



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 3 de diciembre, 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Cristian Camilo Cardozo Villarreal , con C.C. No. 1075.251,945

Autor(es) del trabajo de grado

Titulado EFECTO BIORREMEDIADOR DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA ARBUSCULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON LIXIVIADOS EN LA CIUDAD DE NEIVA- HUILA

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de

Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental _____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

EFFECTO BIORREMIADOR DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA ARBUSCULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON LIXIVIADOS EN LA CIUDAD DE NEIVA- HUILA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cardozo Villarreal	Cristian Camilo

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Echeverry Hernández	Sonia

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ordoñez Castañeda	Yuli Marcela

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental

FACULTAD: Educación

PROGRAMA O POSGRADO: Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2019

NÚMERO DE PÁGINAS: 131

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_x___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_x_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Vigilada mieducación



MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
Micorriza	Mycorrhiza
Hongo	Fungus
Biorremediación	Bioremediation
Lixiviado	Leached
Cultura científica	Scientific culture

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HFMA) son organismos eucariotas que forman asociaciones endosimbióticas en la raíz de la planta, pertenecen al Phylum Glomeromycota, cumplen funciones en el crecimiento y en la nutrición de los vegetales. Este estudio se caracteriza por reconocer el efecto biorremediador del hongo en suelos contaminados con lixiviados, en la que se aplicaron técnicas de extracción, propagación e identificación de esporas, con el fin de conocer el comportamiento de estos microorganismos, para lo cual, se creó un diseño experimental de dos fases, la inicial y la experimental. Así mismo, se explica los procedimientos de evaluación de la planta en el suelo y el seguimiento se lleva por medio de dos montajes, un seguimiento control y un seguimiento experimental, teniendo en cuenta como variable el estado del suelo. Para esto, se realizó un estudio estadístico a través del programa R y así reconocer la efectividad de la asociación del hongo y la planta, sobre el suelo contaminado.

Además, el estudio estadístico nos determinó el porcentaje de colonización del HFMA. En el tratamiento experimental tuvo un buen desempeño, bajando las condiciones de pH, algunos nutrientes (Cu y Mn), mejorando la calidad de la textura y el olor del suelo. Con la técnica de identificación de esporas, se determinaron 16 morfotipos en ambos tratamientos los cuales correspondieron a cuatro géneros: Claroideoglomus, Funneliformes, Rhizophagus y Glomus, predominando este último género en los dos tratamientos. Finalmente, para que un proceso de biorremediación en suelos contaminados sea eficaz se debe tener en cuenta una armonía entre las condiciones físicas, químicas y microbiológicas.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Arbuscular mycorrhizal fungi (HFMA) are eukaryotic organisms that form endosymbiotic associations at the root of the plant, belong to the Glomeromycota Phylum, fulfill functions in plant growth and nutrition. This study is characterized by recognizing the effect of bioremediation of the fungus in soils contaminated with leachate, in which techniques of extraction, propagation and identification of spores were applied, to know the behavior of these microorganisms, for which, an experimental design of two phases, the initial and the experimental. Likewise, the evaluation procedures of the plant in the soil are explained and the monitoring is carried out through two sets, a follow-up control and an experimental follow-up, taking into account the state of the soil as a variable. For this, a statistical study was carried out through the R (R and thus the effectiveness of the association of fungi and plants in the contaminated soil is recognized.

In addition, the statistical study determined the percentage of HFMA colonization. In the experimental treatment it had a good performance, reducing the pH conditions, some nutrients (Cu and Mn), improving the quality of the texture and the smell of the soil. With the spore identification technique, 16 morphotypes were determined in both treatments that corresponded to four genera: Claroideoglomus, Funneliformes, Rhizophagus and Glomus, the last genus prevailing in the two treatments. Finally, for a bioremediation process in contaminated soils to be effective, harmony between physical, chemical and microbiological conditions must be taken into account.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Jhon Fredy Castañeda Gómez

Firma:

Nombre Jurado:

Claudia Milena Amorocho

Firma:

Nombre Jurado:

Kimberly Lucia Antolinez Ramirez

Firma:

Vigilada mieducación

**EFFECTO BIORREMEDIAADOR DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA
ARBUSCULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS
CON LIXIVIADOS EN LA CIUDAD DE NEIVA- HUILA**

AUTOR

CRISTIAN CAMILO CARDOZO VILLARREAL

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA

NEIVA – HUILA

2019

**EFFECTO BIORREMEDIADOR DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA
ARBUSCULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS
CON LIXIVIADOS EN LA CIUDAD DE NEIVA- HUILA**

AUTOR

CRISTIAN CAMILO CARDOZO VILLARREAL

TRABAJO DE GRADO

**Presentado como requisito parcial para optar el título de Licenciado en
Ciencias Naturales: Física, Química y Biología**

DIRECTORA

SONIA ECHEVERRY HERNANDEZ

M.Sc. Microbiología

CO-DIRECTORA

Ph. D. YULI MARCELA ORDOÑEZ CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA

NEIVA – HUILA

2019

Nota de aceptación.

