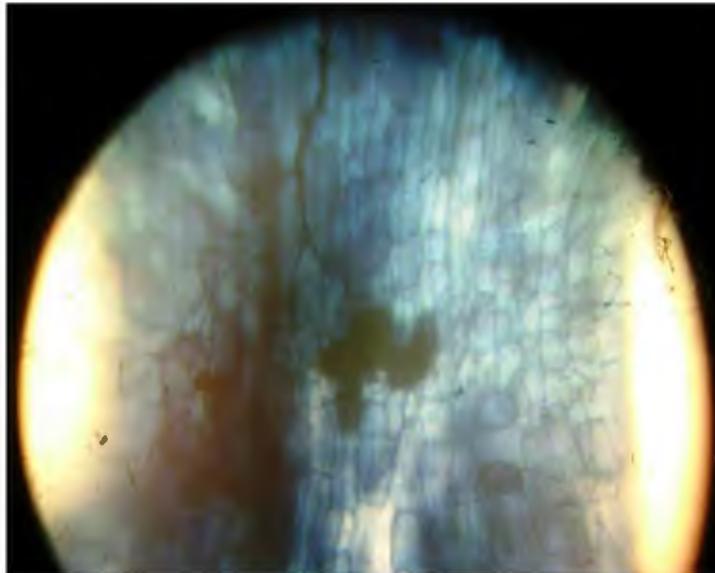


Figura 22 Raíz de café mostrando colonización micorrízica

En el cuadro 12 se muestra el porcentaje de colonización micorrízica promedio para cada uno de los 5 sistemas de uso del suelo evaluados; en el Anexo 2 se encuentran todos los valores obtenidos en cada una de las cinco repeticiones realizadas para cada sistema.

Cuadro 12 Porcentaje de colonización micorrízica en los diferentes sistemas de uso del suelo

| Sistema | % colonización micorrízica |
|----------------|-----------------------------------|
| Teca | 90,13 |
| Bolaina | 50,42 |
| Guaba | 48,42 |
| Eucalipto | 58,50 |
| Cafe | 53,30 |

Fuente: Elaboración propia

Se observa que todos los sistemas presentaron valores altos de colonización. El sistema de teca presentó el mayor porcentaje de colonización micorrízica con 90,13%. Los otros sistemas tuvieron valores similares de colonización micorrízica entre 48 y 58%. Estos valores concuerdan con la bibliografía (Álvarez y Naranjo, 2003; Brady y Weil, 2004 y Lavelle y Spain, 2001) que señala que la mayoría de las plantas vasculares presentan simbiosis micorrízica, sobre todo en los bosques tropicales en donde la deficiencia de nutrientes en el suelo hace que estas simbiosis en las raíces de las plantas sean indispensables para la adaptación y supervivencia de la especie (Vargas, 1990).

El sistema que presentó mayor porcentaje de colonización micorrízica fue el de teca, morfológicamente las raíces presentan raicillas gruesas y cortas sin pelos radiculares lo que confirma lo mencionado por Ruiz (1992) quien dice que especies con este tipo de raíces soportan mayores grados de colonización. Las raíces de bolaina, eucalipto, café y guaba presentan raicillas finas y en mayor cantidad por lo que presentaron valores mucho más bajos de colonización (entre 48% y 58 %) en comparación con la teca. El sistema de guaba es el que presentó el menor porcentaje de colonización micorrízica con 48,42%, esto puede deberse a su

patrón de ramificación radicular. En el Anexo 8 se pueden apreciar fotografías de las raíces de las cinco especies estudiadas.

La presencia de MVA en las raíces de teca ratifica lo hallado por Álvarez et al. (2004) en donde el 43% de las plantaciones de teca evaluadas en Costa Rica presentaron colonización, sin embargo en este estudio los porcentajes de colonización no fueron muy altos como sí ocurrió en este sistema donde el 90,13% de la longitud de las raíces de teca se encontró micorrizada; esta diferencia puede deberse a condiciones edáficas y climáticas.

La ocurrencia de micorrizas en el sistema de guaba, confirma lo señalado por Lavelle y Spain (2001) quienes indican que las asociaciones micorrízicas están presentes en las especies de la familia de las leguminosas; así mismo, la ocurrencia de colonización en el sistema de bolaina corrobora lo referido por Brundett et al. (1996) quienes afirman que especies de la familia Sterculiaceae también presentan colonización micorrízica del tipo vesículo arbuscular.

En el caso del eucalipto que también presentó MVA Brundett et al. (1996) afirman que este género es mayormente colonizado por ECM (ectomicorrizas). Sin embargo, como sugieren Lavelle y Spain (2001) aunque el género *Eucalyptus* sea predominantemente ectomicorrízico puede darse el caso que presente MVA.

Según los resultados de caracterización del suelo de los sistemas evaluados el sistema de guaba presenta los valores más altos de nutrientes y materia orgánica en el suelo y el valor más bajo de colonización micorrízica con 48,4%; esto corrobora lo señalado por Alvarado et al. (2004) y Ruiz (1992) quienes señalan que valores altos de nutrientes en el suelo inhiben la formación de micorrizas. Sin embargo, aunque el porcentaje de colonización en el sistema de guaba sea el menor de entre los cinco sistemas sigue siendo un valor alto.

