

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



“ENDOMICORRIZAS EN CAFÉ (*Coffea arabica* L.) ORGÁNICO Y CONVENCIONAL. KIMBIRI- CUSCO 1,100 msnm.”

Tesis para obtener el Título Profesional de:
INGENIERA AGRÓNOMA

Presentada por:
RAQUEL MIGUEL ANGULO

AYACUCHO – PERÚ

2015

DEDICATORIA

A mis queridos padres Georgina y Lucio; a quienes les debo todo lo que tengo en esta vida.

A mis hermanos: Edwin, Gilber, Mariel y Alex por el apoyo moral que me han brindado y su comprensión para la culminación del presenta trabajo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal De Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Formación Profesional de Agronomía, alma máter de mi formación profesional.

A la M.Cs. Blga. Roberta Esquivel Quispe, por su asesoramiento, que con su empeño, consejos y acertadas aportaciones permitieron el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Edilberto Soto Sihue, a los técnicos y a los agricultores socios de la Cooperativa Agraria Cafetalera “Valle Rio Apurímac” por su colaboración y apoyo en la obtención de muestras.

Al Proyecto FOCAM “Recuperación, conservación y aplicación de hongos micorrícicos y entomopatógenos nativos en Vinchos y Chiara. Ayacucho-2012”, por permitirme participar como asistente de investigación que permitió materializar el presente trabajo.

A mis amigos y a todas las personas que de algún modo contribuyeron en la materialización del presente trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
Introducción	01
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
1.1 Antecedentes de las endomicorrizas en el café	03
1.2 Las Endomicorrizas	10
1.2.1 Taxonomía de las endomicorrizas	13
1.2.2 Morfología de las endomicorrizas	14
1.2.3 Simbiosis para formar las micorrizas	16
1.2.4 Beneficio de la simbiosis para la planta	17
1.2.5 utilidad y efectividad de las endomicorrizas	19
1.2.6 Factores que limitan la colonización y producción de espora	21
1.2.6.1 Factores físicos	21
1.2.6.2 Factores químicos	22
1.2.6.3 Factores biológicos	23
1.3 El café (<i>Coffea arabica</i> L.)	23
1.3.1 Origen y distribución	23
1.3.2 Importancia	24
1.3.3 Taxonomía	25
1.3.4 Fisiología y morfología	26
1.3.5 Requerimientos edafoclimáticos	27
1.3.6 Plagas y enfermedades	29
1.4 Agroecosistemas de producción orgánica y convencional	31
1.4.1 Producción orgánica del café	31
1.4.2 Producción convencional del café	34

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación geográfica del experimento	36
2.2 Condiciones ambientales del lugar de procedencia de las muestras	37
2.3 Análisis físico-químico de los suelos	37
2.4 Selección de los agroecosistemas estudiados	40
2.4.1 Características de predios con agroecosistema orgánico	40
2.4.2 Características de predios con agroecosistema convencional	41
2.5 Colección de muestras	43
2.6 Determinación del porcentaje de colonización	44
2.6.1 Preparación de reactivos	45
2.6.2 Observación en estereoscopio	45
2.6.3 Procesamiento de raíces: Clareo, acidificación y tinción	46
2.6.4 Evaluación del porcentaje de colonización por MVA	47
2.7 Determinación del número de esporas	48
2.7.1 Extracción de esporas	48
2.7.2 Conteo de esporas	49
2.8 Diseño experimental	49

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Del porcentaje de colonización por endomicorizas	51
3.2 Del número de esporas por gramo de suelo	58
3.3 De la cantidad de estructuras vegetativas	65

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones 71

4.2 Recomendaciones 72

RESUMEN 73

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 74

ANEXO 80

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos son responsables de muchas transformaciones en el suelo relacionadas con la nutrición y la salud de las plantas; entre ellos los organismos simbióticos. La Endomicorriza arbuscular es un grupo importante que establece de forma natural simbiosis con aproximadamente el 95% de las especies vegetales, juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, la raíz micorrizada a través del micelio externo del hongo permite una mayor exploración del volumen del suelo para la absorción de nutrientes de baja movilidad (Guadarrama et al., 2004; Hernández, 2000 y Sieverding, 1991). Los agroecosistemas son sistemas de producción modificados por el hombre, uno de los agroecosistemas que presenta gran variación en sus componentes es el cultivo de café (Altieri, 2000; Lovato, 2014 y Fonseca, 2014). En el Valle Rio Apurímac Ene y Mantaro (VRAEM) se cultiva el café, bajo el sistema orgánico y convencional. Se sabe que la agricultura convencional enfrenta una serie de problemas ambientales principalmente la reducción de la diversidad biológica.

Diversos estudios ecológicos realizados reportan la presencia de la Endomicorriza arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica*) (Duicela et al. 2003). El café es una planta que presenta una elevada dependencia micorrízica, lo cual representa un potencial natural en su nutrición. (López et al. 1983). Sin embargo la eficiencia de la endomicorriza está sujeta a diversos factores entre los que destacan los climáticos, edáficos y la compatibilidad con el hospedero (Lozano 2014). Por los beneficios que ofrecen las endomicorrizas es necesario poner especial atención a la interacción que se establece de forma natural para una agricultura sostenible del cultivo del café en el Valle.

Considerando los antecedentes expuestos y su importancia benéfica se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar la presencia de endomicorrizas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en agroecosistemas de producción orgánica y convencional.

Objetivos Específicos

1. Determinar el porcentaje de colonización de endomicorrizas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) de producción orgánica y convencional.
2. Determinar el número de esporas de endomicorrizas por gramo de suelo en el cultivo de café (*Coffea arabica*) de producción orgánica y convencional.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ANTECEDENTES DE LAS ENDOMICORRIZAS EN EL CAFÉ

Estudios realizados por Bolaños et al. (2000) en dos localidades de Colombia reportan la presencia de esporas de hongos micorrizógenos del género *Glomus* encontrándose entre 12 y 14 esporas por gramo de suelo y niveles de infección en raíces desde 48 hasta 92% asociadas a la rizósfera del café arábico con abundante materia orgánica (16 y 19%). Concluyendo que las micorrizas arbusculares están asociadas a la rizósfera de las plantas de café arábico; por lo tanto deben considerarse como habitantes naturales de los ecosistemas cafetaleros.

En Brasil, López et al. (1983) estudiaron la ocurrencia y distribución de los hongos endomicorrízicos en café en 27 campos con suelos con pH mayores a 5.4, 30 ppm de P y sin toxicidad de Al^{3+} . La colonización de raíces por hongos VA osciló entre 4 y 46%, identificaron especies del género *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* y *Sclerocystis ssp.*

Caldeira et al. (1983) citado por Cameron (2010) detectaron en tres localidades con suelos con pH entre 4.5 y 5.9 la presencia de micorrizas arbusculares en café, donde los hongos presentes fueron *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora*.

Duicela et al. (2003) observaron en raíces de café una fuerte colonización micorrízica, donde predominaba abundante capa de materia orgánica en descomposición y donde los hongos tuvieron un significativo efecto en la descomposición de los residuos vegetales.

En una zona rural de Dagua, Valle del Cauca, Colombia, Lozano (2014) evaluó la estabilidad estructural del suelo y se estimó la diversidad y densidad de esporas de micorrizas presentes en tres sistemas de suelo (erosionado, bosque y cultivo de café). Las fincas evaluadas se clasificaron en sistemas con manejos intensivos o agroecológicos. Se observaron 25 morfoespecies de micorrizas agrupadas en 13 géneros de los cuales *Glomus* y *Entrophospora* fueron los más representativos. Las diferencias en las prácticas, el uso y manejo del suelo afectaron la diversidad de micorrizas encontradas en las fincas y su efecto como agente de agregación de partículas generando cambios notorios en la estabilidad y estructura del suelo de las zonas evaluadas.

En Ayacucho, Solano et al. (2013) reportaron la presencia de las micorrizas vesículo arbuscular en la tara estudiados en dos sistemas macizo y agroforestal en dos épocas lluviosa y seca, donde en el sistema macizo en la época lluviosa el porcentaje de colonización fluctuó entre 63.3 y 98%. Así mismo Esquivel (2014) realizó la evaluación de la

biodiversidad de hongos endomicorrizógenos en dos agroecosistemas en Vinchos, donde encontró porcentajes de colonización superiores a 90% en cultivos de papa.

Bolaños et al. (2000) encontraron un marcado efecto de las etapas fisiológicas de inicio de fructificación, caracterizada por un alto metabolismo en la planta, y post-cosecha, caracterizada por un bajo metabolismo en la planta, sobre el funcionamiento micorrícico y la cantidad de esporas, de forma tal que al inicio de la fructificación las variables porcentajes de colonización y densidad visual presentan valores superiores en su actividad, mientras las acompañan valores menores de esporas, las cuales aumentan en post-cosecha y disminuyendo las variables primeramente mencionadas, conllevando a un funcionamiento cíclico de la micorrización diferente del fenómeno fructificación – cosecha. En todas las plantaciones establecidas de cafeto estudiadas bajo condiciones edafo-climáticas diferentes, se observó la presencia de los géneros *Acaulospora* y *Glomus*.

Duicela et al. (2003) cita a Martínez (1986) quien indica que diversos estudios ecológicos demuestran la presencia de la endomicorriza vesículo arbuscular en el cultivo de café, presentados por diversos géneros de la familia endogonaceae (*Glomus*, *Acaulospora* y *Gigaspora*). Por otra parte se ha visto que las características físicas químicas del suelo pueden influir cuantitativamente y cualitativamente en la presencia de las especies. Se ha encontrado también una tendencia decreciente a la colonización de las raíces, a medida que las plantas presentan mayor edad; y los suelos que

no reciben fertilización de fósforo presentan mayores porcentajes de colonización.

Cuervo et al. (2007) afirman que el género de hongos MVA encontrados en las muestras de suelo de las especies forestales *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora* fue *Glomus spp* con 60% de presencia. Asimismo, el número de esporas por gramo de suelo fue de 54 y 58 en promedio, respectivamente.

García (2000), cita a Whetten y Anderson (1992) quienes afirman que varios estudios han demostrado que la formación de la micorriza reduce la proliferación de ciertos microorganismos en las raíces. También se han reportado que algunos microorganismos actúan sinérgicamente con la micorriza favoreciendo el crecimiento de las plantas, como las bacterias solubilizadoras de fosfato, que promueven el desarrollo de la micorriza en plantas de alfalfa. Sin embargo, debido a que los HMA son simbioses obligados y se desarrollan en las raíces de las plantas, están expuestos al ataque de microorganismos parásitos y patógenos. Otros parásitos o depredadores de HMA son los nematodos, ácaros y bacterias, los cuales inhiben su desarrollo y la propagación.

Sieverding (1991) indica que el cultivo de café de forma natural desarrolla la simbiosis con los hongos micorrícicos arbusculares, necesitando de éstos, para su establecimiento.

López et al. (1983) indican que el café es una planta que presenta una elevada dependencia micorrízica en suelos de baja fertilidad, lo cual representa un potencial natural en su nutrición. Sin embargo, la eficiencia

de la endomicorriza está sujeta a diversos factores entre los que destacan los climáticos, edáficos y la compatibilidad con el hospedero.

García (2000), cita a Saif (1981) y Sieverding (1991) quienes indican que una buena aereación es muy importante para la colonización y producción de esporas de los HVA debido a que el oxígeno es un factor fundamental en el establecimiento y/o sobrevivencia de la simbiosis micorrízica arbuscular. En las raíces de las plantas se ha encontrado que el crecimiento de las hifas se inhibe tanto a concentraciones de oxígeno atmosférico menores del 3% como a concentraciones del 5% de CO₂. No obstante, se ha reportado que concentraciones de CO₂ del 3 al 5% favorecen la germinación y el crecimiento del micelio.

García (2000), cita a Sylvia (1994) y Bagyaraj (1992) quienes mencionan que la luz y la irradiación son factores fundamentales en la colonización de las raíces de las plantas y en la producción de esporas. Los HMA obtienen una fuente importante de carbono de las plantas hospederas y esto depende de la capacidad fotosintética de las plantas y del transporte de fotosintatos hacia la raíz, por lo que la cantidad de la luz afecta indirectamente a los hongos de acuerdo con la tasa fotosintética vegetal, así mismo, la sombra reduce notablemente la respuesta de las plantas a la simbiosis micorrízica y en consecuencia afecta la colonización micorrízica y la producción de esporas.

García (2000), cita a Bagyaraj (1992) quien afirma que los HMA están presentes en sitios con diferentes contenidos de agua. Aunque se cree que en condiciones saturadas de agua la libre circulación de oxígeno está

limitada y disminuye la germinación de las esporas y la colonización de las raíces.

Escola (2002) cita a Timonin (1940); Winter (1951) y Richards (1965) señalan que la variación del pH en el suelo tiene un efecto importante sobre el aumento o disminución de la flora fúngica y bacteriana. Por su parte, García (2000) indicó que la microbiota de los suelos tropicales está adaptada a pH entre 5.3 y 6.1 y que, en los suelos con pH 5.6, la mayoría de los microorganismos benéficos se desarrollan y sus enzimas se activan.

Trejo (2001), menciona que la aplicación de dosis crecientes de fósforo inorgánico disminuye la colonización micorrízica, y las plantas inoculadas presentan un mejor crecimiento y desarrollo que aquellas que son fertilizadas. Con el uso de los hongos micorrícicos puede sustituirse la adición de fertilizantes, lo cual resulta un beneficio para la economía de los agricultores.

García (2000) cita a Menge (1986) y Bagyaraj (1992) quienes afirman que la influencia de los nutrientes minerales del suelo, el fósforo es uno de los más estudiados y se ha encontrado que altos niveles de fósforo disponible en los suelos agrícolas, disminuyen notablemente la reproducción, desarrollo de propágulos infectivos y la esporulación de los HMA.

Sieverding (1991) reporta que la eficiencia de los HMA está estrechamente vinculada a los suelos pobres de baja fertilidad y que la aplicación de altos niveles de nutrientes sobre todo de fósforo, disminuye o inhiben el efecto beneficioso de los HMA.

Rivera et al. (2000) citado por Prieto et al. (2012) afirma que la información más reciente indica que si bien en forma general las condiciones de alta disponibilidad de nutrientes inhiben la micorrización, el fenómeno especificidad suelo-cepa HMA conlleva a que hay especies o cepas adaptadas a mayores requerimientos de nutrientes y por lo tanto la simbiosis micorrízica no se ve restringida solo a condiciones de suelos pobres e inclusive la simbiosis necesita de un óptimo de suministro de nutrientes que puede ser dado por los fertilizantes minerales o por los orgánicos. Así mismo menciona que la eficiencia de la simbiosis se ve afectada cuando el suministro de nutrientes es inferior al óptimo para las plantas micorrizadas no conllevando solo un menor efecto agro biológico expresado en el crecimiento y vigor de las plantas, sino a una disminución de las estructuras fúngicas indicativas de una simbiosis eficiente reduciendo los beneficios.

García (2000), cita a Menge (1986), Abbott y Robson (1991) quienes afirman que aunque muchos autores reportan que el uso de grandes cantidades de productos químicos (fungicidas, insecticidas y herbicidas) disminuyen e inhiben el desarrollo de los HMA, otros han encontrado que productos químicos utilizados en bajas concentraciones, son compatibles con estos hongos ya que incrementan la colonización y el número de esporas; además, reducen la contaminación de las raíces y eliminan los parásitos y patógenos de las plantas con las cuales compiten por nutrientes y espacio.

García (2000) cita a Honrubia, et al. (1992) y Bagyaraj (1992) quienes afirman de que en teoría todas las especies de HMA pueden colonizar las raíces de las plantas, se sabe que el hongo de una especie no ofrece igual efectividad para todo los cultivos agrícolas comerciales ya que no todas sobreviven ni se desarrollan bajo las mismas condiciones ambientales.

1.2 LAS ENDOMICORRIZAS

Camargo-Ricalde (2009) menciona que etimológicamente la palabra micorriza se ha formado del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “Rhiza” (raíz). El término micorriza, define la simbiosis entre un hongo (*mycos*) y las raíces (*rhizos*) de una planta. Como en otras relaciones simbióticas, ambos participantes obtienen beneficios. En este caso la planta recibe del hongo principalmente nutrientes minerales y agua, y el hongo obtiene de la planta hidratos de carbono y vitaminas que él por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que ella lo puede hacer gracias a la fotosíntesis y otras reacciones internas.