Firma Jefe de Programa

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Neiva, 03 de diciembre de 2019

DEDICATORIA

A nuestro creador por llenarme de sabiduría, entendimiento y fortaleza, para poder culminar esta etapa de mi vida, donde pase por momentos difíciles que pude superar, al igual recibí muchas bendiciones y alegrías.

A mi padre, Jairo Ernesto Cardozo Clavijo, que me formo como un ser responsable y dedicado, que hoy en día, me está acompañando de la mano de nuestro señor Jesús, llenándome de bendiciones desde el momento que partió de este mundo.

A mi madre, María yobanní Villarreal Charry, que es el ser más importante de mi vida que hoy en día cumple la función de padre y madre, donde con sus oraciones me fortalece y me protege.

A mi hermana, María del Carmen Cardozo Villarreal, que se convirtió en mi escudera y fiel amiga en este trabajo, donde me colaboro estando pendiente en la parte técnica, en la recolección de muestra y en el laboratorio.

Al semillero de investigación Virhobac, por acogirme como integrante desde el año 2013, y formar como joven investigador, abriéndome el espacio desde la experiencia educativa e investigativa, que me ayudaron al crecimiento intelectual.

CRISTIAN C. CARDOZO V.
CRISTIAN C. CARDOZO V.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Surcolombiana, en especial a la vicerrectoría de investigaciones, por su apoyo económico, en la que fomenta la investigación de jóvenes universitarios, para optar por su título de profesional.

A la profesora **M.Sc** Sonia Echeverry Hernández, directora de este trabajo de grado, que con su paciencia y dedicación me colaboro para poder llevar acabo esta investigación, con ayuda de sus críticas constructiva que fueron dando forma a esta idea que hoy en día se presenta.

Al profesor **Ph.D.** Mauricio Carrillo Ávila, y a su colaborador Wilson Rodrigo Cruz Flor, por facilitarme los laboratorios de ciencias exactas, disponiendo de su tiempo y su espacio de trabajo para el desarrollo de mi trabajo de grado.

A la profesora Alia Rodriguez Villate. Ph. D. Profesora Asociada a la Facultad Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, que me colaboro en los inicio, poniendo en contacto con sus estudiantes de maestría y doctorado de la universidad Nacional, para capacitarme en el taller de extracción y propagación de hongos formadores de micorriza.

Al profesor de la universidad de la Salle, sede Utopia, **Ph.D.** John Cristhian Fernández Lizarazo, **M.Sc.** Diana Milena Jacome Molina y **M.Sc.** Julián Cardenas Pardo; por su colaboración incondicional en el entrenamiento básico de extracción e identificación de hongos formadores de micorriza.

A la ingeniera Carla Alejandra Urrea Rojas y su colaboradora ingeniera Diana Yuvelly, por permitirme el espacio utilizado en el hangar de transformación de residuos sólidos, para desarrollar la parte de campo requerida en mi trabajo de grado.

A la **Ph. D.** Yuli Marcela Ordoñez Castañeda, por aceptar la participación en este trabajo de grado, aportándome sus conocimientos relacionados a los hongos formadores de micorriza.

A la profesora Zully Cuellar, docente de la universidad Surcolombiana, por asesorarme en el trabajo desde la parte pedagógica.

A mi madre y hermana, que siempre estuvieron presente, colaborándome y aportando desde la parte técnica al trabajo de grado.

A Dios y a todos mis amigos, compañeros y demás, que sin su presencia en mi vida no habría sido posible este trabajo.

RESUMEN

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HFMA) son organismos eucariotas que forman asociaciones endosimbióticas en la raíz de la planta, pertenecen al Phylum *Glomeromycota*, cumplen funciones en el crecimiento y en la nutrición de los vegetales. Este estudio se caracteriza por reconocer el efecto biorremediador del hongo en suelos contaminados con lixiviados, en la que se aplicaron técnicas de extracción, propagación e identificación de esporas, con el fin de conocer el comportamiento de estos microorganismos, para lo cual, se creó un diseño experimental de dos fases, la inicial y la experimental. Así mismo, se explica los procedimientos de evaluación de la planta en el suelo y el seguimiento se lleva por medio de dos montajes, un seguimiento control y un seguimiento experimental, teniendo en cuenta como variable el estado del suelo. Para esto, se realizó un estudio estadístico a través del programa R versión 2.15.0 (R Core Team, 2013).y así reconocer la efectividad de la asociación del hongo y la planta, sobre el suelo contaminado.