Se ha analizado ya las relaciones que existen entre las variables de caracterización del suelo y la colonización micorrízica, corroborando estudios anteriormente realizados que indican que

altos valores de fósforo, aluminio y materia orgánica en el suelo disminuyen la presencia de micorrizas en las raíces.

4.8.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la figura 23 se comparan la variabilidad de los porcentajes de colonización micorrízica en cada uno de los cinco sistemas de uso del suelo estudiados.

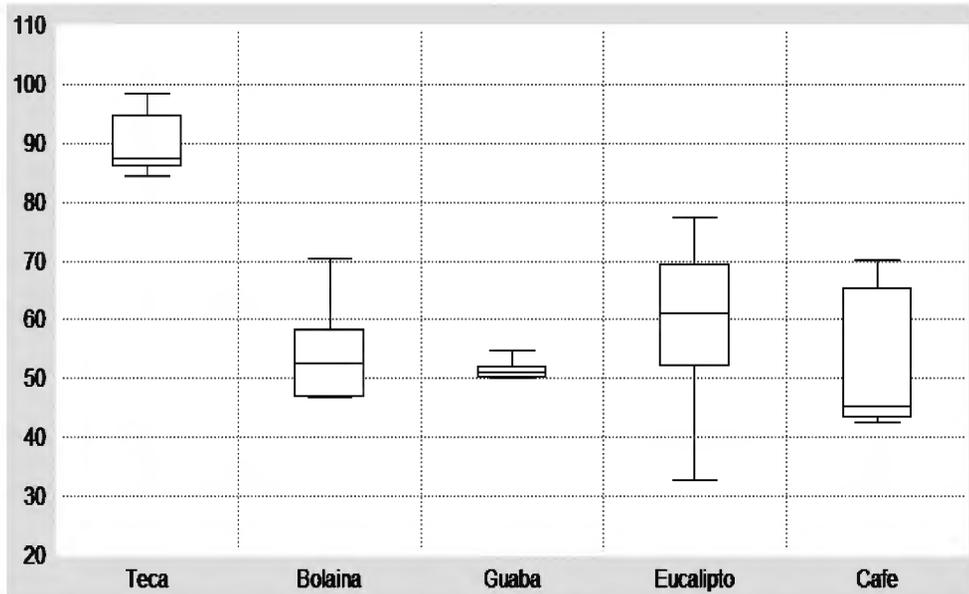


Figura 23 Dispersión de la colonización micorrízica para cada uno de los sistemas evaluados

En la figura 23 podemos observar que la mayor dispersión de datos se ha dado para los sistemas de eucalipto y café. El sistema de guaba fue el que presentó la menor dispersión de datos.

4.9 NODULACIÓN

Como se menciona en la metodología de campo la nodulación se evaluó en los cinco sistemas de uso del suelo observándose nódulos solamente en las raíces del sistema de guaba (Figura 24).



Figura 24 Nódulos en raíces de guaba.

Como ha sido señalado en la descripción de los sistemas el de guaba es un sistema agroforestal en el que, dentro del sistema, se encuentran sembrados otros cultivos menores. Por eso dentro de las cinco repeticiones que se hicieron en cada sistema la nodulación se evaluó en algunos casos junto con el frejol o el ají.

Cuadro 13 Cantidad de nódulos por m² dentro del sistema de guaba

| | G + F | G | G + F | G + A | G | Promedio |
|--------------------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|-----------------|
| Nódulos x m ² | 522 | 1033 | 144 | 733 | 78 | 502 |

G + F: Guaba sembrada con frejol

G: Guaba solamente

G + A: Guaba sembrada con ají

Fuente: Elaboración propia

Se observa en el cuadro 13 que dentro del sistema de guaba el valor más alto de nodulación se presentó cuando la guaba estaba sembrada sola así como el menor valor con 1033 y 78 nódulos por m² respectivamente. El valor promedio hallado de cantidad de nódulos en las raíces por m² fue de 502.

Si bien Lavelle y Spain (2001) mencionan que las bacterias fijadoras de nitrógeno también forman simbiosis y hasta nódulos con especies de familias diferentes a las leguminosas, en campo sólo se encontró presencia de nódulos en las raíces del sistema de guaba que fue la única leguminosa estudiada.

5. CONCLUSIONES

Las raíces de todos los cinco sistemas del uso del suelo estudiados presentaron colonización micorrízica del tipo vesículo arbuscular.

El sistema teca (*Tectona grandis*) fue el que presentó los valores más altos de colonización micorrízica (90.13%) debido a que sus raíces presentan raicillas cortas gruesas y poco ramificada lo que la hace más susceptible a la colonización, al contrario de las raíces de las otras especies que presentan un sistema radicular con abundancia de raicillas finas.

En base a los resultados de caracterización del suelo y los porcentajes de las fracciones de la materia orgánica podemos decir que la calidad de la materia orgánica y el contenido de nutrientes es pobre para los cinco sistemas de uso del suelo.

Si bien la calidad de los suelos es baja, la presencia de micorrizas permite que los árboles compensen estas deficiencias nutricionales y demuestra que en sistemas de estas características es necesaria la presencia de esta simbiosis.

Se confirmaron estudios anteriores que indican que altos niveles de fósforo y acidez en el suelo inhiben la presencia de micorrizas.

La colonización micorrízica mostró una correlación inversa con los ácidos húmicos lo que indica que posiblemente conforme mejor es la calidad de la materia orgánica en el suelo la simbiosis micorrízica se vuelve menos necesaria por lo que disminuye.