Hernández (2000) indica que las micorrizas son tan antiguas como las propias plantas y que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo. Estos simbioses han sido originalmente agrupados en ecto, endo y ectoendomicorrizas, según el tipo de estructuras formadas en el sistema hongo-raíz. Las ectomicorrizas, forma un manto que encierra las raíces y las hifas penetran entre las células de

la raíz para formar una red intercelular, conocida como “red de Harting”, las endomicorrizas no presentan el manto hifal, pero las hifas penetran dentro de las células corticales de la raíz sin causar daño visible a la raíz invadida; las ectoendomicorrizas muestran características de los dos grupos descritos.

Sieverding (1991) menciona que entre los miles de grupos de micorrizas, las más interesantes para los cultivos son las Micorrizas Vesículo-Arbusculares que se encuentran en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico. Estos hongos penetran dentro del tejido de la raíz formando unas estructuras muy ramificadas (arbúsculos) y unos órganos de reserva (vesículas). Estos dos tipos de estructuras forman el cuerpo del hongo y están en continuo crecimiento a través de las raíces y materia orgánica en descomposición, razón por la cual se desarrollan especialmente bien en ecosistemas agrarios gestionados en Agricultura de Conservación.

Los hongos que forman las endomicorrizas no forman setas, son microscópicos y no se pueden ver en el campo, sino solo mediante microscopios y tiñendo las raíces. Es por eso que las endomicorrizas han pasado desapercibidas por todos durante muchos siglos. Las endomicorrizas se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y arbúsculos sin hacerles daño, y es desde ahí que alimenta mucho mejor a la planta, protegiéndola de los ataques externos.

Se las conoce también como micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta.

Lovato (2014) afirma que las micorrizas arbusculares son la asociación mutualista entre 90% de las familias vegetales y un grupo de hongos del suelo pertenecientes al Phylum Glomeromycota. Esta asociación confiere a las plantas mayor capacidad de absorber nutrientes y agua y aumenta la tolerancia a estrés biótico y abiótico; asimismo, permite el desarrollo de las plantas en ambientes pobres en nutrientes, como dunas o áreas degradadas por acción antrópica, como en el caso de la minería. En estas situaciones, las micorrizas también permiten a las plantas superar estrés abiótico, como pH bajo o niveles altos de elementos traza, inclusive metales pesados. Las micorrizas son esenciales en la recuperación de la calidad de los suelos degradados por actividades agrícolas, ya que contribuyen al restablecimiento y aumento de la fertilidad. Debido a esta característica, las micorrizas se utilizan como indicadores de calidad del suelo. Su uso es importante para la instalación y manejo de sistemas agrícolas sostenibles. Por tener un papel multifuncional, las micorrizas también son capaces de aumentar la tolerancia de las plantas a patógenos, especialmente los que atacan las raíces, y su uso ha sido propuesto para establecer cultivos en ambientes con presencia de estos patógenos.

1.2.1 Taxonomía de las endomicorrizas

Schüßleer et al. (2001) indican que los hongos formadores de micorrizas arbusculares se consideraban hasta hace muy pocos años en la familia Endoganaceae, dentro del Phylum Zygomycota, clasificación que estaba basada fundamentalmente en el análisis de las características morfológicas, estructurales y ontogénicas de las esporas que se desarrollan. De acuerdo a este criterio, las más de 150 especies descritas hasta la fecha, se incluyeron en el orden Glomales. Hasta entonces no se había puesto en manifiesto el posible origen monofilético de estos hongos compartiendo un ancestro común. Origen monofilético, que hoy en día se ha podido determinar en base al análisis de la subunidad pequeña del ARNr 18S, agrupándose así en el nuevo Phylum Glomeromycota. Dicho phylum, se encontraría más próximo de los ascomicetos y basidiomicetos, con los que compartiría un ancestro común, que con los zigomicetos. Nuevo phylum, que está compuesto por una sola clase, los Glomeromycetes, que a su vez incluye cuatro órdenes: Glomerales, Diversisporales, Paraglomerales y Archaesporales.

Así mismo Clapp et al. (2002) mencionan que cada vez hay más evidencia de que la identificación basada en criterios morfológicos tiene un uso limitado, ya que la baja diversidad morfológica de las esporas de los hongos micorrícicos, no refleja la gran plasticidad fisiológica, diversidad genética, y posiblemente funcional de sus poblaciones aún por describir. Debido a la limitación del material fúngico disponible para ser analizado como consecuencia del carácter de simbioses obligados de

estos hongos, la aplicación de técnicas basadas en la reacción en cadena de la polimerasa (en inglés, PCR) ha supuesto un avance muy importante en la caracterización genética de estos hongos micorrizicos (Van der Heijden 2002). Todos estos avances en el análisis de la diversidad genética de los hongos formadores de micorrizas arbusculares, llevan hacer muy difícil , una definición de especie, e incluso de individuo en estos hongos.

Las endomicorrizas presentan la siguiente taxonomía:

Phylum: Glomeromycota
Clase: Glomeromycetes
Orden: Glomerales
Familia: Glomeraceae
Género: *Glomus*
Especie: *Glomus sp.*

1.2.2. Morfología de las endomicorrizas

Las endomicorrizas presentan las siguientes estructuras:

Arbúsculos:

Brown (1982) menciona que los hongos MVA al ponerse en contacto con la raíz forman una estructura sobre las células epidérmicas vegetales conocida como “apresorio” y a partir de este cuerpo se producen las hifas que son filamentos tubulares, que penetran la epidermis radicular hasta llegar a la endodermis, allí comienza su ramificación para formar los arbúsculos, que tienen un tamaño comparable al de las mitocondrias y su

vida aproximada es de 1 a 3 semanas, después de lo cual se colapsa y parte de él se reabsorbe hacia el citoplasma hifal y el resto de componentes permanecen en la célula hospedera, se piensa que es el sitio donde ocurre el intercambio de nutrientes y carbohidratos entre el hongo y a planta.

Vesículas:

Brown (1982) indica que son las estructuras de almacenamiento de nutrientes para el hongo, cuya formación de sustancias como lípidos es posterior a la de los arbuscúlos y tiene lugar a partir del hinchamiento de una hifa generalmente terminal. Esta estructura principalmente en las especies del género *Glomus* puede llegar a engrosar sus paredes y convertirse en esporas.

Micelio externo:

Brown (1982) afirma que es el componente importante en la simbiosis, formado por las hifas principales, gruesas y ramificadas, siendo las encargadas de la absorción del fósforo y otros nutrientes de lugares donde las raíces no pueden acceder por sí mismas. Pero cuando el sustrato se agota el citoplasma de las hifas finas se retrae hacia la hifa principal donde se forman septos. Este fenómeno puede ser un indicador de deficiente aireación y/o agotamiento de nutrientes del suelo, entre otros.

Esporas:

Brown (1982) menciona que se forman sobre el micelio externo y son órganos de conservación de las MVA. Formadas en el extremo o no de

una hifa, con características propias que constituyen la única estructura externa que puede permitir el reconocimiento morfológico de las especies de las Micorrizas VA. El género *Glomus sp*, pueden encontrarse simples o agrupados en esporocarpo, su tamaño varía desde 50 a 300 μm , de forma esférica de color café con hifas de sostén curvo y tres capas. La formación de esporas en algunas especies ocurre tres o cuatro semanas después de iniciada la colonización, otras tardan de seis meses a un año, según Hetrick y Giovannetti citado por Bolaños (2000).

1.2.3 Simbiosis para formar las micorrizas

Trejo et al. (2001) afirman que la simbiosis se establece a partir de propágulos infectivos del hongo en el suelo, los cuales son fragmentos de raíces micorrizadas, hifas, esporas, se produce en tres etapas o pasos las cuales son:

Como primer paso, se produce una identificación y reconocimiento mutuo entre la planta y hongo o viceversa en la rizósfera, en regiones próximas a las raíces nutricias o pelos radicales. Este reconocimiento lo facilitan al parecer, sustancias exudadas como auxinas, flavonoides emitidas por la raíz, que provocan y estimulan la germinación de la espora, luego el crecimiento y ramificación del micelio y un biotropismo positivo del mismo hacia la raíz.

El segundo paso consiste en el acercamiento y acoplamiento progresivo y gradual del micelio y la raicilla produciéndose el contacto intercelular, al formarse una estructura que amarra y ata ambas biomasas.

En el tercer paso se realiza la colonización produciéndose cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular de la raíz. Posteriormente se produce la integración fisiológica de ambos simbios (hongo-raíz), y por último se produce una alteración de las actividades enzimáticas, que se coordinan entre los simbios para integrar sus procesos metabólicos.

Este proceso de asociación para formar micorrizas, provoca alteraciones morfológicas y anatómicas en las plantas colonizadas tales como: cambios en la relación tallo raíz, en la estructura de los tejidos radicales, en el número de cloroplastos, aumento de la lignificación, alteración de los balances hormonales, etc. Efectos que no son sólo explicables, como una simple mejora nutritiva de la planta, debido al aumento de eficacia en la absorción de nutrientes por la raíz, gracias a la formación de la micorriza, sino que, responde a cambios metabólicos más profundos y complejos, debidos a la integración fisiológica de los simbios.

1.2.4. Beneficio de la simbiosis para la planta

En forma general, los beneficios que representa para la planta su asociación con hongos formadores de MVA son muchos y muy variados, catalogándose principalmente como beneficios directos e indirectos.

Guadarrama et al. (2004) mencionan que mediante el micelio externo del hongo la raíz micorrizada de la planta es capaz de explorar más volumen de suelo para la absorción de nutrientes que una raíz no micorrizada,

captando con mayor facilidad ciertos elementos poco móviles en el suelo como son: P, Zn, S, Ca, Mo, B, etc.

Así mismo Sieverding (1991) indica que los hongos formadores de MA juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las plantas, que la función más importante de la MVA para la planta es la nutricional principalmente en el aporte de nutriente de baja movilidad, como es el fósforo, además de proporcionar diversos beneficios mejoran las condiciones de productividad, supervivencia y resistencia ante factores patológicos, su simbiosis mutualista contribuye a la retención física de partículas del suelo limitando los efectos dañinos de la erosión, ayuda a la retención de humedad, aireación y descomposición de la materia orgánica, mejoran la capacidad productiva de los suelos como los afectados por la desertificación, la salinización, la erosión hídrica y eólica; interaccionan con diversos microorganismos del suelo, estableciendo cooperaciones con unos y compitiendo con otros generalmente de tipo patógeno, e incluso interactuando con la microfauna de la rizósfera además prolongan la vida de los suelos agrícolas productivos, contribuyendo a su uso más diverso, económico y ecológico. Las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), se encuentra en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico.

La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Por si todo esto

fuera poco, algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada.

Hernández (2000) indica que el uso de estos microorganismos edáficos (MVA) en la agricultura constituye una alternativa promisorio frente a los fertilizantes minerales. Desde el punto de vista ecológico, la utilización y/o aplicación correcta de estos microorganismos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas. En adición, se mantiene la capacidad productiva del sistema, se preservan la biodiversidad y se contribuye con una producción más estable y sostenida a largo plazo en equilibrio con el entorno.

Rodríguez et al. (2004) afirma que bajo ciertas condiciones edafoclimáticas, algunos hongos pueden beneficiar mejor o en mayor grado un determinado hospedero.

Arco (1999) menciona que los mayores porcentajes de colonización micorrízica están asociados con bajos niveles de Fósforo, pH extremadamente ácido, baja saturación de bases y altos niveles de materia orgánica.

1.2.5 Utilidad y efectividad de la endomicorriza

Escola (2002) menciona que la utilización de las micorrizas como biofertilizantes no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la dosis a aplicar desde comúnmente 50 - 80% y en ocasiones hasta un 100%. Se plantea

que de las cantidades de fertilizantes aplicadas, sólo se aprovecha un 20%, y el resto normalmente se filtra o se lixivia sin remedio; con la aplicación de las micorrizas, puede ser recuperado por las plantas un porcentaje mucho mayor; ya que un pelo radical, puede poner a disposición de una raicilla, los nutrientes y el agua que se encuentra hasta 2 mm de la epidermis, las hifas del micelio de las MVA pueden hacerlo hasta 80 mm, lo que representa para la misma raicilla la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor.

Sieverding (1991) indica que el beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrízicas vesículo arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta espectacular, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo asimilable y en donde el potencial de explotación de éstas es mucho mayor que en regiones de clima templado. Otro de los efectos más interesantes de las micorrizas en el suelo, es su papel en relación con el ecosistema en el que se desarrollan; así interaccionan con diversos microorganismos del suelo, estableciendo provechosas cooperaciones con unos y compitiendo con otros generalmente de tipo patógeno, e incluso interactuando con la microfauna de la rizósfera (Nematodos, áfidos, ácaros, entre otros). Las micorrizas, prolongan la vida de los suelos agrícolas productivos, contribuyendo a su uso más diverso, económico y ecológico.

Miranda (1998) citado por García (2000) menciona que el número de esporas en el suelo y el porcentaje de colonización de la raíz puede ser considerado como un indicativo del establecimiento de los hongos en el

suelo, más que un indicativo de la efectividad en el crecimiento de las plantas.

1.2.6 Factores que limitan la colonización y producción de esporas.

García (2000) afirma que el desarrollo de la colonización micorrízica y producción de esporas es seriamente limitada por diversos factores físicos (Temperatura, aereación, luz, agua, humedad, textura, etc.) químicos (pH, nivel de fósforo, agroquímicos, etc) y biológicos (Planta, hongos, microorganismos) condiciones que determinan las características de los hospederos y del suelo, estos factores pueden afectar en mayor o menor grado el desarrollo de los HMA.

La degradación del suelo es resultado de un conjunto de factores que pueden actuar sobre la vegetación y sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como menciona Fonseca (2014). En el suelo, los hongos formadores de micorrizas arbusculares ayudan a reducir los daños causados por erosión y mantener la estructura por medio de la producción de micelio y sustancias adherentes afirmado por Lozano (2014).

1.2.6.1 Factores físicos

García (2000) cita a Jackson y Manson (1984) quienes afirman que la temperatura afecta la viabilidad de los hongos micorrizicos arbusculares y el proceso de colonización micorrízica. Aunque se considera que el intervalo óptimo de temperatura para el desarrollo de la mayoría de los

hongos micorrizicos arbuscular es está entre los 18°C y 27°C, esto dependerá de la especie. De manera general se ha encontrado que los hongos son capaces de sobrevivir a temperaturas entre 0°C hasta 70°C y pueden colonizar las raíces al siguiente periodo de lluvias. Además se encontró que la temperatura óptima para la germinación de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, es alrededor de los 20°C a 25°C.

En estudios sobre ecología, población de endomicorrizas en diferentes agroecosistemas, encontraron que la infección es más baja durante la época seca por efecto del estrés. También obtuvieron como resultado que la Mulch disminuye la temperatura y éste hace que la efectividad de la micorriza vesículo-arbuscular pierda (Sieverding, 1983).

1.2.6.2 Factores químicos

Clark (1997) citado por García (2000) menciona que aunque los suelos con pH menores a 5 comúnmente están asociados con toxicidad por causa de altas concentraciones de aluminio y manganeso, considerándose deficientes en fósforo, calcio, magnesio y potasio, el pH del suelo por sí solo no es un factor que afecte de manera crítica el proceso de colonización a menos que se trate de valores extremos, o bien de especies de hongos o plantas determinadas. La tolerancia y la habilidad de las plantas para crecer en suelos ácidos pueden estar asociadas con la colonización de las raíces por HMA que son capaces de adaptarse a estas condiciones de pH bajo. Aunque se considera que la

mayoría de los HMA requieren de un pH óptimo entre 4.5 y 6 para su mejor desarrollo.

Cuervo et.al. (2007) mencionan que la infección de la micorriza VA disminuye en los agroecosistemas con uso intensivo y mayor aplicación de agroquímicos.

1.2.6.3 Factores biológicos

Azcón y Ocampo (1981) citado por García (2000) mencionan que aunque la mayoría de las plantas presentan esta asociación mutualista, la especie, la edad en particular el potencial fotosintético de la planta hospedera influye en la cantidad de colonización y producción de esporas, debido a que las características morfológicas y extensión lineal del sistema radicular juegan un papel fundamental en la relación raíz-hongo, a medida que las plantas presentan mayor edad disminuye la colonización micorrízica.