Además, el estudio estadístico nos determinó el porcentaje de colonización del HFMA. En el tratamiento experimental tuvo un buen desempeño, bajando las condiciones de pH, algunos nutrientes (Cu y Mn), mejorando la calidad de la textura y el olor del suelo. Con la técnica de identificación de esporas, se determinaron 16 morfotipos en ambos tratamientos los cuales correspondieron a cuatro géneros: *Claroideoglomus*, *Funneliformes*, *Rhizophagus* y *Glomus*, predominando este último género en los dos tratamientos. Finalmente, para que un proceso de biorremediación en suelos contaminados sea eficaz se debe tener en cuenta una armonía entre las condiciones físicas, químicas y microbiológicas.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (HFMA) are eukaryotic organisms that form endosymbiotic associations at the root of the plant, belong to the Glomeromycota Phylum, fulfill functions in plant growth and nutrition. This study is characterized by recognizing the effect of bioremediation of the fungus in soils contaminated with leachate, in which techniques of extraction, propagation and identification of spores were applied, to know the behavior of these microorganisms, for which, an experimental design of two phases, the initial and the experimental. Likewise, the evaluation procedures of the plant in the soil are explained and the monitoring is carried out through two sets, a follow-up control and an experimental follow-up, taking into account the state of the soil as a variable. For this, a statistical study was carried out through the R version 2.15.0 program (R Core Team, 2013) and thus the effectiveness of the association of fungi and plants in the contaminated soil is recognized.

In addition, the statistical study determined the percentage of HFMA colonization. In the experimental treatment it had a good performance, reducing the pH conditions, some nutrients (Cu and Mn), improving the quality of the texture and the smell of the soil. With the spore identification technique, 16 morphotypes were determined in both treatments that corresponded to four genera: Claroideoglomus, Funneliformes, Rhizophagus and Glomus, the last genus prevailing in the two treatments. Finally, for a bioremediation process in contaminated soils to be effective, harmony between physical, chemical and microbiological conditions must be taken into account.

CONTENIDO

INTRODUCCION	15
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	16
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.1 ÁREA DE ESTUDIO	18
NEIVA – HUILA	18
2.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
2.3 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	21
4.1 GENERAL	21
4.2 ESPECÍFICOS	21
5. MARCO TEÓRICO	22
5.1 BIORREMEDIACIÓN	22
5.2 IMPACTO DE LA BIORREMEDIACIÓN	22
5.2.1 INTERACCIONES MICROBIANAS CON LOS CONTAMINANTES	23
5.3 HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA)	23
5.3.1 ECTOMICORRIZAS	24
5.3.2 ENDOMICORRIZAS	24
5.3.3 ORQUIDEOMICORRIZAS	25
5.3.4 ERICOMICORRIZAS	25
5.4 FUNCIÓN EN LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES.	25
5.5 PROCESO DE COLONIZACIÓN DE LOS HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES. (HFMA)	25
5.6 EL GRADO DE DEPENDENCIA DE LA PLANTA A LAS MICORRIZAS.	26
5.7 EFECTIVIDAD DEL HONGO.	26
5.8 MORFOLOGÍA Y FORMACIÓN DE LA SIMBIOSIS MICORRIZA ARBUSCULAR	26
5.9 LIXIVIADOS	27
5.9.1 CALIDAD DE LOS LIXIVIADOS	27
5.10 PLANTAS NATIVAS DE NEIVA	28
5.10.1 ESTADO ACTUAL DE LA ARBORIZACIÓN NEIVA	28
5.10.2 ESPECIES NATIVAS	28