La colonización micorrízica mostró una correlación directa con la hojarasca lo que podría indicar que grandes cantidades de hojarasca en el suelo crean las condiciones para que haya más colonización micorrízica.

6. RECOMENDACIONES

Realizar estudios más específicos para conocer los mecanismos de absorción de nutrientes de las micorrizas ya que a la luz de los resultados de la presente investigación estas se encuentran en mayores cantidades en suelos con deficiencias nutricionales por lo que habría que investigar las fuentes de nutrientes de las higas fungales de las micorrizas.

Los resultados obtenidos indican que en sistemas con tratamientos de fertilización y manejo intensivo del suelo la colonización micorrízica es menor por lo que se deberían de investigar por qué sucede esto, para luego hacer ensayos y encontrar hongos micorrízicos que puedan colonizar efectivamente las raíces bajo estas condiciones.

En este estudio se evaluaron sistemas en los que había sólo una especie por sistema por lo que se debería de investigar la colonización micorrízica en sistemas dónde interactúen diferentes especies comparando los porcentajes de colonización entre especies.

Identificar las especies micorrízicas halladas y realizar inóculos en plantaciones forestales con estas especies.

Estudiar la biomasa microbiana total en comparación con las micorrizas en los procesos de descomposición de la materia orgánica.

Correlacionar el fósforo orgánico no disponible para la planta con las diferentes especies micorrízicas.

Establecer macetas en viveros en las que se inoculen con micorriza nativas y ver su efecto en la nutrición y el crecimiento de los plantones para programas de reforestación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, A; Chavarría, M; Guerrero, R; Boniche, J; Navarro, J. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 89-100.
2. Álvarez – Sanchez, J.; Naranjo – García, E. 2003. Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México. Xalapa, MX. Instituto de Ecología, A.C. 316p.
3. Arellano, G. 2001. Evaluación de plagas de Café, Papayo, Piña, Palto, Plátanos y Cítricos en Chanchamayo y Satipo. Tesis Mg. Sc. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 194p.
4. Bago, B; Pfeffer, P; Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiology* 124(1): 949-958.
5. Balakrishnan, M; Borgström, R; Bie, S. 1994. Tropical Ecosystems; a synthesis of tropical ecology and conservation. New Delhi, IN. International Science Publisher. 441p.
6. Baldani, J.I; Caruso, L.; Baldani, V.L.D. 1997. Recent advances in BNF with non-legume plants. *Soil Biology and Biochemistry* 29(5-6): 911-922.
7. Bazán, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos, aguas y plantas. Lima, PE. UNALM. 7 p.
8. Bejarano, P; Vidal, M. C. 2007. Las Micorrizas. In Universidad Politécnica de Cataluña. Ambiente Curso 2006 – 2007. Barcelona, ES. p. 33 – 36.
9. Bentivenga, P; Morton, J. 1995. A monograph of the genus *Gigaspora*, incorporating developmental patterns of morphological characters. *Mycologia* 87 (1): 720-732.
10. Brundett, M; Bougher, N; Dell, B; Grove, T; Malajczuk, N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. AU. ACIAR. 374p.
11. Brady, N; Weil, R. 2008. The Nature and Properties of Soils. New Jersey, US. Prentice Hall. 975p.

12. Cáceres, B. 2004. Caracterización dendrológica de las especies de los géneros *Ficus* y *Cecropia* (Moraceae) en el valle de Chanchamayo (Junín - Perú). Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 337p.
13. Calderón, C; Díaz, S. 2000. Micorrización vesicular arbuscular y crecimiento de dos variedades de piña con aplicación de fosfato de Sechura en dos suelos de Chanchamayo. *Anales Científicos*. 45(2): 305-326.
14. Clark, R.B; Zeto, S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Plant Nutrition*. 23 (7): 867-902.
15. Donoso, C. [1991]. *Ecología Forestal, el bosque y su medio ambiente*. CL, Universitaria. 372p.
16. Gonzales, A. 1996. *Las micorrizas como biofertilizantes en la agricultura*. Bogotá, CO. Fondo FEN Colombia. 208p.
17. Govaere, G; Carpio, I; Cruz, L. 2008. Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis* (en línea). Consultado 10 set. CO. 2009. Disponible en <http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/ARTICULO%20LPF%201.pdf>.
18. Guerrero, F. 1996. Fundamentos biológicos y estados del arte. In: Guerrero F., E. *Micorrizas Recurso Biológico del suelo*. CO. Fondo FEN. p 3-46.
19. Jackson, M. 1982. *Análisis químicos de suelos*. Barcelona, ES. Omega. 662p.
20. Julca, O. 2009. Cultivos tropicales de Facultad de Agronomía (entrevista). Universidad Nacional Agraria La molina.
21. Laossi, K; Barot, S; Carvalho, D; Desjardins, T; Lavelle, P; Martins, M; Mitja, D; Rendeiro, A; Rousseeau, M; Velazques, E. 2008. Effects of plant diversity in plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia* 51 (5-6): 397-407.
22. Lavelle, P; Spain, A. 2001. *Soil Ecology*. NL. Kluwer Academic Publishers. 654p.
23. Lexus. 1997. *Biblioteca de la agricultura*. Barcelona, ES. Lexus. 768p.