1.3 EL CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

1.3.1 Origen y distribución

Montero (1992) afirma que se trata de un arbusto que siempre perdura de color verde. Según la historia el café es originario de Etiopía zonas tropicales de África, desde donde se extendió su cultivo por Arabia y el resto de oriente medio. Llegó a Europa en el siglo XVI. Los holandeses lo introdujeron en las colonias de América del Sur, Guayana, Colombia y las Antillas. Posteriormente llegó al Caribe y Brasil. Hoy en día, Brasil y

Colombia son los mayores productores de café.

El café llegó a América con los inmigrantes europeos en el siglo XVIII y ellos introdujeron su cultivo en Centro América y Sudamérica. Para mediados del siglo XVIII el café ya era producido en Chanchamayo, Moyobamba, Jaén, Huánuco y Cusco, para el consumo local y para la exportación.

En el Valle Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), el cultivo de café se inicia en el año 1950, según los caficultores entrevistados del lugar, con semillas procedentes de Satipo y Chanchamayo posteriormente el cultivo se extendió por todo el valle siendo en la actualidad uno de los principales cultivos de importancia económica en la zona y en el año 1969 se creó la Cooperativa Agraria Cafetalera “Valle Río Apurímac”, organización que hoy en día viene brindando asistencia técnica en cuanto a la producción orgánica, comercialización y exportación del café.

1.3.2 Importancia

El MINAGRI (2015) menciona que el café es el principal producto de agroexportación, con gran importancia económica, sociocultural y ambiental, donde su cultivo sirve de sustento a los propios caficultores y a diversas familias generando jornales directos e indirectos en la cadena productiva, el cultivo de café se encuentra cultivada en su mayoría bajo sombra diversificada la cual contribuye considerablemente a conservar la biodiversidad y como proveedor de vitales servicios ambientales a la

sociedad; el Perú es el segundo productor y exportador mundial del café orgánico después de México

La CACVRA, indica que el cultivo de café en el VRAEM, es de importancia económica por ser un producto agroindustrial de exportación la cual está orientada al mercado local, nacional e internacional mediante las cooperativas y empresas locales nacionales, además es generadora de empleo para muchas familias del lugar en las diferentes etapas del café. En el Distrito de Kimbiri, los principales productos cultivados son el café, cacao y de pan llevar.

1.3.3 Taxonomía

Flores (2001) indica que el café se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

- Reino : Vegetal
- División : Magnoliophyta
- Clase : Dicotiledóneas
- Familia : Rubiaceae
- Género : Coffea
- Especie : Arabica
- Nombre científico : *Coffea arábica* L.
- Variedades :Typica, Bourbon, Caturra, etc.

Castañeda (2000) afirma que la variedad Caturra es de mayor productividad es muy susceptible al ataque de roya. Es ideal para cultivos orgánicos y granos de mejor calidad. Son de porte bajo y de aspecto

vigoroso conocido con un amplio rango de adaptabilidad, alta producción, buenas características agronómicas y organolépticas comprende dos cultivares Caturra rojo y amarillo estos nombres son dados en base a la coloración.

1.3.4 Fisiología y morfología

Marín (2012) menciona que el ciclo fisiológico del café es el tiempo transcurrido de una campaña a otra; dura doce meses y tiene cuatro etapas bien marcadas: La etapa de descanso que dura aproximadamente 2 meses (Julio y agosto), etapa en la cual la parte aérea se encuentra en reposo. La etapa de la floración dura aproximadamente 3 meses (Setiembre, octubre y noviembre), las yemas se transforman en flores o ramas, hay mayor desarrollo vegetativo, gran producción de ramas y hojas, máxima actividad radicular y mayor formación de pelos absorbentes. La etapa de llenado de grano que dura aproximadamente 4 meses (Diciembre, enero, febrero y marzo), llenado intenso del grano, menor producción de ramas y hojas y menor formación de pelos absorbentes. La etapa de cosecha tiene una duración de 3 meses (Abril, mayo y junio), crecimiento vegetativo mínimo, se presenta la formación de nuevas yemas, menor actividad radicular y degradación de pelos absorbentes.

Marín (2012) menciona que la raíz es un órgano de mucha importancia; a través de ella la planta toma el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y producción la raíz central es pivotante, su longitud en una

planta adulta es de 50 a 60 cm aproximadamente, las raíces secundarias (de sostén y laterales) se originan a partir de la pivotante; de las secundarias, generalmente se desarrollan los pelos absorbentes que, en un alto porcentaje (80-90%), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo, con un radio de 1 a 2 metros a partir de la base del tronco. Los pelos absorbentes son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua y nutrientes del suelo.

La planta del café presenta tallo principal leñoso, erecto y de longitud diversa de acuerdo a la variedad. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: el tallo, las ramas y las hojas.

Las hojas son de forma elíptica a lanceolada, son opuestas y de una longitud de 12 a 24 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho. La floración del café es marcadamente estacional, generalmente coincide con la presencia de las primeras lluvias. En las axilas de las hojas se presentan las yemas florales, el número promedio de flores por nudo es de 40 flores, 20 en cada axila. Cuando se abre la flor, las anteras ya han liberado gran cantidad de polen; por esta razón, la autofecundación se da en un alto porcentaje. Una vez que el polen alcanza los óvulos, la fertilización se completa durante 4 o 6 días, el fruto es una baya drupácea con dos almendras con sus respectivos embriones.

1.3.5 Requerimientos edafoclimáticos

Marín (2012) indica que el crecimiento y desarrollo vegetativo del café, están relacionados con factores medioambientales y edáficos de las

zonas cafetaleras tales como: Ubicación del predio (altitud, latitud), clima (temperatura, luz, humedad, precipitación) y tipo de suelo (características físicas y químicas):

Temperatura

Valencia (1998) indica para que las plantas de café se desarrollen adecuadamente necesitan de temperaturas medias de 18 a 24°C.

Humedad relativa

La humedad relativa influye mucho en las condiciones sanitarias de la plantación, ya que si se sobrepasa del 85% favorece el desarrollo de las enfermedades fúngicas. Siendo la máxima de 70 a 90% y la mínima de 40 a 60%.

Precipitación

Los valores óptimos en lluvias varían entre 1800 y 2000 milímetros al año, distribuidos de manera que exista un período seco de cuatro o cinco meses.

Altitud

Incide en forma directa sobre los factores de temperatura y precipitación.

La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 1,000 y 1,600 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta y calidad de grano.

Luz

La planta del cafeto se considera de día corto, es decir, que su floración se produce cuando las noches empiezan a alargarse. Por lo general, necesita entre once y trece horas luz al día.

Suelo

Marín (2012) afirma que en la Selva del Perú existen cinco órdenes de suelos, entre ellos predominan dos: Inceptisol y Alfisol, estos suelos son ideales para producir un café de excelente calidad. Los tipos de suelo adecuados para el cultivo de café son de textura franca, con buena fertilidad, drenaje y aireación; de pH ácido a ligeramente ácido, buena profundidad efectiva y adecuado contenido de materia orgánica, bajo estas condiciones el sistema radicular desarrolla muy bien. Para las condiciones del valle para un cafetal en producción se recomienda la siguiente fórmula de abonamiento: N: 150, P₂O₅:75, K₂O:250.

1.3.6 Plagas y enfermedades del café

Castañeda (2000) y Aquino (2011) mencionan que las plagas y enfermedades presentes en el cultivo de café son:

La principal plaga del cultivo de café que representa un impacto económico es la broca del café (*Hypothenemus hampei*), son gorgojos que barrenan a los frutos en etapa de grano lechoso, penetran por el ombligo de los cerezos hasta llegar a la almendra donde depositan sus huevos. Se reconocen por la maduración temprana y porque al momento de ser depositados en los tanques de recepción flotan por falta de peso.

Preventivamente realizar rebusca, raspa y recojo de granos caídos además la limpieza de los cafetales, podas y manejo de sombra. No depositar la pulpa fresca en los cafetales. Preparar compost de pulpa de

café. Instalar trampas caseras en cafetal utilizando atrayentes. Como medida curativa aplicar pesticidas.

Los nematodos (*Meloidogyne sp*), se presentan como nodulaciones en las raíces, ubicándose en las raíces laterales, el cuello de planta y raíz pivotante. Producen la degradación de la raíz afectando la absorción de agua y nutrientes, observándose defoliación y clorosis de las hojas. En casos de alta severidad, y después del estrés de sequía los cafetos infectados se marchitan y mueren. Como medida preventiva utilizar tierra de monte virgen en la etapa de viveros y aplicar materia orgánica en la instalación y en cada etapa de la fertilización.

La arañita roja (*Olygonychus vothersi*), se localiza en la cara superior de las hojas cerca de las nervaduras donde las larvas y los adultos chupan las sustancias nutritivas de las hojas dañándolas y produciendo el color bronceado de las hojas.

Las principales enfermedades que se encuentran en el cafeto están causadas por hongos, bacterias y nematodos afectando al cultivo en distintas etapas de su desarrollo.

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), los síntomas se caracterizan por manchas localizadas de bordes difusos en el haz y en el envés asociado un polvillo amarillo-anaranjado. Es una enfermedad cíclica que afecta principalmente el follaje, produce defoliación y el daño conocido como “paloteo”. Preventivamente realizar el manejo de sombra, deshierbes oportunos, poda y manejo de sombra, uso de variedades resistentes y

fertilización balanceada. Como medida curativa realizar la aplicación de fungicidas protectores y sistémicos.

1.4 AGROECOSISTEMAS DE PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL

Altieri (2000) conceptualiza el agroecosistema como un sistema de producción dinámico y funcional que implica una serie de interacciones e interrelaciones entre los componentes que lo integran. El agroecosistema tiene elementos ligados y mutuamente dependientes en algunos casos diversificados los principales elementos del sistema agrícola. Los agroecosistemas presentan componentes bióticos y físicos interactuando como un sistema. Estos sistemas deben ser sostenibles, estables, equitativos y productivos. Uno de los agroecosistemas que presenta una gran variación en sus componentes y el sistema de producción es el cultivo de café.

1.4.1 Producción orgánica del café

Certimex (1998) menciona que el café orgánico se cultiva mediante una estrategia productiva orientada a la obtención de café de calidad y la protección del ambiente, sin la aplicación de insumos de síntesis química, y que se rige por normas de producción y procesamiento, mismas que son vigiladas mediante un proceso de certificación que garantiza al consumidor la adquisición de alimentos de calidad sin residuos químicos, como son fertilizantes y plaguicidas.

El café orgánico es considerado como un sistema de producción sostenible y sustentable en donde emplea técnicas agroecológicas en el cual evita la utilización de productos sintéticos ya sea fertilizante o plaguicidas.

Da Costa (1995) menciona que la agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos naturales, sin emplear productos químicos para el abonamiento ni en el control de plagas y enfermedades, por la presencia en el suelo de microorganismos, logrando de esta forma obtener alimentos orgánicos de mejor calidad a la vez que se conserva la fertilidad del suelo, la actividad biológica y se respeta el medio ambiente y la salud humana. Todo ello de manera sostenible y equilibrada.

Por otro lado Castañeda (2000) menciona que la agricultura orgánica involucra mucho más que no usar agroquímicos.

Altieri et al. (2000) manifiestan que las prácticas agroecológicas definen como un enfoque de la agricultura que busca proporcionar un medio ambiente equilibrado, rendimiento y fertilidad del suelo sostenido y control natural de plagas, mediante el diseño de diversificación de los agroecosistemas. Estas estrategias se apoyan en conceptos ecológicos, con el fin de obtener un ciclo de nutrientes y materia orgánica, flujos cerrados de energía, poblaciones balanceadas de plagas y un uso múltiple del suelo y del paisaje.

Así mismo la CACVRA, organización que cuenta con certificación orgánica, donde el agricultor socio está comprometido a cumplir las

normas de producción orgánica para la producción ecológica de cacao y café en granos, evitando cualquier fuente de contaminación durante el proceso productivo, el manejo de post cosecha, almacenamiento, transporte de los productos, con la finalidad de garantizar a los consumidores finales un producto orgánico producido bajo un enfoque de responsabilidad social. Puesto que el solo hecho de no utilizar productos químicos no garantiza que el producto sea ecológico, sino que se deben aplicar prácticas conservacionistas del medio ambiente y manejo sostenido y racional de los recursos naturales, evitando la contaminación a todo nivel, desde la producción, el almacenamiento y el transporte.

Fournier, (1980) hace referencia sobre las buenas prácticas agrícolas en el cultivo de café orgánico que son el uso de árboles de sombra, deshierbas adecuados para evitar remover el suelo, especialmente en laderas, por el desmalezado, están utilizando “chafle” o machete, y evitan el uso de lampas, u otros instrumentos que tienen efecto erosivo, porque remueven la capa superficial del suelo. Otros dejan pequeñas franjas enmalezadas que sirven como barreras vivas; siembras en curvas a nivel técnica utilizada por la mayoría de productores en sus nuevas plantaciones de café; terrazas de formación lenta, usando barreras vegetales vivas contra la erosión; barreras muertas además del acondicionamiento de la biomasa que produce el sistema, varios utilizan piedras o troncos dejados en las fincas y el manejo de la fertilidad del Suelo ya que uno de los aspectos que los caficultores orgánicos están

generalizando es el manejo de la fertilidad del suelo como la producción, uso de abonos orgánicos y enmiendas minerales.

1.5.2 Producción convencional del café

Altieri et al. (2000) indica que la agricultura convencional es un sistema de producción agropecuaria basado en el alto consumo de insumos químicos, abonos químicos sintéticos y pesticidas. La agricultura convencional no toma en cuenta el medio ambiente, sus ciclos naturales, ni el uso racional y sostenible de los recursos naturales. Utiliza todas las herramientas tecnológicas como la preparación de suelo con labranza mínima o intensiva; utiliza semillas tradicionales, semillas mejoradas y certificadas como semillas tratadas; se alimenta y protege al cultivo con tecnologías de síntesis química o inorgánicas, tiende a ser más extensiva por usar las herramientas que facilitan esta modalidad; usa todas las tecnologías disponibles y permitiendo así elevar la productividad.

Así mismo Aquino (2011) indica que en la producción convencional se viene utilizando fertilizantes foliares que, aplicados por aspersión a las hojas de las plantas, le suministran los nutrientes complementarios, igual como lo hacen los fertilizantes sólidos aplicados al suelo que son absolutamente necesarios en los cultivos de cafetos al sol en los suelos de todo el mundo pero especialmente en aquellos de fertilidad media y baja. Esquivel (2014) menciona que la producción convencional disminuye la población de los microorganismos benéficos del suelo.

También Sieverding (1991) afirma que la aplicación de fungicidas y de

plaguicidas con fines fitosanitarios tiene efectos en las MVA, los cuales no son fácilmente predecibles debido a la complejidad de interacciones que se establecen en la comunidad de organismos del suelo.

Uribe et al. (1976) citado por Bolaños (2000) mencionan que el café en producción no responde a la fertilización fosfórica; podría pensarse que las endomicorrizas asociadas con las raíces de plantas de café, en gran parte contribuyen con la absorción de fósforo, agua y otros nutrientes del suelo.

La mayoría de productores cafetaleros están ligados a un mal manejo de prácticas agrícolas del cultivo, que deterioran el ambiente provocando el desequilibrio del agroecosistema, con la utilización de productos químicos y tóxicos que ponen en riesgo la salud de productores y consumidores del café.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos lugares; uno en campo y otro en laboratorio.

El muestreo de raíces y suelo de café se realizó en campo en el Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), en la localidad de Villa el Salvador (Zona cafetera con gran diversidad ecológica y geográfica), que pertenece al distrito de Kimbiri, provincia de La Convención, departamento Cusco, la que está sobre los 1,100 m.s.n.m entre las paralelas 12°34.227' latitud S y 73°74.479' longitud oeste.

El procesamiento de muestras de raíces y suelo de café se realizó en el Laboratorio de Agrobiología, de la Escuela de Formación Profesional de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicada en la Ciudad Universitaria a 2,750 m.s.n.m con coordenadas 13° 08' 50.92" latitud S y 74° 13' 09.84" longitud oeste.