5.10.3 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES	28
5.10.4. ESPECIES USADAS PARA EL PROCESO DE PROPAGACIÓN	29
6. METODOLOGIA	30
6.1.1 LUGARES Y ESPECIES VEGETALES MUESTREADOS	30
6.1.2 TOMA DE MUESTRA DE SUELO Y RAÍZ EN LAS PLANTAS A ESTUDIAR	31
6.1.3 EXTRACCIÓN DE ESPORAS	32
6.1.5 PROPAGACIÓN DE LAS ESPORAS DE HFMA	33
6.2 FASE EXPERIMENTAL	35
6.2.1 TOMA DE LIXIVIADO Y SUELO CONTAMINADO	34
6.2.2 SEGUIMIENTO VISUAL DE LA PLANTA CONTROL Y LA PLANTA DE ESTUDIO	36
6.2.3 TOMA DE MUESTRA DE SUELO PARA EL ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO	36
6.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
7. RESULTADOS	39
7.1 ETAPA PRELIMINAR – FASE I	39
7.1.1 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE HMA	39
7.1.2 CARACTERIZACIÓN DE MORFOTIPOS	39
7.1.3 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE CULTIVOS TRAMPA	40
7.1.4 EXTRACCIÓN DE ESPORAS DE HFMA A PARTIR DEL CULTIVO DE PROPAGACIÓN	39
7.2 FASE EXPERIMENTAL – FASE II	41
7.2.1 SEGUIMIENTO A LA PLANTA CONTROL Y A LA PLANTA DE ESTUDIO	41
7.2.2 ESTADO DE LA PLANTA	45
7.2.3 ANALISIS ESTADISTICO DE LA PLANTA DE ESTUDIO	46
7.2.4 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS	47
7.2.5 IDENTIFICACION DE ESPORAS	48
7.2.7 DENSIDAD DE ESPORAS:	53
7.2.8 ANALISIS QUIMICO DEL SUELO	55
7.2.9 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO	58
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
9.-INTERVENCIÓN PEDAGÓGICA	66
PROMOCIÓN DE LA CULTURA CIENTÍFICA MEDIANTE EL APRENDIZAJE DE LOS EFECTOS BIORREMIADORES DE LAS MICORRIZAS EN ESTUDIANTES DE SEGUNDO SEMESTRE DE LA LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA	66
10. CONCLUSIONES	86

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS SIMBIOSIS MICORRÍICAS DE ACUERDO A SU CLASE, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE PLANTA QUE COLONIZAN (FERNÁNDEZ, 2008).	23
TABLA 2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS HONGOS HMA, (KRÜGER, M. ET AL. 2012)	24
TABLA 3. MORFOTIPOS DETERMINADOS EN ZONAS BOSCOSAS DE NEIVA	39
TABLA 4. MORFOTIPOS DETERMINADOS EN SUELO RIZOSFÉRICO PROPAGADO	40
TABLA 5. PROBABILIDAD SIGNIFICATIVA ENTRE TRATAMIENTOS	46
TABLA 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS	48
TABLA 7. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MORFOTIPOS	52
TABLA 8. VARIABLES DE DIVERSIDAD DE ESPORAS	53
TABLA 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA DIVERSIDAD DE ESPORAS DE HFMA ENTRE TRATAMIENTOS	53
TABLA 10. VALORES NORMALES DE LOS TRATAMIENTOS DEL ÍNDICE DE SHANNON Y SIMPSON	54
TABLA 11. ACTIVIDADES DISEÑADAS PARA APRENDER SOBRE LOS EFECTOS BIORREMEDIADORES DE LOS HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA (HFM).	68
TABLA 12. CONSTRUCCIÓN SOBRE EL CONCEPTO DE BIORREMEDIACIÓN Y FITORREMEDIACIÓN EN LOS ESTUDIANTES	75
TABLA 13. CONSTRUCCIÓN DEL SIGNIFICADO DE LA RELACIÓN HONGO-PLANTA	76
TABLA 14. OBSERVACIONES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ESPORAS Y RAÍCES EN COMPAÑÍA DE LOS HFM	77
TABLA 15. OPINIÓN SOBRE EL TIPO DE VIDA OBSERVADA EN LA PRÁCTICA	78
TABLA 16. OPINIONES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN	78
TABLA 17. CONCEPTOS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LOS TIPOS DE MICORRIZAS	79
TABLA 18. EL OBJETIVO PLANTEADO POR LOS ESTUDIANTES SOBRE LAS PRÁCTICAS RECIBIDAS	79