24. Li, X; George, E; Marschner, H. 1991. Extension of the phosphorus depletion zone in VA – mycorrhizal White Clover in a calcareous soil. *Plant and Soil*. 136(1): 41-8.
25. Lopez, G; Gonzales, P; Rivera, H; Morales, O; Padilla, A. 2007. Caracterización fisicoquímica de los suelos predominantes en el estado de tabasco. *Conciencia Tecnológica*. 36(2): 45-46.
26. Moro, M y Domingo, F. 1996. Descomposición de hojarasca en la leguminosa *Adenocarpus decorticans*: pérdida de peso y dinámica de los nutrientes. *ES. Mediterránea*. p 13 – 19. (Estudios biológicos Nº 15).
27. Arboretum de la Universidad Francisco Marroquin, s,l GT. 2007. Fichas técnicas de MacVEAN, A (en línea). Consultado 16 set 2009. Disponible en: <http://www.arboretum.ufm.edu>.
28. Palma, R; Prause, A; Fontanive, E; Jimenez, M. 1998. Litter fall and litter decomposition in a forest of the Parque Chaqueño Argentino. *Forest Ecology and management*. 106(1): 205 – 210.
29. Pennigton, T. 1997. The genus *Inga* botany. Kew, GB. The Royal Botany Gardens. 844p.
30. Reddy, M. 2002. Introduction: perspectives of soil litter environment in tropical plantation forest in relation to litter, biota and nutrients dynamics. In. Reddy, M. (ed) *Management of tropical plantation forests and their soil – litter systems*. New Hampshire, US. Science Publishers. Chapter 1. p 1-8.
31. Reynel, C; Pennington, T; Pennington, R; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Lima, PE. Darwin Initiative. 509p.
32. _____, Anton, D. 2004. Relictos de Bosques de Excepcional Diversidad en los Andes Centrales del Perú. Lima, PE. Darwin Initiative. 323p.
33. Ruiz, P. 1992. Significado de las micorrizas para la agroforestería en ultisoles de la Amazonía. Lima, PE. INIAA. 31p. (Suelos Amazónicos Nº SA - 04)
34. Sieverding, W. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza Vesículo-arbuscular en el Laboratorio. Cali, CO. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 121p.

35. Silva, M. 2005. Estudio y caracterización dendrológica de las familias botánicas del Orden Malvales en el Fundo Génova (Chanchamayo). Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 237p.
36. Schalatter, J; Gerding; V; Calderón, S. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*. Revista Bosque 27(2): 115- 125.
37. Smith, S; Read, D. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. London, UK. Academic Press. 605p.
38. Stefano, J y Fournier, L. 2005. Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de diez años, Tabarcia de Mora, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(1): 9-16.
39. Sylvia, D; Fuhrmann, J; Hartel, P; Zuberer, D. 2005. Principles and Applications of Soil Microbiology. US. Prentice Hall. 672p.
40. Ugalde, L; Otarola, A. 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del Proyecto Madeleña en Nicaragua. Turrialba, CR. CATIE: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. 175p.
41. Vargas, R. 1990. Micorrizas vesículo – arbusculares aisladas del bosque nuboso, Monteverde, Costa Rica. Agronomía Costarricense 14 (1): 85-88.
42. Zavaleta, A. 1992. Edafología, el suelo en relación con la producción. Lima, PE. CONCYTEC. 223p.

ANEXO 1

DATOS DE CANTIDAD DE HOJARASCA EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO

| SISTEMA | NÚMERO DE MUESTRAS | HOJARASCA (t /ha) | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------|------|-------|
| | | H1 | H2 | H3 | TOTAL |
| TECA | 1 | 1,42 | 4,81 | 1,45 | 7,68 |
| | 2 | 1,53 | 3,81 | 0,77 | 6,10 |
| | 3 | 1,34 | 3,24 | 0,55 | 5,14 |
| | 4 | 0,64 | 0,79 | 2,68 | 4,11 |
| | 5 | 1,08 | 1,28 | 1,32 | 3,68 |
| BOLAINA | 1 | 0,00 | 0,28 | 0,19 | 0,47 |
| | 2 | 0,00 | 0,31 | 0,55 | 0,86 |
| | 3 | 0,00 | 0,07 | 0,29 | 0,35 |
| | 4 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| | 5 | 0,02 | 0,39 | 0,14 | 0,54 |
| GUABA | 1 | 0,78 | 0,83 | 1,15 | 2,76 |
| | 2 | 0,15 | 0,24 | 0,13 | 0,52 |
| | 3 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,11 |
| | 4 | 0,00 | 0,16 | 0,62 | 0,78 |
| | 5 | 0,05 | 0,26 | 0,21 | 0,52 |
| EUCALIPTO | 1 | 0,49 | 0,56 | 0,31 | 1,36 |
| | 2 | 0,17 | 0,78 | 0,27 | 1,22 |
| | 3 | 0,32 | 0,51 | 0,78 | 1,61 |
| | 4 | 0,20 | 1,32 | 0,75 | 2,27 |
| | 5 | 0,00 | 0,25 | 0,33 | 0,58 |
| CAFE | 1 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,08 |
| | 2 | 0,00 | 0,06 | 0,04 | 0,10 |
| | 3 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,09 |
| | 4 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,06 |
| | 5 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 |