2.2 CONDICIONES AMBIENTALES DEL LUGAR DE PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

La fisiografía de la selva alta donde se encuentra la localidad de Villa el Salvador (VRAEM) lugar del estudio, ecológicamente se clasifica como bosque montano sub tropical la que se encuentra sobre los 1,100 m.s.n.m. El clima es cálido y húmedo con temperaturas que varían desde 25°C a 32°C, la precipitación pluvial se encuentra entre 1,500 y 2,500 mm/año, la humedad relativa varía entre 70-85% y una luminosidad media. La pendiente de los suelos va de 0 a 100%, presentan características muy variables las que se reflejan de acuerdo al material madre que les dio origen en su mayoría son los inceptisoles. El nitrógeno generalmente es deficiente en la mayoría de los suelos cultivados. El P y el K también son deficientes en muchos suelos. La materia orgánica generalmente está presente en cantidades altas en la capa superficial de los suelos. La textura de suelo de la capa arable se encuentra entre franco y franco arcilloso. El pH de los suelos varía entre 4.5 y 7.8.

2.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS SUELOS

El análisis físico-químico del suelo fue realizado por el Laboratorio de Análisis de Suelo, plantas, aguas y fertilizantes, MULTISERVICIOS “AGROLAB” cuyos valores se muestran en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Análisis físico-químico de suelos en agroecosistema orgánico y convencional del cultivo de café. Kimbiri-Cusco 2013.

Determinación		Método	Valores		Interpretación	
			Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional
			Suelo orgánico	Suelo orgánico		
pH		Potenciómetro	5.09	4.1	Intensamente ácido	Muy fuertemente ácido
M.O (%)		Walkley y Black	12.22	11.54	Muy alto	Muy alto
C.E dS.m ⁻¹			0.34	0.52	Muy baja	Muy baja
N total (%)		Micro Kjeldahl	0.61	0.56	Alto	Alto
P disp. (ppm)		Olsen modificado	8.81	3.97	Bajo	Bajo
K disp. (ppm)		Morgan	365	212	Muy alto	Muy alto
CIC		Acet.NH4	16.7	19.17	Normal	Normal
CO ⁻ ₃		Gasometría	0	0		
Cationes intercambiables Cmol(+).Kg	Ca ⁺⁺	Acetato de Amonio	8.2	2.69	Normal	Bajo
	Mg ⁺⁺		1.49	0.63	Normal	Normal
	K ⁺		0.76	0.39	Alto	Normal
	Na ⁺		0.24	0.46	Normal	Normal
		Al ⁺³ +H ⁺	Yuan	1.3	5.7	Normal
% de sat. De Bases			89	42	Alto	Bajo

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes, MULTISERVICIOS "AGROLAB".

El suelo fue obtenido de los primeros 10 cm de profundidad (ver imagen 6), para el análisis de suelo del agroecosistema orgánico se combinaron las muestras de suelo obtenidos de los cuatro predios orgánicos para formar una muestra representativa; lo mismo se realizó para el agroecosistema convencional del cultivo de café.

Según el análisis de los suelos del agroecosistema orgánico y convencional del cultivo de café, se trata de suelos orgánicos muy ácidos con altos contenidos de nitrógeno total y potasio disponible, bajos en

fósforo disponible, buena característica de fertilidad de CIC, siendo estas las condiciones donde crece y se desarrolla el café.

Adicionalmente se realizó el análisis de la textura, el pH y el color del suelo realizado por el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar-UNSCH, de cada uno de los predios con agroecosistemas orgánico y convencional del cultivo de café cuyos resultados se muestran en los cuadros 2.2 y 2.3 respectivamente.

Cuadro 2.2. Análisis de textura, pH y color de suelo de los predios con agroecosistema orgánico del cultivo de café. Kimbiri-Cusco 2013.

Predios	Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	Color del suelo
Huerto del Edén	Franco Arenoso	5.25	5 YR 4/3: Castaño rojizo
Vista Alegre	Franco Arenoso	4.95	5 YR 4/4: Castaño rojizo
La Unión	Franco Arenoso	5.34	5 YR 4/6: Rojo amarillento
Villa Florida	Franco Arcilloso Arenoso	4.68	5 YR 4/3: Castaño rojizo

Fuente: Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar – PIPG, UNSCH 2013.

Cuadro 2.3 Análisis de textura, pH y color de suelo de los predios con agroecosistema convencional del cultivo de café. Kimbiri-Cusco 2013.

Predios	Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	Color del suelo
Selva de Oro	Franco Arenoso	4.28	7.5 YR 4/3: Castaño fuerte
Sarita Colonia	Franco Arcilloso	4.00	7.5 YR 4/3: Castaño fuerte
Limonchayocc	Franco Arcilloso	4.00	5 YR 4/3: Rojo amarillento
Santa Isabel	Franco Arenoso	4.54	5 YR 4/3: Castaño oscuro rojizo

Fuente: Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar – PIPG, UNSCH 2013.

En los Cuadros 2.2 y 2.3 se muestran la textura, pH y color de suelo de los predios estudiados en los agroecosistemas orgánico y convencional; como se muestra son de textura franco arenoso y franco arcilloso con pH muy fuertemente ácido, presentan color de suelo castaño fuerte, rojizo amarillento y castaño oscuro rojizo. Los suelos que presentan estos colores se caracterizan porque el agua puede circular sin problemas o demorar pero no se encharcan.

2.4 SELECCIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS ESTUDIADOS

En el presente trabajo se emplearon para el muestreo ocho predios con cultivo de café, cuatro con agroecosistema orgánico y cuatro con agroecosistema convencional cuyos propietarios son socios de la Cooperativa Agraria Cafetalera “Valle Río Apurímac” CACVRA. Los predios orgánicos y convencionales seleccionados presentan características similares en cuanto a la altitud, la variedad del café (Var. Caturra), estas bajo sombra permanente, además, para los predios orgánicos las que cuentan con certificación orgánica. La información sobre las características de cada uno de los predios fue brindada por los propietarios caficultores socios entrevistados previo y durante el muestreo.

2.4.1. Características de predios con agroecosistema orgánico

El manejo de los predios elegidos con agroecosistema orgánico (Ver imagen 1 y 2) del cultivo de café bajo sombra de la variedad Caturra

amarilla y roja se detallan en el cuadro 2.4, los cuales se caracterizan por el compromiso a cumplir responsablemente con las normas para la agricultura orgánica y sostenible, durante el ciclo productivo en la que se realizan diferentes prácticas agrícolas como el abonamiento, control de malezas, manejo de sombra, control plagas y enfermedades, manejo de coberturas y barreras, etc.

Cuadro 2.4. Características de predios con agroecosistema orgánico.

Caract.	Predios orgánicos del cultivo de café			
	Huerto del edén	Vista Alegre	La Unión	Villa Florida
Edad de planta (años)	7	10	6	6
Abonamiento/campaña	Compost (pulpa de café), estiércol, roca fosfórica, guano de isla.(5 sacos)	Compost (pulpa de café) (4 sacos)	Compost (pulpa de café) y guano de isla. (6 sacos)	Guano de isla. (4 sacos)
Arboles de sombra	<i>Guazuma crinita</i> (Bolaina), <i>Cedrus sp</i> (Cedro), con manejo adecuado	<i>Inga sp</i> (Pacay), <i>Citrus sp</i> (naranja, mandarina, limón), hay partes calvas.	<i>Guazuma crinita</i> (Bolaina), <i>Cedrus sp</i> (Cedro), <i>Inga sp</i> (Pacay), con manejo adecuado	<i>Pinus sp</i> (Pino), demasiada sombra
Manejo de cobertura y barreras	Cobertura muerta	Cobertura muerta, barrera viva y muerta	Cobertura muerta, barrera viva	Cobertura muerta y viva
Control de malezas	Deshierbe (macheteo).	Deshierbe (macheteo)	Deshierbe (macheteo)	Deshierbe (macheteo)
Control de plagas y enfermedad	Trampas caseras y recojo manual	No	Trampas caseras	No
Apariencia del café	Sanos y vigorosos, nódulos en raíces.	Presencia de cafetos elongados y defoliados	Plantas sanas y vigorosos	Sanos y vigorosos, nódulos en raíces.

Fuente: Entrevista a los propietarios caficultores de los predios estudiados Kimbiri-Cusco

– 2013

Sin embargo estas labores culturales son aplicadas de indistinta manera por el caficultor ya sean por costo, tiempo, dedicación y/o falta de capacitaciones que requiere el cultivo de café por campaña. “Mi café se encuentra descuidado la mano de obra es escasa, me dedico a otras actividades y las capacitaciones son escasas hago lo que puedo con la ayuda de mi familia” mencionó uno de los socios. La producción promedio es de 900 kg por hectárea.

2.4.2 Características de predios con agroecosistema convencional

El manejo que se realizan en cada uno de los predios de las que se colectaron las muestras de raíz y suelo se muestran en el Cuadro 2.5. Los predios con agroecosistema convencional (Ver imagen 3 y 4) del cultivo de café bajo sombra de la variedad Caturra amarilla y roja, se caracterizan por tener como objetivo obtener altos rendimientos sin tener en cuenta el daño que ocasionan al medio ambiente, las prácticas agrícolas que se hacen al cultivo como el abonamiento mayormente se utilizan productos químicos, el control de malezas, manejo de sombra, control plagas y enfermedades, manejo de coberturas y barreras, etc. Estos predios están siendo monitoreados por la Cooperativa con el propósito reducir el uso de productos químicos. La producción de café pergamino es de 900 a 1300 kg por hectárea aproximadamente.

Cuadro 2.5. Características de predios con agroecosistema convencional

Caract.	Predios convencionales del cultivo de café			
	Selva de oro	Sarita colonia	Limonchayocc	Santa Isabel
Edad de planta (años)	8	12	15	7
Abonamiento y aplicaciones/campaña	Urea y guano de isla. (5 sacos)	Urea y fosfato diamónico. (3 sacos)	Urea y fertilizantes foliares. (4 sacos)	Urea y compost (pulpa de café)(3 s)
Arboles de sombra	<i>Inga sp</i> (Pacay), <i>Manguijera indica</i> (Mango), <i>Cecropia sp</i> (Longos) manejo adecuado	<i>Inga sp</i> (Pacay), <i>Citrus sp</i> (Naranja y mandarina), <i>Butia capitata</i> (Palmeras) manejo inadecuado	<i>Inga sp</i> (Pacay), <i>Citrus sp</i> (Limón), <i>Ornosia Coccinea</i> (Huayruro)	<i>Inga sp</i> (Pacay), <i>Anona sp</i> (Guanábana), <i>Citrus sp</i> (Naranja, mandarina), <i>Urtica dioica</i> (Ortiga)
Manejo de coberturas y barreras	Cobertura muerta	Cobertura muerta	Cobertura muerta y barrera viva	No
Control de malezas	Químico y deshierbe manual	Químico (herbicida)	Deshierbe manual	Químico y deshierbe manual
Control de plagas y enfermedad	Químico insecticida	Químico insecticida	Químico insecticida	Trampas caseras
Apariencia del café	Cafetos sanos y vigorosos, poda selectiva	Cafetos elongados y defoleados	Sanos y vigorosos, poda de renovación	Algunos elongados

Fuente: Entrevista a los propietarios caficultores de los predios estudiados Kimbiri-Cusco - 2013

2.5 COLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de raíces y suelo de *C. arabica* (Café), se colectaron de los predios elegidos con agroecosistema orgánico y convencional durante la época lluviosa (mes de marzo) donde los cafetos se encontraban en la etapa final de llenado de grano e inicio de cosecha.

Para que las muestras sean representativas se colectaron al azar, según la técnica de Sieverding, se limpió las hojarascas alrededor del tallo que con ayuda de la cuchilla y pala de jardinería se tomaron las muestras de raíces y suelo de los primeros 10 cm de profundidad y con radio de 60 centímetros a partir de la base del tallo aproximadamente (ver imagen 5 y 6), se tomaron 10 muestras por predio de 500 g aproximadamente entre suelo y raíces, para formar una muestra se tomaron cinco submuestras (5 plantas de café), las muestras colectadas se colocaron en bolsas plásticas de polietileno debidamente etiquetadas (Ver imagen 7) para transportarlas al laboratorio y realizar el procesamiento respectivo. Se utilizó una parte del sustrato colectado para el análisis físico-químico de suelos cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2.1

2.6 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN

Para determinar el porcentaje de colonización por endomicorizas de las raíces del café de agroecosistema de producción orgánica y convencional se utilizó el método de Coloración de raíces y su observación al microscopio descrita por Phillips y Hayman (1970) modificado por Sieverding (1983) esta técnica requiere del clareo, acidificación y tinción de las raíces. Las muestras de suelo y raíces del café obtenidas en campo se conservaron a una temperatura de 4°C hasta su procesamiento.

Previo al procesamiento de las raíces de café se realizó lo siguiente:

2.6.1 Preparación de reactivos

El procesamiento de las raíces de café se emplearon los reactivos KOH, HCl al 10% y azul de tripano 0.05% y para la extracción de esporas se empleó solución sacarosa cuya preparación se realizó siguiendo la técnica descrita por Sieverding (1983) que consistió en:

➤ **Hidróxido de potasio KOH al 10% 500ml.**

Para esta preparación se utilizó 50 g de KOH y 450 ml de agua destilada.

➤ **Ácido clorhídrico HCl al 10% 500ml.**

Para su preparación se utilizó 135 ml de HCl y 365 ml de agua destilada.

➤ **Azul de tripano modificado al 0.05% 100 ml.**

Los componentes de este reactivo fueron:

- Glicerol 65 ml.
- Ácido láctico 83 ml.
- Coton blue al 0.05% y
- Agua destilada 40 ml.

➤ **Solución sacarosa 25 ml.**

Para su preparación se utilizó 11.6 g de azúcar y 25 ml de agua destilada.

2.6.2 Observación en estereoscopio

Se realizó la observación de las raíces de café en estereoscopio con el propósito de observar la presencia o ausencia de micelio y nódulos

producidos por nematodos (Ver en anexo imagen 8, 9 y tabla 6), para lo cual fueron lavadas muy ligeramente con agua de caño y colocadas en placa Petri.

2.6.3 Procesamiento de raíces: Clareo, acidificación y tinción

Para el procesamiento de raíces se utilizó la técnica propuesta por Phillips y Hayman (1970) modificado por Sieverding (1983).

Se lavaron las raíces de café con agua de caño las que se colocaron en tubos de ensayo al que se le añadió KOH al 10% hasta que las raíces queden completamente inundadas dejándolas por 2-4 días. Se procedió a calentar las raíces con KOH por 10 minutos a 70°C en baño maría, luego se decantó el KOH y se enjuaga la raíz con agua destilada, luego se aplicó el HCl al 10%, agitar para neutralizar el KOH y dejar por 30 minutos, se decanta el HCl y se lava con agua destilada una sola vez, se aplica azul de tripano al 0.05% y se dejan entre 2-3 días hasta que se tiñan las raíces; lograda la tinción se decanta el azul de tripano. (Ver imagen 10 y 11). Las raíces teñidas se colocan en placa Petri, con ayuda de la aguja de disección, pinza y tijera, se hizo un montaje de 10 segmentos de raíces de 2 cm de longitud cada uno, en portaobjeto con glicerol al 50% debidamente identificado y cubiertos con cubre objeto. (Ver imagen 12).

2.6.4 Evaluación del porcentaje de colonización por MVA

Para evaluar la colonización de los Hongos micorrícicos en raíces de café se empleó el microscopio con aumento de 400x, haciendo que el objetivo cruce los 10 segmentos de raíces 4 veces de ida y vuelta teniendo un total de 40 campos por lámina, se contaron los campos no colonizados (ausencia) y colonizados (presencia) las que pueden contener estructuras del hongo como: hifas, vesículas y/o arbuscúlos, así mismo de los campos colonizados por endomicorrizas se evaluó la cantidad de estructuras vegetativas (hifa, arbuscúlo, vesícula) para lo cual se estableció valores de 1 al 10, representando de 1 a 3 poco (+), de 4 a 6 regular (++) y de 7 a 10 abundante (+++). Los porcentajes se calcularon dividiendo el número de segmentos colonizados por las endomicorrizas (micelio, vesículas, arbuscúlos) sobre el total de los campos observados y este valor se multiplicó por 100, ecuación de Phillips y Hayman (1970).

$$\% \text{ colonización total} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de segmentos colonizados}}{\text{N}^{\circ} \text{ de segmentos totales}} \times 100$$

Los resultados obtenidos del porcentaje de colonización total de la observación microscópica de las raíces de café se muestran en las Tablas 1 y 2; imágenes 13 a y 13b del anexo, donde se observan raíces de café no colonizadas y colonizadas por endomicorrizas, asimismo, la cantidad de estructuras vegetativas se muestran en la Tabla 4 y se observan en las imágenes 14 a, 14b y 14 c del anexo.