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. PARÁMETROS IMPLICADOS EN LA BIORREMEDIACIÓN (MODIFICADO WALTER (1997)).	22
FIGURA 2. TIPOS DE MICORRIZAS (BAREA, 1990).	24
FIGURA 3. CICLO DE VIDA DE LOS HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULAR, (HERRERA, 2008)	27
FIGURA 4. MAPAS DE LOS LUGARES DE TOMA DE MUESTRAS (TOMADO DE GOOGLE MAPS)	30
FIGURA 5. PASOS DE EXTRACCIÓN DE SUELO Y DE RAÍZ	31
FIGURA 6. PASOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ESPORAS	32
FIGURA 7. PASOS PARA SACAR EL PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA	33
FIGURA 8. FÓRMULA PROPUESTA POR SIEVERDING (1983)	33
FIGURA 9. PROPAGACIÓN DE LAS ESPORAS DEL HFM	33
FIGURA 10. SUCESOS DE LA TOMA DE LIXIVIADO Y PREPARACIÓN DEL SUELO	34
FIGURA 11. RUTA DE LA FASE DESCRIPTIVA	35
FIGURA 12. TOMA DE MUESTRA DE SUELO PARA ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	36
FIGURA 13. RUTA DE LA FASE EXPERIMENTAL	37
FIGURA 14. PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE LOS HFMA EN PLANTAS PROPIAS DE LA CIUDAD DE NEIVA	39
FIGURA 15. CANTIDAD DE ESPORAS PROPAGADAS EN 10 GRAMOS DE SUELO	40
FIGURA 16. PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE HFMA EN SUELO RIZOSFÉRICO PROPAGADO	41
FIGURA 17. SEGUIMIENTO AL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS (TRATAMIENTO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTO CONTROL)	42
FIGURA 18. CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS CON LOS HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA (MUESTRA EXPERIMENTAL)	43
FIGURA 19. CRECIMIENTO DE LA PLANTA SIN EL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA (TRATAMIENTO CONTROL)	43
FIGURA 20. CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE SORGO EN LOS DOS TRATAMIENTOS REALIZADOS	44
FIGURA 21. CRECIMIENTO DE LA GRAMA EN LOS DOS TRATAMIENTOS REALIZADOS	44
FIGURA 22. CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE CAFÉ EN LOS DOS TRATAMIENTOS REALIZADOS	45
FIGURA 23. COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE LA ALTURA FOLIAR DE LAS GRAMÍNEAS	46
FIGURA 24. COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE LA LONGITUD DE LA RAÍZ DE LAS GRAMÍNEAS	46
FIGURA 25. COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DEL CRECIMIENTO DE LAS GRAMÍNEAS	46
FIGURA 26. COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DEL PESO SECO DE LAS GRAMÍNEAS	46
FIGURA 27. PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE LOS HFMA	47
FIGURA 28. IDENTIFICACIÓN DE MORFOTIPOS	51
FIGURA 29. COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE ESPORAS EN 100 GRAMOS DE SUELO	52
FIGURA 30. PROMEDIO DE ESPORAS SEGÚN LOS MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN PLANTAS INOCULADAS	54
FIGURA 31. PROMEDIO MORFOTIPOS EN EL TRATAMIENTO CONTROL	55
FIGURA 32. ANÁLISIS QUÍMICO DEL TRATAMIENTO EXPERIMENTAL (PPM)	56
FIGURA 33. ANÁLISIS QUÍMICO DEL TRATAMIENTO CONTROL (PPM)	56
FIGURA 34. ANÁLISIS QUÍMICO DEL TRATAMIENTO EXPERIMENTAL (CMOL+.KG-1)	57
FIGURA 35. ANÁLISIS QUÍMICO DEL TRATAMIENTO CONTROL (CMOL+.KG-1)	57
FIGURA 36. PH DE LOS TRATAMIENTOS	58
FIGURA 37. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS DE LOS ELEMENTOS Y TEMAS ANALIZADOS ENTRE TRATAMIENTOS	58
FIGURA 38. AULAS DE CLASE, LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOBIANA	67
FIGURA 39. TRABAJO PRÁCTICO EN EL HANGAR Y EN EL LABORATORIO, DE LOS ESTUDIANTES DE LA LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES, EN LA MATERIA DE MICROBIOLOGÍA 2016-2	68
FIGURA 40. RESULTADOS DEL PRE-TEST DE LAS PREGUNTAS CERRADAS	69
FIGURA 41. CONCEPTO DEL ESTUDIANTE SOBRE ECTOMICORRI	71

FIGURA 42. CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ENDOMICORRIZAS	71
FIGURA 43. CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ECTENDOMICORRIZAS	72
FIGURA 44. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE LA ESPORA CON AYUDA DE UNA IMAGEN	72
FIGURA 45. RESPUESTA DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA RELACIÓN PLANTA – HONGO	73
FIGURA 46. CONOCIMIENTO DE LOS ESTUDIANTES SOBRE EL USO DE LOS HFM EN EL SUELO	74
FIGURA 47. ESTUDIO DE CASO APLICADO A LOS ESTUDIANTES SOBRE EL USO DE LOS HFM	75
FIGURA 48. RESULTADO DE LAS PREGUNTAS DE TIPO CERRADO DEL POS-TEST	81
FIGURA 49. COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DEL PRE-TEST Y POS-TEST	81
FIGURA 50. CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LAS ECTOMICORRIZAS EN EL POS-TEST	82
FIGURA 51. CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LAS ENDOMICORRIZAS EN EL POS-TEST	82
FIGURA 52. CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LAS ECTEMICORRIZAS EN EL POS-TEST	82
FIGURA 53. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE LA ESPORA CON AYUDA DE UNA IMAGEN EN EL POS-TEST	83
FIGURA 54. OPINIÓN DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA RELACIÓN PLANTA-HONGO EN EL POS-TEST	83
FIGURA 55. OPINIÓN DE LOS ESTUDIANTES DURANTE EL POST-TEST ACERCA DEL USO DE LOS HFM EN EL SUELO	84
FIGURA 56. OPINIÓN DE LOS ESTUDIANTES DURANTE EL POST-TEST ACERCA DEL ESTUDIO DE CASO SOBRE LOS HFM EN EL SUELO	84