ANEXO 2

DATOS DE PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA Y CANTIDAD DE ESPORAS EN EL SUELO EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO

| SISTEMA | NÚMERO DE MUESTRAS TOMADAS | % COLONIZAC. MIC. | ESPORAS (100g_suelo_seco) |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| TECA | 1 | 87,13 | 43 |
| | 2 | 84,44 | 163 |
| | 3 | 85,94 | 51 |
| | 4 | 94,79 | 70 |
| | 5 | 98,36 | 117 |
| BOLAINA | 1 | 24,00 | 64 |
| | 2 | 58,46 | 84 |
| | 3 | 52,38 | 181 |
| | 4 | 70,37 | 91 |
| | 5 | 46,88 | 46 |
| GUABA | 1 | 54,90 | 98 |
| | 2 | 50,00 | 35 |
| | 3 | 52,00 | 125 |
| | 4 | 34,38 | 49 |
| | 5 | 50,85 | 116 |
| EUCALIPTO | 1 | 77,42 | 75 |
| | 2 | 61,00 | 60 |
| | 3 | 69,32 | 62 |
| | 4 | 52,08 | 94 |
| | 5 | 32,69 | 63 |
| CAFE | 1 | 70,09 | 68 |
| | 2 | 43,37 | 23 |
| | 3 | 45,10 | 57 |
| | 4 | 65,33 | 116 |
| | 5 | 42,59 | 23 |

ANEXO 3

DATOS DE PORCENTAJES DE LAS FRACCIONES DE MATERIA ORGÁNICA Y PORCENTAJES DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO

| SISTEMA | NÚMERO DE MUESTRAS TOMADAS | PORCENTAJE | | | %M.O |
|-----------|----------------------------|------------|---------|----------|------|
| | | HUMINAS | A.HUMIC | A.FULVIC | |
| TECA | 1 | 1,48 | 0,39 | 0,42 | 2,29 |
| | 2 | 1,26 | 0,45 | 0,57 | 2,27 |
| | 3 | 1,31 | 0,45 | 0,49 | 2,26 |
| | 4 | 1,75 | 0,48 | 0,40 | 2,63 |
| | 5 | 2,17 | 1,84 | 0,72 | 4,73 |
| BOLAINA | 1 | 1,68 | 0,74 | 0,07 | 2,48 |
| | 2 | 2,64 | 1,47 | 0,31 | 4,42 |
| | 3 | 0,87 | 0,43 | 0,13 | 1,43 |
| | 4 | 1,74 | 0,82 | 0,36 | 2,92 |
| | 5 | 1,64 | 0,46 | 0,12 | 2,23 |
| GUABA | 1 | 2,12 | 1,72 | 0,07 | 3,91 |
| | 2 | 2,61 | 2,10 | 0,34 | 5,04 |
| | 3 | 1,52 | 1,06 | 0,53 | 3,11 |
| | 4 | 1,93 | 1,53 | 0,80 | 4,26 |
| | 5 | 1,48 | 1,54 | 1,41 | 4,43 |
| EUCALIPTO | 1 | 1,43 | 0,68 | 0,25 | 2,36 |
| | 2 | 1,37 | 0,90 | 0,31 | 2,58 |
| | 3 | 1,74 | 0,74 | 2,95 | 5,43 |
| | 4 | 0,70 | 0,59 | 0,31 | 1,59 |
| | 5 | 0,59 | 0,45 | 0,13 | 1,18 |
| CAFE | 1 | 1,19 | 1,26 | 0,53 | 2,98 |
| | 2 | 2,12 | 0,06 | 0,58 | 2,76 |
| | 3 | 1,83 | 1,50 | 1,44 | 4,77 |
| | 4 | 2,86 | 1,33 | 1,13 | 5,33 |
| | 5 | 2,24 | 0,77 | 0,90 | 3,90 |

ANEXO 4

DATOS DE DENSIDAD APARENTE, TONELADAS DE CARBONO Y PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS 5 SISTEMAS DE USO DEL SUELO

| SISTEMA | NÚMERO DE MUESTRAS TOMADAS | DENSIDAD APARENTE (g/cc) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | t C / ha * |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| TECA | 1 | 1,64 | 17,2 | 3,15 |
| | 2 | 1,48 | 18,2 | 4,54 |
| | 3 | 1,20 | 12,7 | 2,78 |
| | 4 | 1,26 | 11,2 | 1,72 |
| | 5 | 1,57 | 13,1 | 2,00 |
| BOLAINA | 1 | 1,36 | 6,1 | 0,17 |
| | 2 | 1,24 | 15,8 | 1,12 |
| | 3 | 1,49 | 12,8 | 1,20 |
| | 4 | 1,55 | 9,5 | 1,19 |
| | 5 | 1,10 | 10,5 | 0,56 |
| GUABA | 1 | 1,18 | 13,3 | 0,23 |
| | 2 | 1,38 | 16,1 | 1,07 |
| | 3 | 1,30 | 16,6 | 2,83 |
| | 4 | 1,06 | 18,0 | 3,37 |
| | 5 | 1,21 | 14,4 | 4,57 |
| EUCALIPTO | 1 | 1,29 | 9,2 | 0,99 |
| | 2 | 1,31 | 13,0 | 1,57 |
| | 3 | 1,43 | 17,8 | 9,65 |
| | 4 | 1,33 | 14,7 | 2,83 |
| | 5 | 1,34 | 12,5 | 1,42 |
| CAFE | 1 | 1,45 | 10,8 | 1,91 |
| | 2 | 1,46 | 12,5 | 2,61 |
| | 3 | 1,49 | 11,0 | 3,31 |
| | 4 | 1,23 | 9,9 | 2,11 |
| | 5 | 1,18 | 10,1 | 2,33 |