2.7 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ESPORAS

Para determinar el número de esporas por gramo de suelo de los hongos formadores de MA en las muestras de suelo del cultivo de café se siguió el método de centrifugación en sacarosa descrita por Jenkins (1964) esta técnica permite una mejor separación de las esporas del suelo y del material orgánico, para facilitar el aislamiento y conteo.

2.7.1 Extracción de esporas

La extracción de esporas se realizó mediante el método de centrifugación en sacarosa descrita por Jenkins (1964) por lograr una buena separación de esporas del suelo y del material orgánico; para lo cual se colocó 50 g de suelo en un vaso de precipitado con 1000 ml de agua corriente, se agita mecánicamente por cinco minutos y se deja reposar por tres minutos, con la finalidad de separar partículas grandes, repetir la acción durante 30 minutos. Se pasa la suspensión por tamices de 250, 106 y 45 μm , se lava con abundante agua corriente repitiendo la acción dos veces. La fracción obtenida del tamiz de 45 μm se pasa a los tubos de centrifugación procurando que queden de la misma proporción, a esta se le añadió 2 ml de solución sacarosa, inmediatamente se centrifugó a 3000 r.p.m durante 2 minutos una vez cumplido el tiempo de centrifugación, el contenido de los tubos se vertió en el tamiz de 45 μm y se lavó con agua destilada para eliminar la sacarosa. El contenido se pasa a papel filtro para su conteo.

2.7.2 conteo de esporas

El conteo de esporas se realizó con ayuda del estereoscopio a un aumento de 60x, se consideraron las esporas con conexión de hifa. El resultado se reportó en número de esporas por gramo de suelo según la siguiente fórmula:

$$\text{Número de espora/g suelo} = \frac{\begin{matrix} \text{(N° de esporas contadas)} \\ \text{(50 g de suelo)} \end{matrix}}{50 \text{ g de suelo}}$$

La cantidad de esporas por predio en los agroecosistemas de producción orgánico y convencional se muestra en el anexo, Tabla N°3.

2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el Diseño Experimental Anidado con arreglo factorial 2x4x10 muestras, es decir, dos agroecosistemas (Orgánico y convencional), con cuatro predios por agroecosistema y 10 muestras por predio, presentando un total de 80 muestras. Las muestras, los predios y el agroecosistema se encuentran anidados entre ellos por mantener sus características; de cada uno de los predios con agroecosistemas se determinó el porcentaje de colonización micorrízica y el número de esporas/ g de suelo.

Leyenda:

- O = Agroecosistemas orgánico del cultivo de café
- C = Agroecosistema convencional del cultivo de café
- La OI, OII, OIII y OIV son los 4 predios con agroecosistema orgánico.

- CI, CII, CIII y CIV son los 4 predios con agroecosistema convencional.
- OI1, OI2,...OI10, son las 10 muestras representativas obtenidas en el predio OI.
- CI1, CI2,...CI10, son las 10 muestras representativas obtenidas en el predio CI.
- OI, OII, OIII, OIV predios orgánicos y 1,2,...,10 muestras anidado en O (agroecosistema orgánico).
- CI, CII, CIII, CIV predios convencionales y 1,2,...,10 muestras anidado en C (agroecosistema convencional).

Cuadro 2.6. Arreglo experimental del muestreo por predio y agroecosistemas. Kimbiri-Cusco 2013.

O				C			
OI	OII	OIII	OIV	CI	CII	CIII	CIV
OI1	OII1	OIII1	OIV1	CI1	CII1	CIII1	CIV1
OI2	OII2	OIII2	OIV2	CI2	CII2	CIII2	CIV2
OI3	OII3	OIII3	OIV3	CI3	CII3	CIII3	CIV3
OI4	OII4	OIII4	OIV4	CI4	CII4	CIII4	CIV4
OI5	OII5	OIII5	OIV5	CI5	CII5	CIII5	CIV5
OI6	OII6	OIII6	OIV6	CI6	CII6	CIII6	CIV6
OI7	OII7	OIII7	OIV7	CI7	CII7	CIII7	CIV7
OI8	OII8	OIII8	OIV8	CI8	CII8	CIII8	CIV8
OI9	OII9	OIII9	OIV9	CI9	CII9	CIII9	CIV9
OI10	OII10	OIII10	OIV10	CI10	CII10	CIII10	CIV10

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Del porcentaje de colonización por endomicorrizas en agroecosistema orgánico y convencional

El porcentaje de colonización por endomicorrizas en agroecosistema orgánico y convencional en promedio tiene 98.3% y 96% de colonización micorrízica en raíces del café. En los predios con agroecosistema de producción orgánica tuvo un rango de 96.25% a 99.35% de colonización, que como extremos corresponden a los predios La Unión y Villa Florida y en los predios con agroecosistema convencional varían entre 99% y 91.3% de colonización, que corresponde a los predios Selva de Oro y Sarita Colonia respectivamente. Considerando que el porcentaje de colonización, se reporta como el porcentaje de segmentos de raíces con presencia de estructuras vegetativas fúngicas: hifas, arbúsculos, vesículas inter e intracelularmente en las raíces teñidas del cultivo de café; como menciona Sieverding (1991).

Cuadro 3.1. Análisis de variancia del porcentaje de colonización en raíces de café (*Coffea arabica* L.) en agroecosistemas de producción orgánico y convencional. Ayacucho 2013.

F. Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Agroecosistemas	1	107.648	107.648	15.58	0.253 ns
Predios	6	404.488	67.414	9.76	<.0001 **
Error	72	497.456	6.909		
Total	79	1009.592			

C.V. = 2.70 %

En el análisis de variancia (Cuadro 3.1), se determinó que no existe diferencia estadística significativa entre los agroecosistemas de producción orgánica y convencional, lo cual indica que el agroecosistema de producción no ejerce influencia en el porcentaje de colonización. Pero si existe diferencia estadística altamente significativa entre predios de los agroecosistemas de producción orgánica y convencional para el porcentaje de colonización por endomicorrizas a las raíces del cultivo de café, lo cual indica que por lo menos un predio es diferente a los demás. Para saber cuál de ellos es diferente se aplicó la prueba de contraste de Duncan (0.05) cuyos resultados se muestra en el gráfico 3.1; donde se observan los promedios del porcentaje de colonización en cada uno de los predios con agroecosistemas de producción orgánica y convencional del café.

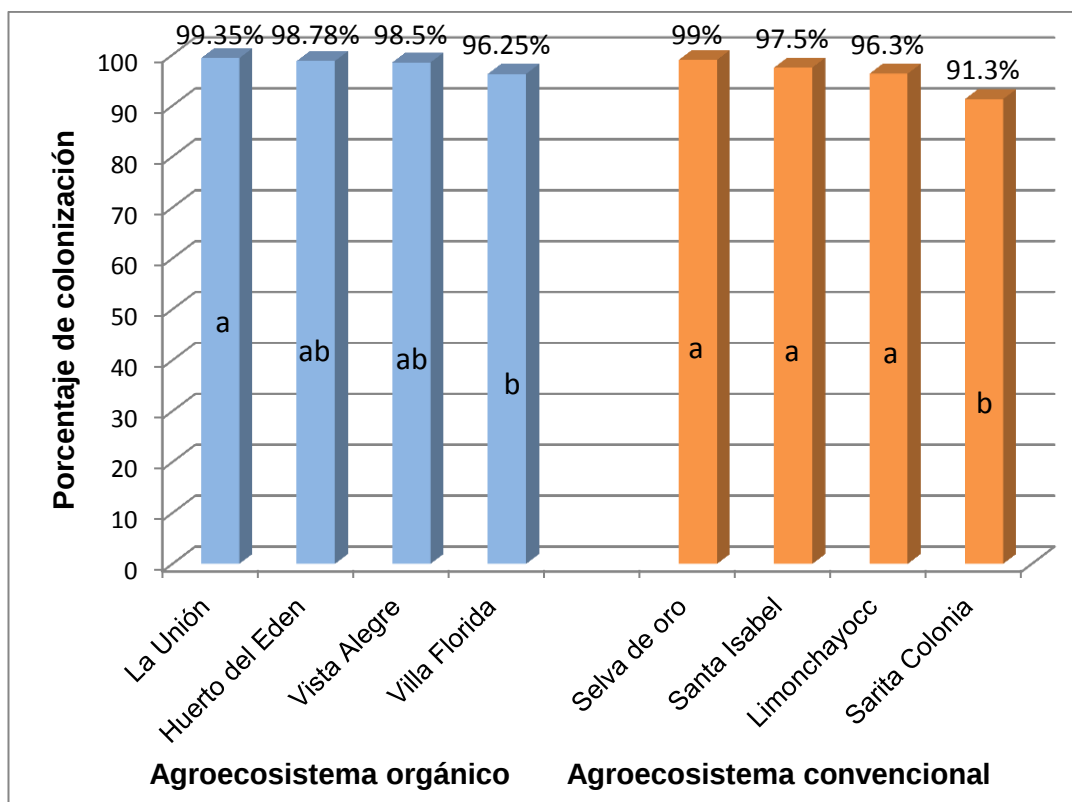


Gráfico 3.1. Prueba de Duncan (0.05) del porcentaje de colonización por endomicorrizas en predios con agroecosistemas de producción del cultivo de café. Ayacucho 2013.

Mediante la prueba de Duncan (Gráfico 3.1) se determinó los promedios del porcentaje de colonización en cada uno de los predios con agroecosistema orgánico y convencional del cultivo de café.

En el agroecosistema orgánico el predio La Unión registró el mayor porcentaje de colonización con un promedio de 99.35%, superando significativamente al predio Villa Florida que presentó 96.25% de colonización, del mismo modo, se puede apreciar un porcentaje de colonización medio en los predios Huerto del Edén y Vista Alegre con 98.78% y 98.5% de colonización micorrízica respectivamente. Estos resultados nos hacen pensar que la edad, las labores culturales (Cuadro

2.4) realizadas y características de suelo (Cuadro 2.2) que presenta el predio La Unión fueron las que determinaron el mayor porcentaje de colonización micorrízica.

En el agroecosistema convencional el mayor porcentaje de colonización se registró en el predio Selva de oro con 99%, sin diferenciarse estadísticamente de los predios Santa Isabel y Limonchayocc, cuyos porcentajes de colonización fueron 97.5% y 96.3% respectivamente, superando ampliamente al predio Sarita Colonia que presentó 91.3% de colonización.

Cuyos resultados determinan que las características de suelo (Cuadro 2.3) y las labores culturales (Cuadro 2.5) realizados en los predios Selva de Oro, Santa Isabel y Limonchayocc no son factores determinantes para el porcentaje de colonización encontrados en cada uno de ellos que solo muestran diferencias numéricas.

Estos resultados demuestran que los agroecosistemas de producción orgánica y convencional presentan altos porcentajes de colonización superiores a los 90%, estos resultados concuerdan con otras investigaciones.

Sieverding (1991), Da costa (1995) y Esquivel (2014) afirman que la producción orgánica incrementa la población de los microorganismos del suelo y la producción convencional la disminuye por el uso de agroquímicos.

Según el análisis de suelo de los agroecosistemas orgánico y convencional presentan altos contenidos de materia orgánica (12 y 11%), bajos contenidos de fósforo disponible (8 y 4 ppm).

En Colombia Bolaños, et al. (2000) encontraron en promedio 92% de colonización micorrízica en raíces de café en suelo con abundante materia orgánica (14%) y 11 ppm de fosforo colectados en la etapa fisiológica de inicio de fructificación. Etapa fisiológica que presentaba las plantas de café al momento de la colección de muestras.

También Cuenca et al. (1983) citado por Duicela et al. (2003) observó en raíces de café una fuerte colonización micorrízica, donde predominaba abundante capa de materia orgánica.

Altos niveles de materia orgánica están relacionados con un buen desarrollo y sobrevivencia de las micorrizas Sieverding (1991). A mayor cantidad de materia orgánica el suelo presenta mejor estructura, mejor aireación para cubrir las necesidades de oxígeno que tienen los microorganismos como las endomicorrizas García (2000). Se puede afirmar que existe una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica con el porcentaje de colonización ya que se puede notar los resultados obtenidos.

Según el análisis de suelos (Cuadro 2.1) de los agroecosistemas orgánico y convencional del cultivo de café, muestran que los suelos presentan condiciones de alta disponibilidad de nutrientes para el cultivo, Rivera et al. (2000) citado por Prieto et al. (2012) señalan que aunque muchos autores afirmen que las condiciones de alta disponibilidad de nutrientes

inhiben la micorrización, existen especies adaptadas a mayores requerimientos de nutrientes y por lo tanto la simbiosis micorrízica no se ve restringida solo a condiciones de suelos pobres e inclusive la simbiosis necesita de un óptimo de suministro de nutrientes. Cuya afirmación sugiere que los HVA presentes en los agroecosistemas estudiados en el tiempo han venido adaptándose, por esa razón se encontraron altos niveles con respecto al porcentaje de colonización.

Sieverding (1991) indica que el café es una planta que presenta una alta dependencia micorrízica y de forma natural desarrolla la simbiosis con los hongos MVA, lo cual representa un potencial natural en su nutrición, por lo tanto deben considerarse como habitantes naturales de los ecosistemas cafetaleros. En el presente estudio se confirmó lo expuesto por el referido autor.

En el agroecosistema orgánico el predio La Unión obtuvo el mayor porcentaje de colonización (99.35%), cuya edad del café es de 6 años abonados con roca fosfórica y guano de isla, presenta 5.34 de pH, para el control de malezas emplea el machete, el café está asociada con árboles maderables a una densidad adecuada y manejadas, la que regula la entrada de luz. García (2000), cita a Sylvia (1994) y Bagyaraj (1992) indican que la luz y la irradiación son factores fundamentales en la colonización de las raíces de las plantas. Se sabe que las plantas requieren de la luz para realizar la fotosíntesis donde elaboran fotosintatos requeridos por los hongos, así mismo, la sombra reduce notablemente la respuesta de las

plantas a la simbiosis micorrízica y en consecuencia afecta la colonización micorrízica.

García (2000) cita a Azcón y Ocampo (1981) quienes indican que la edad y en particular el potencial fotosintético de la planta hospedera influye en la cantidad de colonización, debido a que las características morfológicas y extensión linear del sistema radicular juegan un papel fundamental en la relación raíz-hongo, a medida que las plantas presentan mayor edad disminuye la colonización micorrízica.

García (2000) afirma que el pH del suelo por sí solo no es un factor que afecte de manera crítica el proceso de colonización, los HMA son capaces de adaptarse a condiciones de pH ácidos. Sin embargo, se considera que la mayoría de los HMA requieren de un pH entre 4.5 a 6 para su mejor desarrollo.

En el agroecosistema convencional el predio Selva de Oro obtuvo el mayor porcentaje de colonización (99%), cuya edad del café es de 8 años fertilizados con urea, presenta 4.28 de pH, para el control de malezas emplea herbicida y el macheteo, el café con sombra de leguminosas arbustivas en mayor proporción, frutales y árboles de la zona una densidad adecuada y manejadas la que regula la entrada de luz. Al igual que para el agroecosistema orgánico se pudo asociar con las características físicas y químicas del suelo; además la edad, la asociación vegetal y fundamentalmente la fertilización que se realiza una vez por año en dosis pequeñas acompañados con compost, influyeron en la colonización micorrízica, siendo superior a los predios Santa Isabel

(97.5%) y Limonchayocc (96.3%) que también los cafés presentan edades de 7 y 15 años esta renovado hace 5 años asociadas a frutales y árboles de la zona mal distribuidas encontrándose partes calvas, para el control de malezas emplean herbicidas y la fertilización se realiza 2 veces por año con pH de 4.54 y 4.

Los HMA son capaces de adaptarse a las condiciones de pH ácidos. Caldeira et al. (1983) citado por Cameron (2010) detectaron la presencia de micorrizas arbusculares en café, en tres localidades con suelos con pH entre 4.5 y 5.9, donde los hongos presentes fueron *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora*.