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1. TABLA DE SEGUIMIENTO DE PLANTAS INOCULADAS CON HFMA	92
ANEXO 2. TABLA DE SEGUIMIENTO DE PLANTAS SIN HFMA	95
ANEXO 3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO CONTAMINADO CON LIXIVIADOS (SUELO INICIAL), NOVIEMBRE DEL 2016	98
ANEXO 4. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO CONTAMINADO CON LIXIVIADO PRIMER ANÁLISIS CON LA MUESTRA CONTROL Y EXPERIMENTAL, FEBRERO DEL 2017	99
ANEXO 5. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO CONTAMINADO CON LIXIVIADO, SEGUNDO MUESTREO POR TRIPLICADO CON LA MUESTRA CONTROL Y EXPERIMENTAL, MAYO DEL 2017	101
ANEXO 6. TEXTO DE VARIANZA APLICADO AL CRECIMIENTO DE LA RAÍZ	107
ANEXO 7. TEXTO DE VARIANZA APLICADO A LA ALTURA DE LAS PLANTAS DE CADA TRATAMIENTO. SE RECHAZA LA HIPOTESIS NULA. SI HAY EFECTO DE LA INOCULACIÓN.	109
ANEXO 8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO LA LONGITUD TOTAL DE LAS PLANTAS (RAÍZ Y PARTE AÉREA) MEDIDA EN CENTÍMETROS EN LOS DOS TRATAMIENTOS	109
ANEXO 9. VARIANZA DEL PESO SECO	111
ANEXO 11. TEXTO DE VARIANZA APLICADO A LA DIVERSIDAD DE ESPORAS	114
ANEXO 12. AJUSTE DE CUADRADOS	115
ANEXO 13. AJUSTE DE MÍNIMOS CUADRADOS	116
ANEXO 14. TRATAMIENTO DE PARCELA DE APALANCAMIENTO	116
ANEXO 15. AJUSTAR Y POR GRUPO X DE ANÁLISIS UNIDIRECCIONAL DE LA UNIFORMIDAD POR TRATAMIENTO	123
ANEXO 16. AJUSTAR Y POR GRUPO X, ANÁLISIS UNIDIRECCIONAL DE ÍNDICE DE SIMPSON POR TRATAMIENTO	124
ANEXO 17. PRUEBA DE WELCH	124
ANEXO 18. AJUSTAR Y POR GRUPO X ANÁLISIS UNIDIRECCIONAL DE RIQUEZA DE MORFOTIPOS POR TRATAMIENTO	125
ANEXO 19. AJUSTAR Y POR GRUPO X ONEWAY ANÁLISIS DE RIQUEZA DE MORFOTIPOS POR TRATAMIENTO	126
ANEXO 20. DISTRIBUCIONES DE ÍNDICE DE SIMPSON	127
ANEXO 21. ÍNDICE DE SHANNON	128
ANEXO 22. RIQUEZA DE MORFOTIPOS	129

INTRODUCCION

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos eucariotas del Phylum *Glomeromycota* que establecen simbiosis con el 80% de las plantas terrestres (Barrer, 2009), quienes aparte de cumplir procesos de nutrición vegetal actúan como agentes biorremediadores en suelos contaminados (Asghari, 2011).

Una de las funciones de los hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) y sus estructuras es aumentar la captación de fósforo en las plantas (Parniske, 2008). Las hifas absorben nutrientes en zonas de difícil acceso para la raíz de la planta (Smith & Read, 2008) para entregarlos a cambio de carbono. Es así como las micorrizas mejoran la nutrición de la planta y las condiciones del suelo, especialmente la de aquellos iones presentes en baja concentración o con poca movilidad como fosfato, amonio y zinc, que causan la sobre saturación de elementos (Barea et al., 2005), Utilizando técnicas de extracción, propagación e identificación de esporas de HFMA y evaluando colonización radical en plantas nativas, se evaluó la capacidad que tienen estos hongos de crecer y sobrevivir en suelos contaminados con lixiviados y además contribuir al crecimiento de algunas especies de plantas en estos suelos que contienen altas concentraciones de elementos tóxicos y metales pesados.