ANEXO 5

VALORES DE CORRELACIÓN Y DE P ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

| VALORES DE CORRELACION | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------|-------|-------|---------|-------|---------|--------------|------------|-------|-------|------|
| | | Hojarasca | | | | DA | Esporas | Colonización | Fracciones | | | M.O |
| | | H1 | H2 | H3 | H TOTAL | | | | A.H | A.F | HN | |
| Hojarasca | H1 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| | H2 | 0.90 | 1.00 | | | | | | | | | |
| | H3 | 0.60 | 0.46 | 1.00 | | | | | | | | |
| | H TOTAL | 0.96 | 0.92 | 0.69 | 1.00 | | | | | | | |
| Densidad aparente | | 0.28 | 0.31 | 0.08 | 0.27 | 1.00 | | | | | | |
| Esporas | | 0.16 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | 0.20 | 1.00 | | | | | |
| Colonización | | 0.74 | 0.58 | 0.60 | 0.70 | 0.36 | 0.24 | 1.00 | | | | |
| Fracciones | Ácidos húmicos | -0.21 | -0.28 | -0.12 | -0.26 | -0.14 | 0.26 | -0.20 | 1.00 | | | |
| | Ácidos fúlvicos | 0.09 | 0.11 | 0.00 | 0.09 | 0.17 | -0.03 | 0.18 | -0.42 | 1.00 | | |
| | Huminas | 0.10 | 0.15 | 0.10 | 0.14 | -0.04 | -0.20 | 0.00 | -0.49 | -0.59 | 1.00 | |
| Materia Orgánica | | -0.15 | -0.30 | -0.08 | -0.24 | -0.11 | -0.11 | 0.01 | 0.12 | 0.39 | -0.48 | 1.00 |