En relación a otras investigaciones en otras especies vegetales para el porcentaje de colonización, Solano et al. (2013) registró la presencia de las micorrizas vesículo arbuscular en la tara estudiados en dos sistemas macizo y agroforestal en dos épocas lluviosa y seca, donde en el sistema macizo en la época lluviosa el porcentaje de colonización fluctuó entre 63.3 y 98%. Así mismo, Esquivel (2014) encontró en los agroecosistemas con manejo ecológico y convencional porcentajes de colonización superiores a 90%.

3.2 Del número de esporas por gramo de suelo

El número de esporas por gramo de suelo en agroecosistemas orgánico y convencional en promedio se obtuvo 54 y 17 esporas en suelos del cultivo de café. En los predios con agroecosistema orgánico oscilaron de 34 a 74 esporas que pertenecen a los predios La Unión y Vista Alegre, en los

predios con agroecosistema convencional varían entre 12 a 26 esporas por gramo de suelo en el cultivo de café, que corresponde a los predios Selva de oro y Sarita Colonia respectivamente.

El número de esporas encontradas en los suelos del cultivo de café nos permitió realizar el análisis de variancia y conocer si existe diferencia estadística del número de esporas por gramo de suelo en el agroecosistema con manejo orgánico y convencional del cultivo de café.

Cuadro 3.2. Análisis de variancia del número de esporas por gramo de suelo en agroecosistema de producción orgánico y convencional del cultivo de café. Ayacucho 2013.

F. Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Agroecosistemas	1	266.45	266.45	14.42	0.009 **
Predios	6	110.90	18.48	73.12	<.0001 **
Error	72	18.20	0.25		
Total	79	395.55			

C.V. = 13.98%

El análisis de variancia (Cuadro 3.2) nos muestra que existe diferencia altamente significativa entre los agroecosistemas de producción orgánico y convencional del cultivo de café, donde el número de esporas por gramo de suelo varía según el agroecosistema de producción, así mismo se observa la diferencia altamente significativa entre los predios con agroecosistema de producción orgánica y convencional del cultivo de café, lo que significa que los factores en estudio presentan valores diferentes. Se aplicó la prueba de Duncan (0.05) cuyos resultados se muestran en los gráficos 3.2 y 3.3 donde se observan los promedios del

número de esporas por gramo de suelo obtenidos en los agroecosistemas de producción y los promedios en cada uno de los predios del cultivo de café.

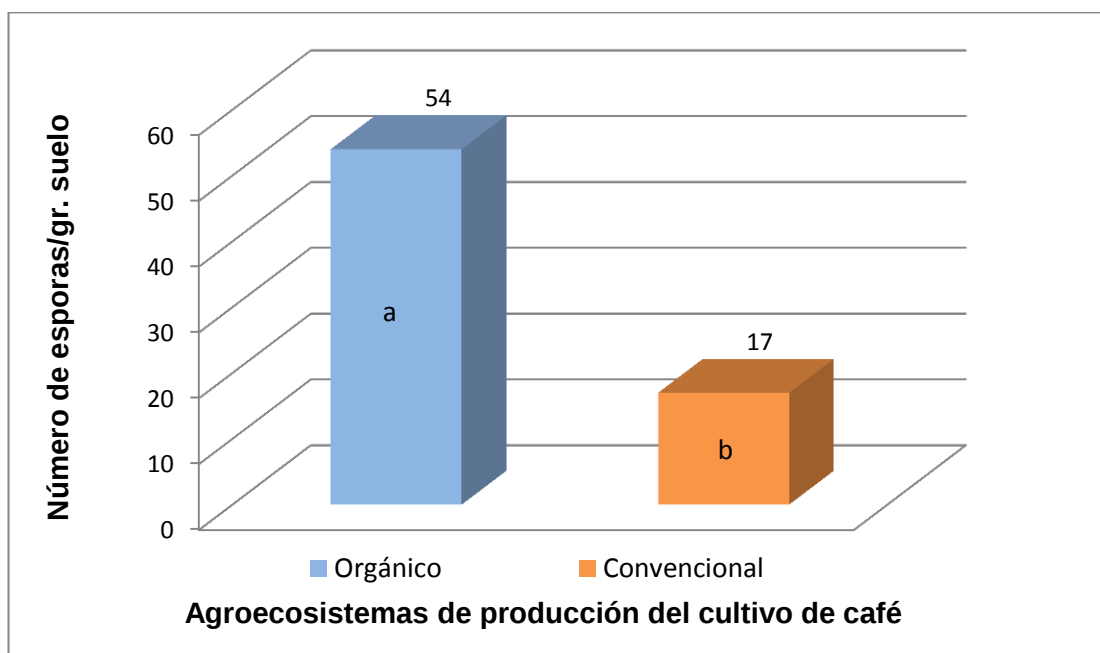


Gráfico 3.2. Prueba de Duncan (0.05) del número de esporas/ g suelo en agroecosistemas de producción orgánica y convencional del cultivo de café. Ayacucho 2013.

Mediante la prueba de Duncan (Gráfico 3.2) se determinó que en el agroecosistema orgánico del cultivo de café se encuentra el mayor número de esporas por gramo de suelo con un promedio de 54 esporas superando significativamente al agroecosistema convencional que presenta tan solo 17 esporas en promedio. Altieri (2000) indica que los agroecosistemas son sistemas de producción con intervención del hombre, donde los manejos se hacen de acuerdo a lo que se quiere producir ya sea orgánico o convencional.

Dentro de los predios con agroecosistema convencional recibieron dosis de fertilización y aplicación de agroquímicos, ocasionando reducción en la cantidad del número de esporas del suelo. Por el contrario, en los agroecosistemas orgánicos el ecosistema edáfico se encontró menos perturbado constituyendo un ambiente más adecuado para el desarrollo de los HMA.

En relación a otras investigaciones en el número de esporas por gramo de suelo en agroecosistema orgánico en cultivo de café, Cuervo et al. (2007) encontraron un promedio de 58 y 54 esporas por gramo de suelo del género *Glomus* en especies forestales *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea* respectivamente.

En agroecosistema convencional Prieto et al. (2000) reportó un promedio de 20 esporas por cada gramo de suelo en suelos de la zona cafetera colombiana en los sistemas agroforestal. También Guambi (2003) encontró 15 esporas por cada gramo de suelo en paisajes fragmentados de la amazonía colombiana.

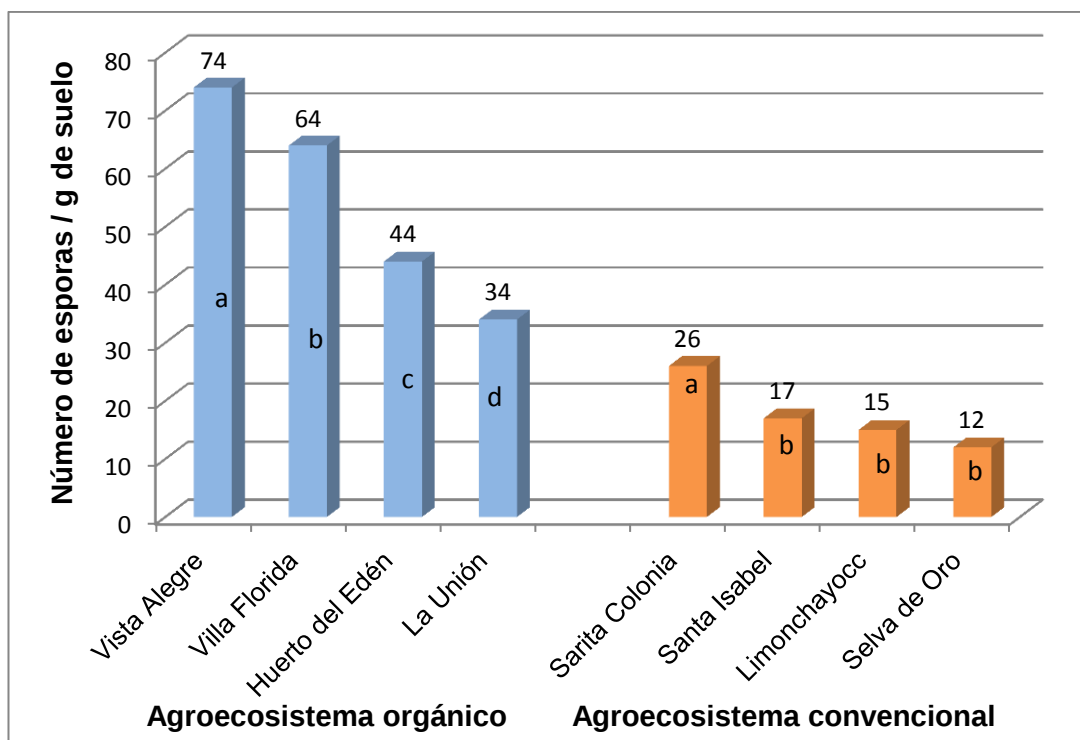


Gráfico 3.3. Prueba de Duncan (0.05) del número de esporas/ g suelo en predios con agroecosistemas de producción del cultivo de café. Ayacucho 2013.

Mediante la prueba de Duncan (Gráfico 3.3) se determinó los promedios del número de esporas por gramo de suelo en cada uno de los predios con agroecosistema orgánico y convencional del cultivo de café.

En el agroecosistema orgánico observamos que en el predio Vista Alegre se encontró el mayor número de esporas por gramo de suelo con un promedio de 74 esporas, diferenciándose significativamente del resto de los predios Villa Florida, Huerto del Edén y La Unión que presentaron 64, 44 y 34 esporas en promedio respectivamente. El predio Vista Alegre con mayor número de esporas por gramo de suelo cuenta con características de suelo franco arenoso de color castaño rojizo con 4.95 de pH, para abonar se emplea el compost elaborado de pulpa de café, edad del cafeto

es de 10 años asociados con frutales. El factor edad del café influyo en el número de esporas

García (2000) cita a Azcón y Ocampo (1981) indica que la edad de la planta hospedera influye en la cantidad de producción de esporas, debido a que la extensión lineal del sistema radicular disminuye por la edad de la planta. Presentando una relación a mayor edad de la planta mayor número de esporas.

En el agroecosistema convencional se determinó que el predio Sarita Colonia registra el número de esporas más alto por gramo de suelo, con un promedio de 26 esporas superando significativamente al resto de los predios evaluados que son: Santa Isabel, Limonchayocc y el predio Selva de Oro sin diferenciarse estadísticamente en el número de esporas por gramo de suelo. En el predio Sarita Colonia los cafetos son de 10 años asociados a frutales y arboles maderables, las prácticas agronómicas se realizan eventualmente. El factor edad y el microclima que se da en el predio por los árboles de sombra bien distribuidos y manejados influyeron en el número de esporas.

En los cuadros 2.4 y 2.5 se muestran los manejos que se hacen en los predios Vista Alegre y Sarita Colonia con agroecosistema orgánico y convencional respectivamente, son las que presentaron mayor número de esporas frente a los demás con 74 y 26 esporas por gramo de suelo, donde el clima de la zona de estudio es para todos los predios de los agroecosistemas estudiados, García (2000) menciona que los factores climáticos son determinantes en el desarrollo y eficiencia de la

endomycorriza, sin embargo, cada uno de los predios estudiados presentan microclimas que son propias por la influencia de las asociaciones vegetativas, variedad, edad, etc. que presenta cada predio. Encontrándose una correlación entre el porcentaje de colonización 98.5% con el número de esporas 74, lo cual indica que una alta colonización está relacionada con un alto número de esporas. Esta relación no se observa en el agroecosistema convencional siendo el porcentaje de colonización de 91.3% y el número de esporas 26 frente al resto de los predios convencionales.

En todos los predios muestreados el género de hongo micorrízico arbuscular encontrado fue *Glomus* (Ver imagen 15).

Trejo (2001), afirma que el género *Glomus sp* es el más abundante y con mayor número de especies que se pueden encontrar en los ecosistemas, Jackson et al. (1984) citado por García (2000), encontró que la temperatura óptima para la germinación de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* es alrededor de los 20°C a 25°C, temperaturas presentes del área de muestreo.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Esquivel (2014) que al estudiar los agroecosistemas con manejo ecológico y convencional del cultivo de papa encontró mayor número de esporas del género *Glomus*. Además Cuervo et al. (2007) menciona que el género más abundante de hongos MVA encontrado en las muestras de suelo de las especies forestales *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora* fue *Glomus spp*.

3.3 De la cantidad de estructuras vegetativas (hifa, arbúsculo y/o vesícula)

En las observaciones microscópicas en los segmentos de las raíces del café para obtener el porcentaje de colonización además se tomó en cuenta la cantidad de estructuras vegetativas (hifa, arbúsculo y/o vesícula) presentes en cada campo observado en los segmentos de la raíz del café colonizada por endomicorrizas, evaluadas de los diferentes predios con agroecosistema de producción orgánica y convencional.

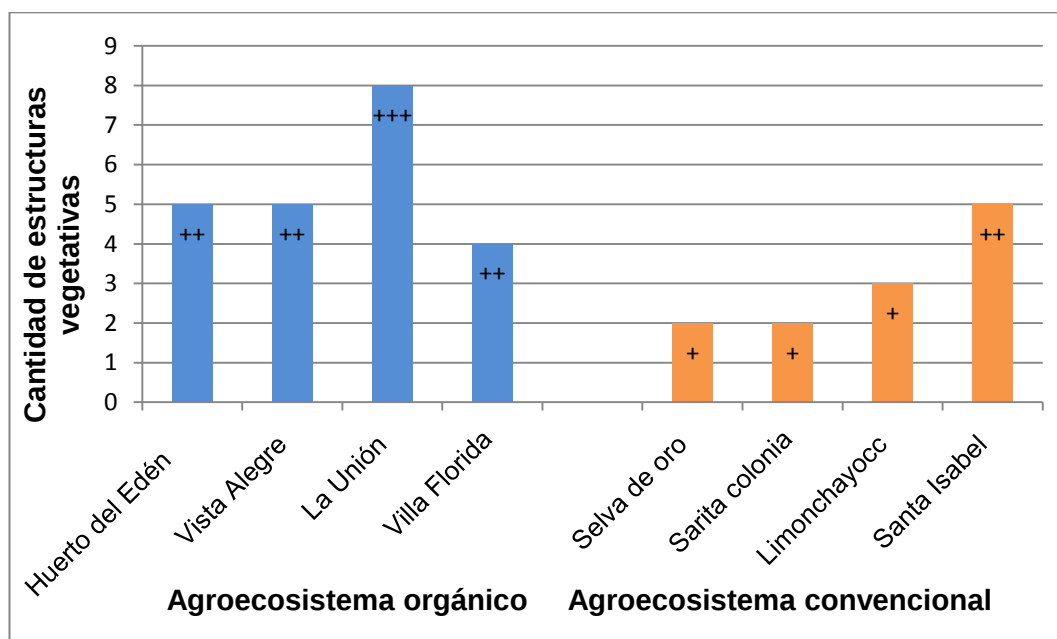


Gráfico 3.4. Cantidad de estructuras vegetativas (Hifas) de endomicorrizas en raíces de café en predios con agroecosistemas de producción orgánico y convencional. Ayacucho 2013.

El gráfico 3.4, muestra la cantidad de estructuras vegetativas presentes en las raíces del café en cada uno de los predios de los agroecosistemas orgánico y convencional del cultivo de café.

En el agroecosistema orgánico, el predio La Unión tiene abundante (+++) y los predios Huerto del Edén, Vista Alegre y Villa Florida presentan regular (++) cantidad de estructuras vegetativas (hifas). La cantidad de estructuras vegetativas regular (++) y abundante (+++) se pueden observar en las imágenes 14b y 14c del anexo respectivamente.

En el agroecosistema convencional, el predio Santa Isabel presenta regular (++) y los predios Selva de Oro, Sarita Colonia y Limonchayocc registraron poca (+) cantidad de estructuras vegetativas (hifas) presentes en las raíces del café. La cantidad de estructuras vegetativas poco (+) y regular (++) se pueden observar en anexo las imágenes 14a y 14b respectivamente.