Se debe tener en cuenta que los suelos de la región andina colombiana se destacan por su alta capacidad de fijación de fósforo. Los iones fosfato se inmovilizan cuando forman complejos con aluminio (Al), calcio (Ca) o hierro (Fe), las cuales son características de suelos contaminados con metales pesados, causando esterilidad y pérdida de la capa vegetal (Espinosa et al, 2011). Por ser el fósforo uno de los nutrientes que más escasea en el suelo, lo ideal sería minimizar la pérdida de este elemento que ocurre por la rápida fijación (Chen et al., 2008); una opción es el manejo de organismos movilizadores de fosfato como los HFMA.

En este proyecto se identificaron, mediante pruebas de tinción y uso de claves taxonómicas, las micorrizas arbusculares asociadas a cinco especies de árboles nativos de la ciudad de Neiva con el fin de propagarlas en un tipo de pastura que sirvió como ornato y permitió verificar la función biorremediadora de estos hongos. Los suelos trabajados en este estudio fueron contaminados con lixiviado obtenido del relleno sanitario de la ciudad de Neiva.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se realizó un estudio bibliográfico sobre las características de los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) en el ecosistema y el comportamiento de este microorganismo en el suelo. Estos estudios se han hecho a escala mundial y nacional tomando como referencia investigaciones realizadas en Colombia, Guatemala, México entre otros. En un estudio realizado en el eje cafetero colombiano, se aislaron e identificaron especies de HFMA nativos asociadas a las raíces de cultivos de lulo, mora y tomate de árbol, donde se muestrearon 26 fincas sembradas con estos frutales. Las variables fueron el número de esporas nativas g^{-1} de suelo y la colonización de raíces en estos frutales. Todos los sitios de muestreo difirieron en las características físicas y químicas del suelo y en el manejo agronómico (Botero et al, 2000).

Los HFMA aportan a la absorción y ciclaje de nutrientes, la agregación del suelo e interactúan con otros microorganismos en suelos pobres en nutrientes y erosionados. Por lo tanto, los HFMA pueden ser un recurso para mejorar los procesos naturales en suelos que han tenido desgaste de nutrientes o sobre saturación y contribuir a agroecosistemas sostenibles (Salamanca y Silva 1998).

Para evaluar el efecto de los HFMA sobre el crecimiento de las plantas, existen diferentes variables, como como porcentaje de colonización, producción de biomasa, contenido de nutrientes (concentraciones de nitrógeno, fósforo), y componentes de rendimiento como: Vainas totales, longitud de la vaina, semillas vaina⁻¹, altura de la planta, masa fresca, volumen radical, hojas totales, volumen radical y flores totales (Galindo, 2008).

Los HFMA se consideran agentes bioremediadores en los suelos, que mejoran significativamente los atributos del suelo, aumentan la biodiversidad subyacente y subterránea, además mejoran significativamente la supervivencia y el crecimiento de las plántulas de árboles / arbustos, el establecimiento de los suelos estresados por humedad y nutrientes.

Se ha demostrado que los hongos impulsan la sucesión de plantas y pueden prevenir la invasión de especies exóticas. El futuro de los esfuerzos de la investigación debe centrarse en el efecto de los HFMA sobre la productividad primaria de la comunidad vegetal y la competencia de las plantas. Las investigaciones se han centrado en ecosistemas forestales, donde sus métodos de estudio se han basado en la producción de inóculos de hongos para la restauración biológica de las tierras degradadas.

En la investigación de Hernandez et al. (2011) Realizada en Mexico, se identificaron los métodos para el proceso de propagación y micorrización de plantas nativas con potencial para restauración de suelos, donde presenta los resultados obtenidos al propagar e inocular con hongos

micorrizógenos arbusculares con especies de plantas *Amelanchier denticulata* (tlaxistle) y *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce), plantas nativas de América, que forman micorriza arbuscular y crecen en México sobre suelos someros y con escasez de nutrimentos. La propagación se hizo a partir de semillas, en vermiculita y turba mezcla (2:1). La mitad de las plantas de cada especie se inoculó con una mezcla de tres cepas de hongos micorrizógenos arbusculares aisladas de suelos de Tlaxcala: *Glomus claroideum*, *Acaulospora laevis* y *A. morrowiae*. El tlaxistle y el palo dulce alcanzaron valores por arriba del 40% de germinación y del 80% de supervivencia al trasplante. Aunque, los porcentajes de colonización micorrízica fueron bajos en los dos casos, menores al 10% para palo dulce y al 20% para tlaxistle, los individuos micorrizados mostraron las mejores respuestas en diámetro, altura, biomasa aérea ($p < 0.001$) y contenido de fósforo. También se analizó algunas variables indicadoras de calidad de planta en relación a la micorrización. Se concluyó que la propagación a partir de semillas es una buena estrategia para la obtención de plantas de los dos taxa estudiados y que la micorrización favoreció significativamente su desarrollo inicial, ya que mejoró sus rasgos de crecimiento, lo que es crítico para las plantas que serán destinadas al campo en programas de restauración

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Área de estudio

NEIVA – HUILA

Neiva es la capital del departamento del Huila, en Colombia. Se ubicada entre la Cordillera Central y Oriental, en una planicie sobre la margen oriental del río Magdalena, en el valle del mismo nombre, cruzada por el río Las Ceibas y el Río del Oro.