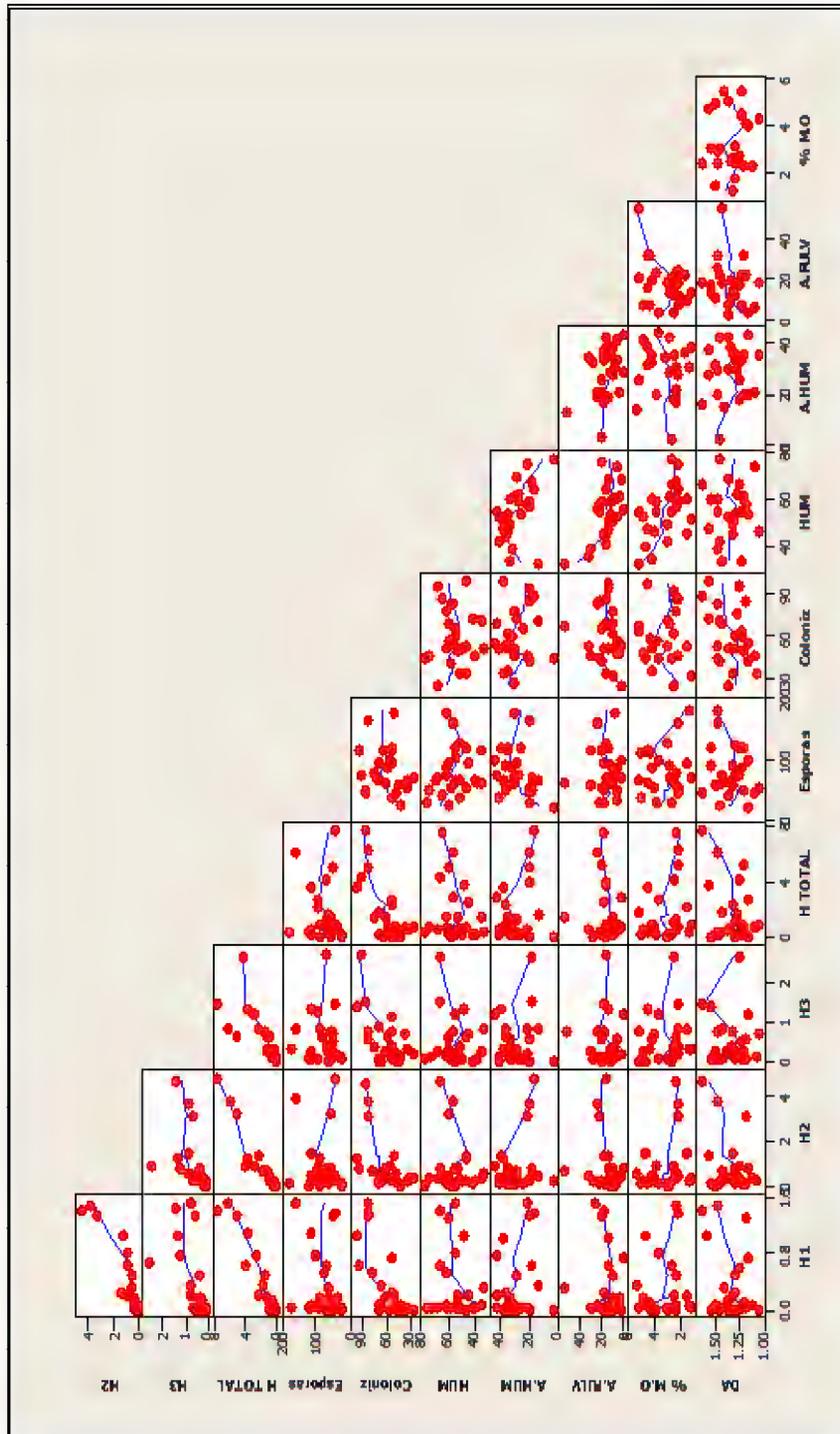
p < 0,05

| VALORES DE P | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|-----------|------|------|---------|------|---------|--------------|------------|------|------|------|
| | | Hojarasca | | | | DA | Esporas | Colonización | Fracciones | | | M.O |
| | | H1 | H2 | H3 | H TOTAL | | | | A.H | A.F | HN | |
| Hojarasca | H1 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| | H2 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | |
| | H3 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | | | | | | | | |
| | H TOTAL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | |
| Densidad aparente | | 0.18 | 0.13 | 0.72 | 0.19 | 0.00 | | | | | | |
| Esporas | | 0.44 | 0.73 | 0.75 | 0.63 | 0.34 | 0.00 | | | | | |
| Colonización | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.25 | 0.00 | | | | |
| Fracciones | Ácidos húmicos | 0.31 | 0.17 | 0.56 | 0.22 | 0.20 | 0.21 | 0.33 | 0.00 | | | |
| | Ácidos fúlvicos | 0.67 | 0.60 | 0.98 | 0.67 | 0.43 | 0.90 | 0.38 | 0.04 | 0.00 | | |
| | Huminas | 0.62 | 0.48 | 0.62 | 0.49 | 0.85 | 0.33 | 0.99 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | |
| Materia Orgánica | | 0.47 | 0.14 | 0.71 | 0.25 | 0.60 | 0.61 | 0.95 | 0.57 | 0.05 | 0.02 | 0.00 |

p < 0,05

ANEXO 6

MATRIZ DE DISPERSIONES ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS



ANEXO 7

VALORES DE CORRELACIÓN Y P ENTRE LAS VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y LAS VARIABLES ESTUDIADAS

| | | VALORES DE CORRELACION | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------|--------------|---------------------|-------|-------|--------------|-------------|---------------|--------------|---------------------|
| | | CARACTERIZACION DEL SUELO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | pH | C.E | M.O | P | K | Arena | Limo | Arcilla | CIC | Cationes Cambiables | | | | | Suma cationes | Suma Bases | Saturacion de bases |
| Ca | Mg | | | | | | | | | | K | Na | Al+H | | | | | |
| Hojarasca | H1 | 0.11 | -0.32 | -0.39 | -0.52 | -0.35 | -0.32 | 0.15 | 0.36 | -0.60 | -0.52 | -0.04 | -0.37 | -0.12 | -0.43 | -0.52 | -0.50 | 0.41 |
| | H2 | 0.21 | -0.34 | -0.44 | -0.57 | -0.39 | -0.41 | 0.25 | 0.43 | -0.68 | -0.59 | -0.07 | -0.41 | -0.10 | -0.51 | -0.61 | -0.58 | 0.46 |
| | H3 | 0.20 | -0.50 | -0.37 | -0.67 | -0.53 | -0.31 | 0.08 | 0.38 | -0.58 | -0.44 | 0.13 | -0.54 | -0.22 | -0.54 | -0.46 | -0.42 | 0.58 |
| Densidad aparente | | 0.46 | 0.15 | -0.60 | -0.20 | 0.05 | -0.72 | 0.87 | 0.59 | -0.92 | -0.95 | -0.65 | 0.00 | 0.33 | -0.48 | -0.97 | -0.99 | 0.07 |
| Esporas | | 0.58 | -0.79 | 0.35 | -0.65 | -0.72 | 0.20 | -0.21 | -0.18 | -0.20 | 0.16 | 0.28 | -0.68 | -0.89 | -0.58 | -0.03 | 0.07 | 0.79 |
| Colonización | | 0.20 | -0.20 | -0.52 | -0.47 | -0.28 | -0.49 | 0.38 | 0.49 | -0.75 | -0.71 | -0.21 | -0.29 | 0.04 | -0.47 | -0.71 | -0.70 | 0.34 |
| Fracciones | A. húmicos | -0.35 | -0.32 | 0.77 | 0.05 | -0.19 | 0.86 | -0.96 | -0.74 | 0.80 | 0.95 | 0.58 | -0.12 | -0.69 | 0.36 | 0.90 | 0.93 | 0.11 |
| | A. fúlvicos | -0.38 | 0.25 | -0.79 | 0.01 | 0.13 | -0.58 | 0.24 | 0.66 | -0.13 | -0.40 | 0.17 | 0.08 | 0.90 | 0.08 | -0.19 | -0.22 | -0.22 |
| | Huminas | 0.68 | -0.04 | 0.31 | -0.05 | 0.00 | 0.01 | 0.43 | -0.19 | -0.44 | -0.25 | -0.61 | 0.00 | -0.48 | -0.35 | -0.45 | -0.43 | 0.17 |
| Materia Orgánica | | -0.90 | 0.58 | 0.61 | 0.79 | 0.67 | 0.79 | -0.68 | -0.76 | 0.85 | 0.68 | -0.06 | 0.71 | -0.04 | 0.97 | 0.75 | 0.67 | -0.74 |