Según los resultados, en el agroecosistema orgánico el predio La Unión fue el que presentó abundante (+++) contenido de estructuras vegetativas (hifas) así como el porcentaje de colonización y en el agroecosistema convencional el predio Santa Isabel fue el que presentó regular (++) cantidad de estructuras vegetativas (hifas), las características que presenta es de un suelo franco arenoso de color castaño oscuro rojizo, pH de 4.54 (Cuadro 2.3), la variedad del café caturra amarilla y roja de 7 años sin abonamiento, el cultivo de café está asociada con árboles frutales para el deshierbe utiliza herbicida y a veces el macheteo, algunas plantas de café se observaron elongadas y defoliadas (Cuadro 2.5), estos resultados induce a pensar que las características de los predios favorecen en el establecimiento y desarrollo del hongo frente al resto de los predios lo cual coincide con lo mencionado por Castillo et al. (2008)

quienes afirman que algunos hongos del género *Glomus* puede colonizar de manera más efectiva y beneficiar en mayor grado a un hospedero además de adaptarse mejor a las condiciones edáficas del suelo. Por otro lado Sieverding (1991) menciona que se ha observado que el máximo desarrollo de la colonización micorrízica ocurre en la etapa de transición de la fase vegetativa y la fase reproductiva de la planta.

El contenido de fósforo en el suelo es un indicador importante (Sieverding 1991), según el análisis de suelo el contenido de fósforo es bajo (Cuadro 2.1), lo cual coincide con lo reportado por Sieverding (1983) quien establece que la colonización es escasa y hasta inexistente cuando el suelo es rico en nutrientes principalmente el fósforo; sin embargo el nitrógeno y el potasio son muy altos, niveles que indujeron a la poca (+) cantidad de estructuras vegetativas.

En el agroecosistema convencional los predios Selva de Oro, Sarita Colonia y Limonchayocc, presentan cafetos planta hospedera de 8, 10 y 12 años (Cuadro 2.5), característica por la que se encontraron poca (+) cantidad de estructuras vegetativas (hifas) en las raíces del café. Estos resultados coincide con Martínez (1986) citado por Lovato (2014) quien encontró una tendencia decreciente a la colonización de las raíces, a medida que las plantas presentan mayor edad. Además, Sieverding (1991) menciona que el bajo número de estructuras vegetativas de endomicorizas se debe a la falta de agua en el suelo, como resultado una menor capacidad de la planta para asimilar nutrientes y llevar acabo la fotosíntesis, lo que provoca un decremento en el aporte de fotosintatos

necesarios para la endomicorriza. La textura de los suelos (Cuadro 2.2 y 2.3) del agroecosistema orgánico y convencional es franco arenoso, suelen perder agua fácilmente. También Rivera et al. (2000) citado por Rodríguez et al. (2004) mencionan que la eficiencia de la simbiosis se ve afectado por los diversos factores físicos, químicos y biológicos presentes en los ecosistema que conlleva a una disminución de las estructuras fúngicas reduciendo los beneficios expresándose en el crecimiento y vigor de las plantas.

En el anexo la Tabla 5 muestra un resumen de los resultados del porcentaje de colonización, número de esporas y cantidad de estructuras vegetativas en cada uno de los predios estudiados por agroecosistema. Bajo las condiciones del agroecosistema orgánico el predio La unión fue el que presentó el mayor porcentaje de colonización de 99.35% (ver gráfico 3.1), 34 esporas por gramo de suelo (Gráfico 3.3) y abundante (+++) cantidad de estructuras vegetativas (hifas) (Gráfico 3.4), esto nos indica que existe una correlación entre el porcentaje de colonización y la cantidad de estructuras vegetativas que a mayor porcentaje de colonización mayor cantidad de estructuras vegetativas presentes en las raíces del café mas no así con el número de esporas cuyo resultado coincide con Bolaños et al. (2000) quienes mencionan que pueden existir factores desconocidos en los agroecosistemas como la toxicidad de aluminio, que suprime o limitan la esporulación de estos hongos, más no la colonización.

Bajo las condiciones del agroecosistema convencional el predio Selva de Oro fue el que presentó el mayor porcentaje de colonización de 99% (Gráfico 3.1), con 12 esporas por gramo de suelo y poca (+) cantidad de estructuras vegetativas (hifas) esto nos indica que no existe una correlación entre el porcentaje de colonización y la cantidad de estructuras vegetativas ni con el número de esporas presentes en las raíces del café, lo cual indica que un alto porcentaje de colonización no está siempre relacionada con un alto número de esporas. Miranda (2003) citado por Cuervo et al. (2007) mencionan que el número de esporas en el suelo y el porcentaje de colonización de la raíz puede ser considerado como un indicativo del establecimiento de los hongos en el suelo, más que un indicativo de la efectividad en el crecimiento de las plantas.

Así mismo según el análisis de suelo el agroecosistema orgánico y convencional muestran un alto contenido de materia orgánica (Cuadro 2.1). Altos contenidos de materia orgánica están relacionados con un buen desarrollo y sobrevivencia de la micorriza, lo cual ha sido confirmado por diversos autores. También Sieverding (1991) afirma que a mayor cantidad de materia orgánica hay una mejor estructura del suelo, por tanto una mejor aireación, lo cual va ligado a las necesidades de oxígeno que tienen los hongos como afirma García (2000).

Así mismo Rivera et al. (2000) citado por Cuervo et al. (2007) mencionan que la eficiencia de la simbiosis se ve afectada cuando el suministro de nutrientes es inferior al óptimo para las plantas micorrizadas no conllevando solo un menor efecto agrobiológico expresado en el

crecimiento y vigor de las plantas, sino a una disminución de las estructuras fúngicas indicativas de una simbiosis eficiente reduciendo los beneficios.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos permiten las siguientes conclusiones y recomendaciones.

4.1 CONCLUSIONES

1. Los mayores porcentajes de colonización por endomicorizas se encontraron en el predio “La Unión” (99.35%) con producción orgánica y en los predios “Selva de Oro” (99%), “Santa Isabel” (97.5%) y “Limonchayocc” (96.3%) con producción convencional del cultivo de café.
2. Los mayores números de esporas por gramo de suelo se encontraron en el predio “Vista Alegre” (74 esporas/g de suelo) con producción orgánica, así mismo en el predio “Sarita Colonia” (26 esporas/g de suelo) con producción convencional los que son superiores significativamente al resto de los predios estudiados.

3. No se encontró diferencia significativa en el porcentaje de colonización por endomicorrizas en los agroecosistemas de producción orgánica y convencional. Mientras que en el número de esporas por gramo de suelo, el agroecosistema con producción orgánica es superior significativamente al agroecosistema con producción convencional.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda profundizar el estudio de Hongos micorrícicos arbusculares en los agroecosistemas de producción orgánica y convencional en el cultivo de café.
2. En trabajos posteriores realizar el análisis físico-químico de suelo de cada uno de los predios muestreados.
3. Identificar la diversidad de especies de Hongos micorrícicos arbusculares en el cultivo de café del VRAEM.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de: Determinar el porcentaje de colonización y el número de esporas en agroecosistemas de producción orgánico y convencional del cultivo de café (*Coffea arabica*). Se colectaron muestras de raíces y suelo en época lluviosa de cuatro predios de agroecosistema orgánico (Huerto del Edén, Vista Alegre, La Unión y Villa Florida) y de cuatro predios de agroecosistema convencional (Selva de Oro, Sarita Colonia, Limonchayocc y Santa Isabel); ubicados en la localidad de Villa el Salvador Kimbiri-Cusco. Se procesaron las raíces empleando el método de clareo, acidificación y tinción, así mismo el suelo utilizando el método de centrifugación en sacarosa. Se evaluó el porcentaje de colonización micorrízica existente en *Coffea arabica*, donde el mayor porcentaje de colonización en agroecosistema orgánico se encontró en las muestras recolectadas del predio “La Unión” con abundante micelio; así mismo, en el agroecosistema convencional en los predios “Selva de Oro”, “Limonchayocc” y “Santa Isabel”. Con respecto al número de esporas por gramo de suelo los agroecosistemas estudiados presentaron diferencia estadística, encontrándose mayor número de esporas en el agroecosistema orgánico en el predio “Vista Alegre” (74 esporas/g de suelo) y en el agroecosistema convencional el predio “Sarita colonia” (26 esporas/g de suelo).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altieri, M. y Nicholls, C. (2000). Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. 1ra Ed. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Accesado el 15/03/15 Disponible en: [http://www.agro.unc.edu.ar/AGROECOLOGIA2\[1\].pdf](http://www.agro.unc.edu.ar/AGROECOLOGIA2[1].pdf).
2. Arco, D. (1999). Ocurrencia y distribución de la micorriza arbuscular en agroecosistemas de la Amazonia Colombiana. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Resúmenes. Pucon, Chile.
3. Aquino, Y. y Loli, F. (2011). Fertilización y pos cosecha de café. Guía técnica. UNALM. Oficina Académica de Extensión y Proyección Social. Accesado el 21/04/15 Disponible en: http://www.agrobanco.com.pe/CapacitacionesProductores/Cafe/fertilizacion_y_post_cosecha_de_cafe.pdf
4. Bolaños, B., Rivillas, C. y Suárez, V. (2000). Identificación de micorrizas arbusculares en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé 51(4).
5. Brown, M. y King, E. (1982). Morphology and histology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. A. Anatomy and cytology. En methods and principles of micorrhizal research. USA, the American Phytopathological Society.
6. CACVRA (2011). Reglamento interno para la producción orgánica de cacao y café. Aprobado y actualizado por el comité de producciones sostenible. San Francisco-Ayacucho.

7. Clapp, J., Helgason, T. y Young, J. (2002). Genetic studies of the structure and diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities. 157 MGA van der Heijden. I Sanders eds, Mycorrhizal ecology.
8. Camargo-Ricalde, S. (2009). Micorrizas. COSMOS, Enciclopedia de las Ciencias y la Tecnología en México. Tomo Ciencias Biológicas. CONACYT, UAM y IC y TDF. México.
9. Castañeda, E. (2000). El ABC del café cultivo de calidad. Edición Tecnatrop Lima-Perú.
10. Castillo, C., Aztroza, F., Borie, R. y Rubio, P. (2008). Efecto de cultivos hospederos sobre propágulos micorrizicos arbusculares. R.C. Suelo Nutrición Vegetal.
11. CERTIMEX. (1998). Normas para la producción y procesamiento de productos ecológico. Certificadora mexicana de productos y procesos ecológicos. Oaxaca. Universidad Autónoma de Chapingo.
12. Cuervo, A., Jairo, L., Rivas, P. y Gonzalo, G. (2007). Cuantificación de hongos micorrícicos en muestras de suelo en plantaciones de *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Docente investigador Universidad Nacional de Colombia
13. Da Costa, M. (1995). Abonos verdes: Una práctica indispensable en los Sistemas Agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales. Simposio de Agricultura Orgánica, San José.
14. Duicela, G., Corral, C., Reyes, P. y Farfán, T. (2003). Identificación de micorrizas asociadas a la rizósfera del café arábigo y propagación

artesanal. Proyecto: Desarrollo de tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. Colombia.

15. Escola, M. (2002). Interacción de plantas de café fertilizadas con fósforo e inoculadas con hongos micorrícicos arbusculares y *Phoma costarricensis* Echandi. Tacoma-México. Universidad Colima. Maestría en ciencias: Área biotecnología.
16. Esquivel, R. y Tumbalobos, J. (2014). Evaluación de la biodiversidad de Hongos Endomicorrizógenos en dos agroecosistemas en Vinchos-Ayacucho 2013-Perú. VIII Congreso Latinoamericano de Micología. Ca 8.5. Medellín-Colombia.
17. Fournier, L. (1980). Fundamentos tecnológicos del cultivo de café. II CAPROMECAFE, San José.
18. Fonseca, C. (2014) Micorriza arbuscular en la recuperación de áreas degradadas. VIII Congreso Latinoamericano de Micología. Po 9.2. Medellín-Colombia.
19. Flores, M. (2011). Origen del Café. Editorial Limé Rin. S.A, Primera Edición Bogotá-Colombia.
20. García, J. (2000). Valoración de la combinación sustrato-hospedero en la propagación de dos especies de hongos micorrizógenos arbusculares. Xocoyucán, Tlaxcala-México.
21. Guadarrama, Ch., Sánchez, G., Álvarez, S. y Ramos, Z. (2004). Hongos y plantas: beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *Ciencias*.

22. Guambi, D., Palma, R. y Martínez, S. (2003). Identificación de micorrizas asociadas a la rizósfera del café arábico, Colombia.
23. Hernández, M. (2000). Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Tesis de Maestría.
24. López, E., Oliveira, G. y Díaz, R. (1983). Ocurrencia y distribución de hongos Micorrízicos vesículo-Arbusculares en las plantaciones de café en el centro de Sao Paulo. Brasil. Turrialba.
25. Lovato, P. (2014). Micorriza Arbuscular en agroecosistemas. VIII. Congreso Latinoamericano de Micología. Medellín-Colombia.
26. Lozano, S. (2014). Composición De hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura del suelo. Ca 8.1. VIII. Congreso Latinoamericano de Micología. Medellín-Colombia.
27. Marín, C. (2012). Manual Técnico: Producción de café especiales. Programa Selva Central DESCO. Perú. Accesado el 18/05/15. Disponible en: [http://www.agrobanco.com.pe/publicacionagroinforma/cultivo del café](http://www.agrobanco.com.pe/publicacionagroinforma/cultivo-del-cafe).
28. MINAGRI. (2015). Gestión 25 años: Diario de economía y negocios del Perú. Publicado 12/03/15. Lima-Perú. Accesado el 28/10/15. Disponible en: [http://gestion.pe/economia/minagri-peru-segundo-productor-y-exportador-mundial-café-orgánico](http://gestion.pe/economia/minagri-peru-segundo-productor-y-exportador-mundial-cafe-orgánico).
29. Montero, M. (1992). Centro de Investigaciones en café (CICAPE). Costa Rica, 1ra. Edición. Accesado el 29/03/15. Disponible en [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(04\)245-262.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(04)245-262.pdf)

30. Phillips, J. y Hayman, D. (1970). Mejora de los procedimientos para la limpieza de las raíces y la tinción de hongos micorrícicos arbusculares- vesiculares parasitadas y para la evaluación rápida de infección. Medellín- Colombia.
31. Prieto, M. y Pérez, Y. (2012). Identificación de hongos micorrícicos en sistemas agroforestales con café en el trópico húmedo ecuatoriano. Ecuador.
32. Schüßleer, A., Schwarzot, D. y Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the glomeromycota: phylogeny and evolution.
33. Sieverding, E. (1983). Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali. Proyecto Micorriza.
34. Sieverding, E. (1991). Micorrizas vesiculares- Arbusculares en la gestión de los agroecosistemas tropicales. De cooperación técnica de la República Federal de Alemania.
35. Solano, R. y Esquivel, R. (2013). Hongos micorrícicos en los sistemas de producción de tara (*Caesalpinia spinosa*) en Humanga, Ayacucho. Revista Alpachaka. UNSCH-IIFCA. (01) (08).
36. Trejo, D. y Valera, L. (2001). Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo. Acta zoológica. México.
37. Rodríguez, Y., Guevara, R. y Miller, M. (2004). Estudio comparativo de seis cepas de hongos micorrícicos arbusculares en su interacción

con el tomate (*Lycopersicum esculentum* M. var “Amalia”. Ecología Aplicada. Quito –Ecuador.

38. Valencia, G. (1998). Manual de Nutrición y Fertilización del café. Accesado el 05/05/15. Disponible en: <http://www.monografias.com/requerimientos-nutricionales-y-fertilizacion-del-cultivo-del-café>.
39. Van der Heijden, M. (2002). Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search of underlying mechanisms and general principles. *Ecological Studies*.

ANEXO



Imagen 1. Predio Huerto del Edén con agroecosistema orgánico asociado con árboles maderables.



Imagen 2. Predio Villa Florida con agroecosistema orgánico del café variedad caturra asociado con *Pinus sp.*



Imagen 3. Predio Selva de Oro con agroecosistema convencional del cultivo de café variedad caturra.



Imagen 4. Predio Santa Isabel con agroecosistema convencional en inicio de cosecha.



Imagen 5. Colección de muestras de raíz y suelo del cultivo de café.



Imagen 6. Raíces y sustrato del café en los primeros 10 cm de profundidad.



Imagen 7. Muestras de suelo y raíces del café embolsadas y etiquetadas para su transporte.



Imagen 8. Observación estereoscópica de las raíces de café en Laboratorio.