p < 0,05

| | | VALORES DE P | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------------|---------|-------------|---------------------|------|------|-------------|------|---------------|-------------|---------------------|
| | | CARACTERIZACION DEL SUELO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | pH | C.E | M.O | P | K | Arena | Limo | Arcilla | CIC | Cationes Cambiables | | | | | Suma cationes | Suma Bases | Saturacion de bases |
| Ca | Mg | | | | | | | | | | K | Na | Al+H | | | | | |
| Hojarasca | H1 | 0.86 | 0.6 | 0.52 | 0.37 | 0.56 | 0.6 | 0.81 | 0.55 | 0.29 | 0.37 | 0.95 | 0.54 | 0.84 | 0.47 | 0.37 | 0.39 | 0.49 |
| | H2 | 0.73 | 0.57 | 0.46 | 0.32 | 0.52 | 0.45 | 0.69 | 0.47 | 0.2 | 0.29 | 0.91 | 0.5 | 0.88 | 0.38 | 0.28 | 0.3 | 0.44 |
| | H3 | 0.75 | 0.39 | 0.54 | 0.22 | 0.36 | 0.61 | 0.9 | 0.53 | 0.31 | 0.46 | 0.84 | 0.35 | 0.72 | 0.35 | 0.43 | 0.48 | 0.31 |
| Densidad aparente | | 0.44 | 0.81 | 0.29 | 0.75 | 0.93 | 0.17 | 0.05 | 0.29 | 0.03 | 0.01 | 0.24 | 0.99 | 0.59 | 0.42 | 0.01 | 0 | 0.9 |
| Esporas | | 0.30 | 0.11 | 0.57 | 0.23 | 0.17 | 0.75 | 0.73 | 0.77 | 0.74 | 0.8 | 0.65 | 0.2 | 0.04 | 0.3 | 0.97 | 0.91 | 0.11 |
| Colonización | | 0.75 | 0.75 | 0.37 | 0.42 | 0.68 | 0.4 | 0.53 | 0.4 | 0.15 | 0.18 | 0.73 | 0.64 | 0.95 | 0.42 | 0.18 | 0.19 | 0.58 |
| Fracciones | A. húmicos | 0.56 | 0.6 | 0.13 | 0.93 | 0.77 | 0.06 | 0.01 | 0.15 | 0.1 | 0.01 | 0.31 | 0.85 | 0.2 | 0.55 | 0.04 | 0.02 | 0.86 |
| | A. fúlvicos | 0.53 | 0.69 | 0.11 | 0.98 | 0.84 | 0.3 | 0.69 | 0.22 | 0.83 | 0.51 | 0.79 | 0.9 | 0.04 | 0.9 | 0.76 | 0.72 | 0.72 |
| | Huminas | 0.21 | 0.95 | 0.61 | 0.93 | 0.99 | 0.98 | 0.47 | 0.76 | 0.46 | 0.68 | 0.27 | 0.99 | 0.41 | 0.56 | 0.45 | 0.47 | 0.79 |
| Materia Orgánica | | 0.04 | 0.3 | 0.28 | 0.11 | 0.21 | 0.11 | 0.2 | 0.13 | 0.07 | 0.21 | 0.92 | 0.18 | 0.01 | 0.14 | 0.22 | 0.15 | |

p < 0,05

ANEXO 8

FOTOGRAFÍAS DE LAS RAÍCES DE LAS ESPECIES DE LOS 5 SISTEMAS EVALUADOS

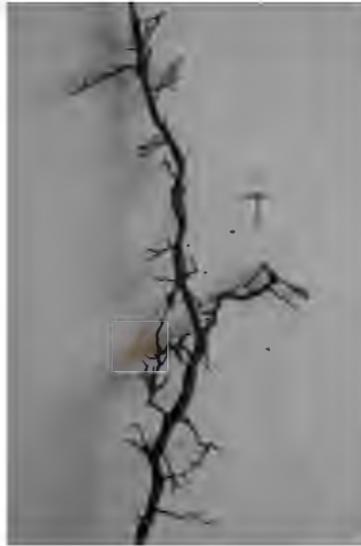


Figura 1. Raíz de Teca



Figura 2. Raíz de bolaina



Figura 3. Raíz de guaba



Figura 4. Raíz de eucalipto

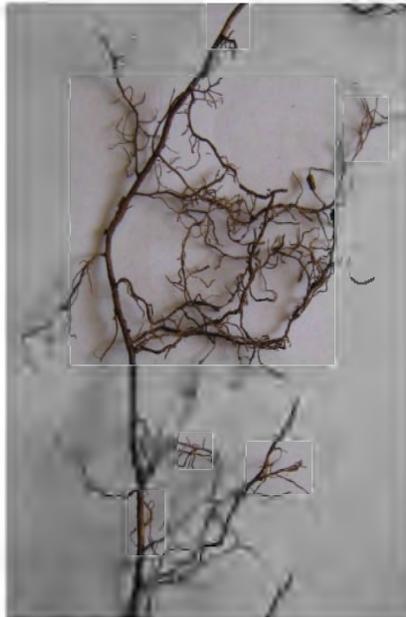


Figura 5. Raíz de café