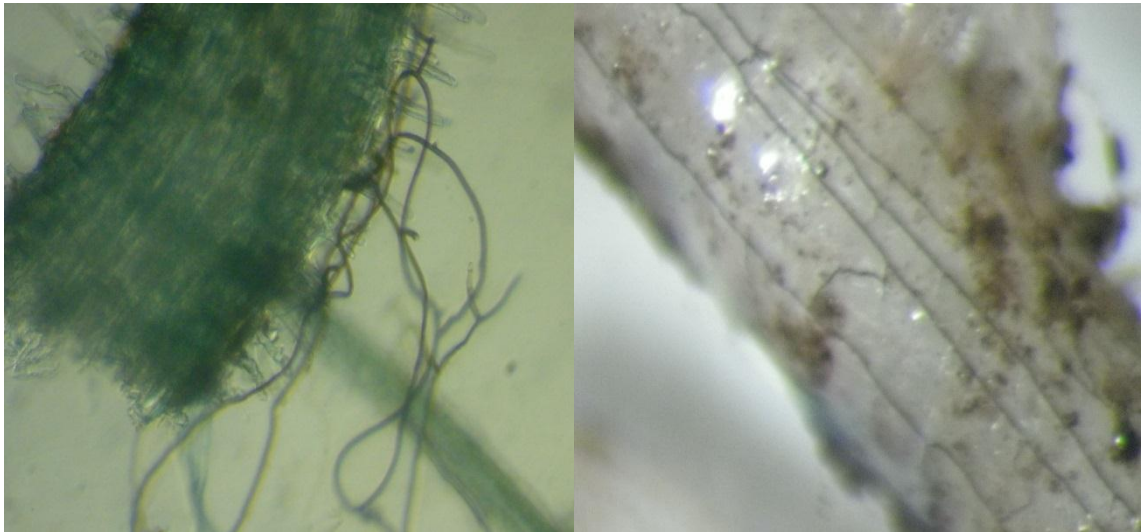


Imagen 9. Observación estereoscópica de micelio de color marrón oscuro en raíces de café.

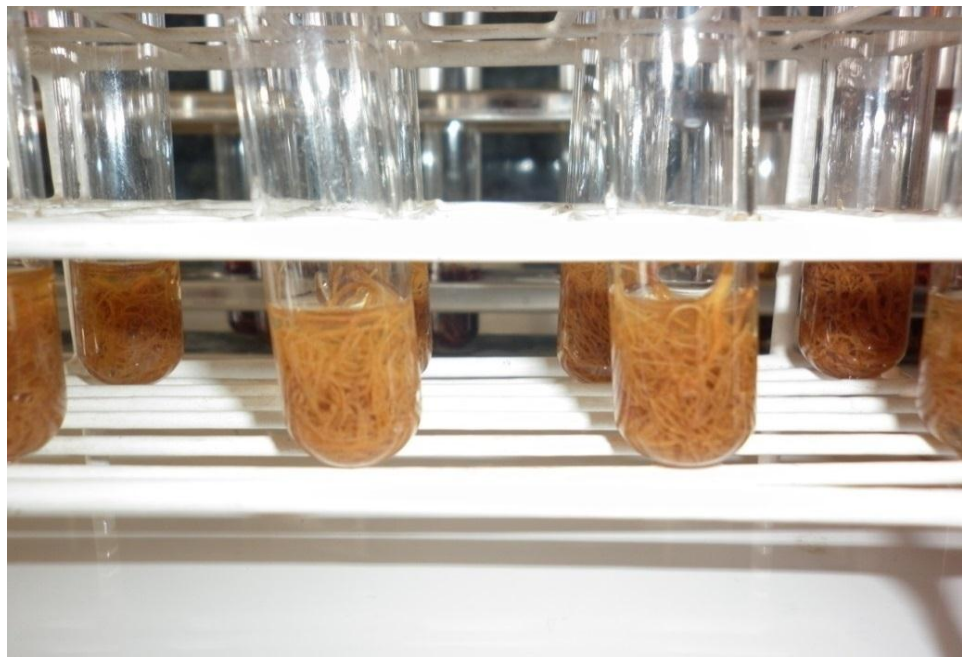


Imagen 10. Clareo de las raíces de café con Hidróxido de potasio (KOH) al 10%.

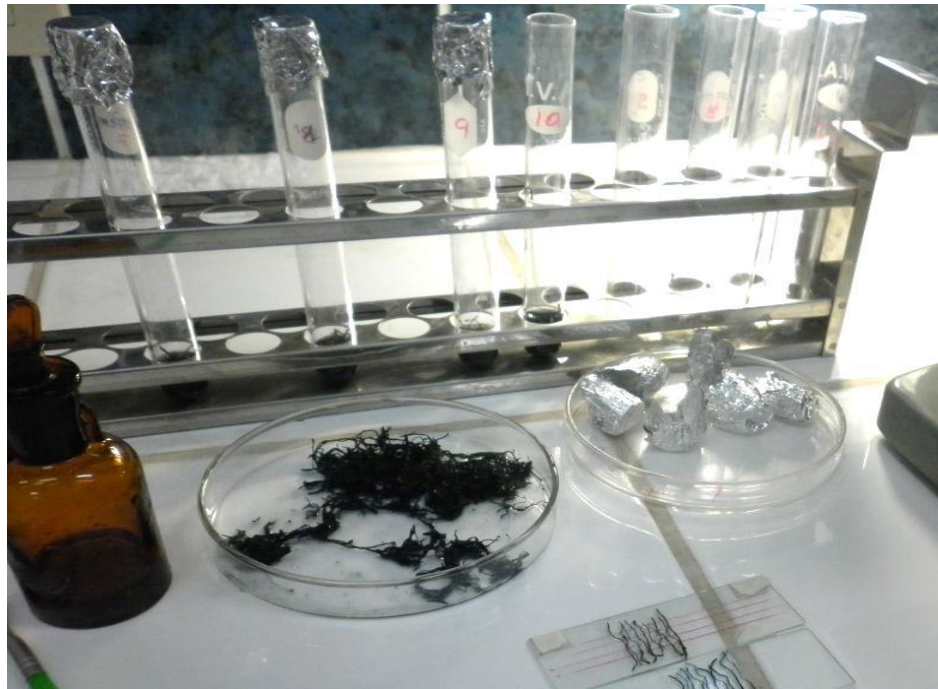


Imagen 11. Tinción de las raíces de café con azul de tripano.



Imagen 12. Montaje de raíces de café en portaobjeto para su observación microscópica.

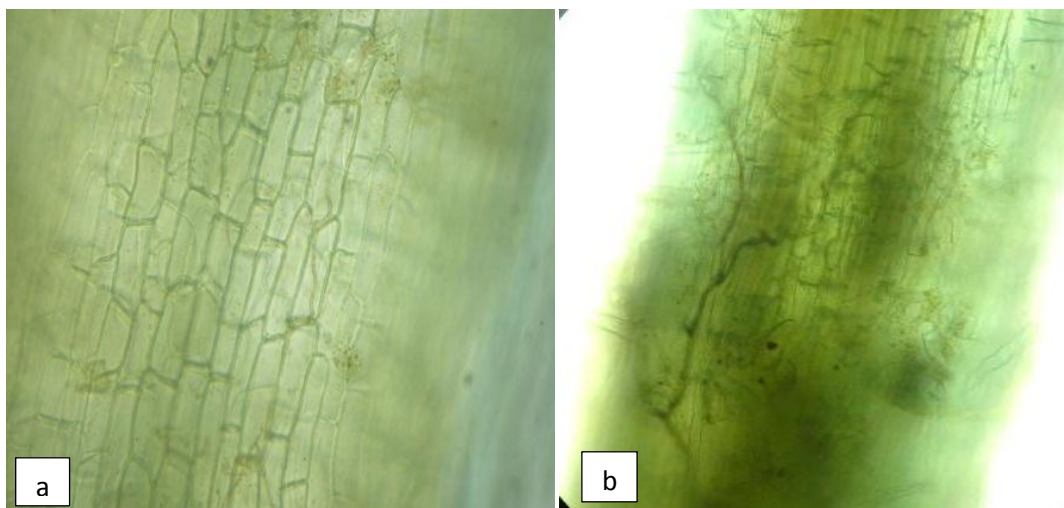


Imagen 13. Observación microscópica, raíces de café no colonizadas (a) y colonizadas (b) por endomicorrizas.



Imagen 14. Raíces de café colonizadas por HMA, se observa la cantidad de estructuras fúngicas (hifas) presentes a: Poco (+), b: regular y c: abundante (+++).

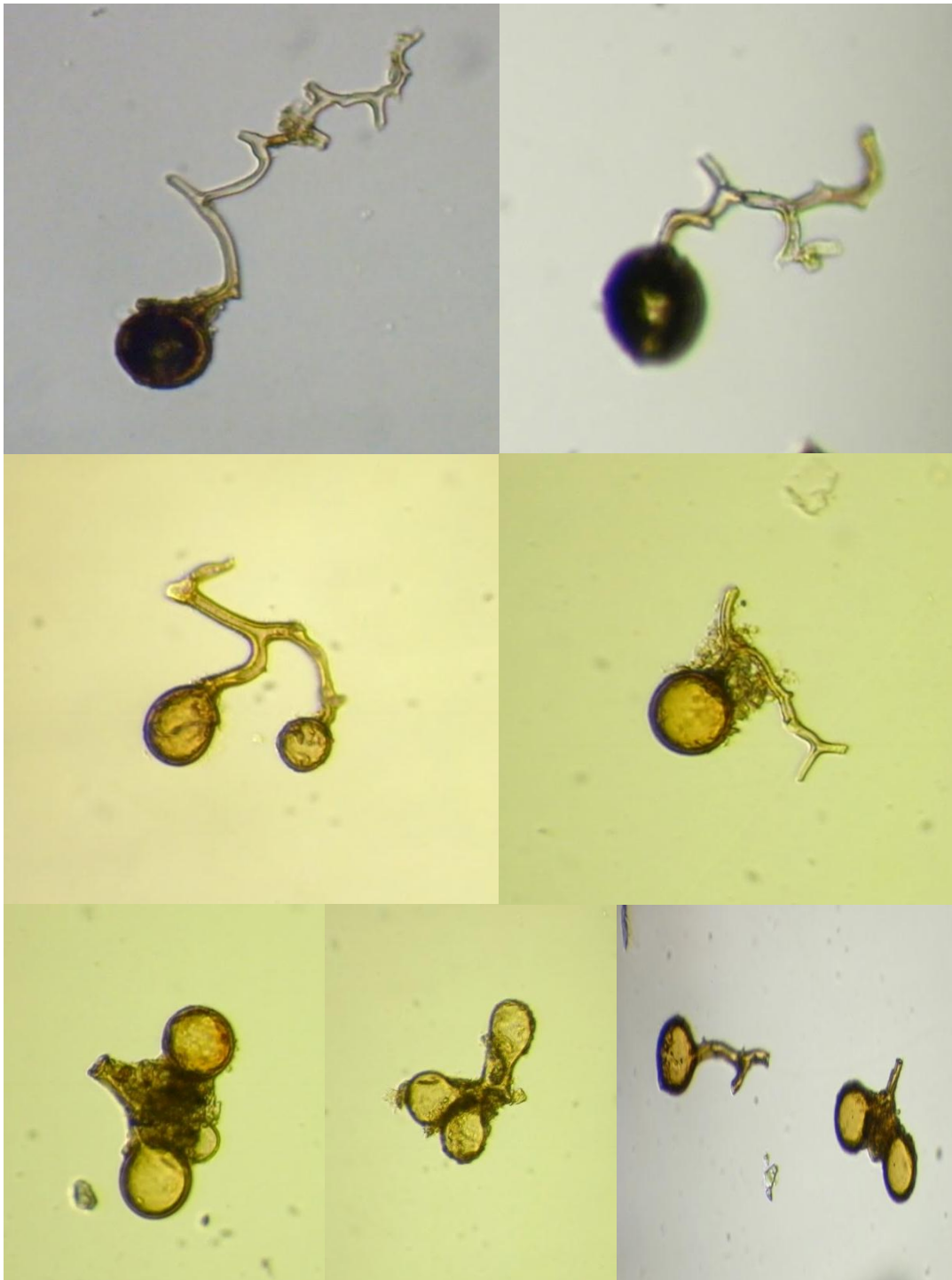


Imagen 15. Diversidad de esporas (*Glomus sp*) procedentes del cultivo de café en agroecosistema orgánico y convencional.

Tabla 1. Promedios de las repeticiones del porcentaje de colonización por endomicorrizas a las raíces de café en predios con agroecosistema orgánico. Kimbiri-Cusco 2013.

Predios	REPETICIONES DEL PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN (%)										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Huerto del Edén	95	100	100	100	97.5	100	100	100	100	95	98.78
Vista Alegre	97.5	95	100	100	97.5	100	100	100	100	95	98.5
La Unión	100	100	97.5	100	100	100	100	100	100	100	99.75
Villa Florida	95	95	97.5	100	95	95	97.5	95	95	97.5	96.25

Tabla 2. Promedios de las repeticiones del Porcentaje de colonización por endomicorrizas a raíces de café en predios con agroecosistema convencional. Kimbiri-Cusco 2013.

Predios	REPETICIONES DEL PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN (%)										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Selva de Oro	100	100	100	97.5	95	100	100	97.5	100	100	99
Sarita Colonia	92.5	85	95	85	92.5	95	87.5	85	92.5	92.5	91.3
Limonchayocc	97.5	100	95	100	97.5	97.5	92.5	95	90	92.5	96.3
Santa Isabel	100	95	95	100	97.5	100	100	95	100	92.5	97.5

Tabla 3. Promedio del número de esporas/ g de suelo en agroecosistemas orgánico y convencional del cultivo de café.

Agroec.	Predios	Repeticiones del número de esporas/ g de suelo										Prom.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
O	Huerto del edén	42	40	50	45	53	38	43	42	57	40	44
	Vista alegre	76	77	81	65	80	80	65	70	80	76	74
	La Unión	33	38	45	26	28	42	30	35	40	33	34
	Villa Florida	60	58	75	68	72	70	55	65	73	54	64
C	Selva de Oro	14	13	11	10	14	12	12	14	10	10	12
	Sarita Colonia	25	28	24	26	24	27	28	26	25	27	26
	Limonchayocc	14	17	15	16	15	17	14	15	14	13	15
	Santa Isabel	17	20	18	15	20	15	20	18	13	14	17

O = Agroecosistema orgánico

C = Agroecosistema convencional

Tabla 4. Cantidad de estructuras vegetativas de endomicorrizas en raíces de café en los predios con agroecosistema orgánico y convencional. Ayacucho 2013

Agroecosistema	Predios	Cantidad de estructuras vegetativas (Hifas)
Orgánico	Huerto del edén	Regular (++)
	Vista alegre	Regular (++)
	La Unión	Abundante (+++)
	Villa Florida	Regular (++)
Convencional	Selva de Oro	Poco (+)
	Sarita Colonia	Poco (+)
	Limonchayocc	Poco (+)
	Santa Isabel	Regular (++)

Leyenda:

1 a 3 = Poco (+), 4 a 6 = Regular (++) y 7 a 10 = Abundante (+++)

Tabla 5. Resumen de los promedios de los resultados del porcentaje de colonización, número de esporas y cantidad de estructuras vegetativas en los predios con dos agroecosistemas.

Agro-ecosistema	Predios	Porcentaje de colonización (%)	Número de esporas/g de suelo	Estructuras vegetativas (hifas)
Orgánico	Huerto del edén	98.78	44	Regular (++)
	Vista alegre	98.5	74	Regular (++)
	La Unión	99.75	34	Abundante (+++)
	Villa Florida	96.25	64	Regular (++)
Convencional	Selva de Oro	99	12	Poco (+)
	Sarita Colonia	91.3	26	Poco (+)
	Limonchayocc	96.3	15	Poco (+)
	Santa Isabel	97.5	17	Regular (++)

Tabla 6. Observación en estereoscopio de presencia de micelio, nódulos y posibles esporas en raíces de café en predios con agroecosistema orgánico y convencionales.

Agroecosistema	Predios	Observación de raíces de café en estereoscopio		
		Micelio	Nódulos	Posible espora
Orgánico	Huerto del Edén	+	+	-
	Vista Alegre	+	-	+
	La Unión	+	-	-
	Villa Florida	+	+	-
Convencional	Selva de Oro	+	-	-
	Sarita Colonia	+	-	-
	Limonchayocc	+	-	+
	Santa Isabel	+	-	-

Leyenda: Presencia (+), Ausencia (-)