Neiva, al igual que otras ciudades de clima cálido en Colombia, cuenta con una buena arborización urbana que se evidencia en la gran cantidad de árboles de sus calles, avenidas, parques y en el malecón del río Magdalena

Su extensión territorial de 1533 km², su altura de 442 metros sobre el nivel del mar y Debido a su ubicación cerca de la línea del ecuador y su baja altitud, la ciudad tiene un clima cálido con temperaturas anuales promedio de 24 a 33 °C. Sus municipios satélites son Rivera, Palermo, Tello, Baraya, Aipe, Villavieja y Campoalegre. Tiene 481.159 habitantes. (Molina, 2008)

2.2 Problema de investigación

Esta investigación se realizó con el fin de estudiar el poder biorremediador que tienen los hongos micorrízicos en los suelos contaminados con lixiviados, en la ciudad de Neiva. El departamento del Huila se caracteriza por ser una región agropecuaria, con alta demanda de insumos químicos en los cultivos, produciendo grandes cantidades de lixiviados que contaminan suelos y fuentes hídricas, causando erosión en los suelos, pérdida del manto vegetal, compactación y esterilidad, disminuyendo la pérdida de agroecosistemas sostenibles para el ser humano, Desde el punto de vista ambiental, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el efecto biorremediador de los hongos formadores de micorriza arbuscular para el mejoramiento de suelos contaminados con lixiviado en la ciudad de Neiva?

2.3 Planteamiento de la hipótesis

El hongo micorrízico arbuscular en simbiosis con plantas propias de la región ayudan a la descontaminación del suelo favoreciendo el proceso biorremediador.

3. JUSTIFICACIÓN

La micorriza es un hongo que habita en las raíces de toda planta, distinguiéndose cinco tipos de micorrizas: formadoras de manto como: (ectomicorrizas), vesículo-arbusculares (endomicorriza), arbustoides (ecten domicorriza), ericoides (endomicorriza), y orquidoides (endomicorrizas) (Fernandez, 2008). Esta propuesta se enfoca en hongos endomicorrízicos del grupo vesículo-arbusculares (HMA) que se encuentran en árboles nativos de la ciudad de Neiva, porque los ecosistemas naturales contienen diversas poblaciones nativas de HMA que presentan distintos grados de variación en sus efectos sobre el crecimiento vegetal y adquisición de nutrientes. Los cambios en los entornos edáficos y ambientales han repercutido en cambios en la abundancia y distribución de las especies de HMA, como es el caso de algunas especies nativas de la ciudad de Neiva las cuales serán objeto de este estudio: *Acacia forrajera (Leucaena leucocephala)*, *Gualanday (Jacaranda caucana)*, *Guácimo (Guazuma ulmifolia)*, *Iguá (Pseudosamanea guachapele)* y *Yarumo (Cecropia peltata)*.

Con esta propuesta se espera comprobar los efectos biorremediadores de las micorrizas, los cuales han sido vistos como microorganismos de efectos simbióticos en plantas individuales, mejorando la obtención de nutrientes y minerales disueltos, como fósforo (P). Esta contribución se torna fundamental en el establecimiento y crecimiento vegetal que se desarrolla en condiciones adversas como en zonas áridas con baja fertilidad, realizándose el manejo de la micorriza en procesos *ex situ* y bajo condiciones controladas para realizar el control del proceso de mejoramiento de las plantas en asociación con micorrizas y en medio o sustrato contaminado por lixiviados, probando el efecto biorremediador de la micorriza.

El estudio se llevó a cabo en suelos contaminados por lixiviados, por su contenido alto de materia orgánica, de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos, donde el micelio del hongo al colonizar la planta establece una conexión entre las soluciones del suelo y ella misma, permitiendo la captación de iones desde el suelo; a cambio de este beneficio para la planta, ella le aportará a la micorriza compuestos carbonados obtenidos por la fotosíntesis, disminuyendo la contaminación del suelo provocada por los lixiviados.

El proceso que se llevó a cabo no obedeció un proceso fitorremediador, aunque se utilizaron plantas pero al haber hospederos, como el hongo formador de micorriza, donde se asoció a un proceso de biorremediación por el manejo de microorganismos para el cambio de algún tipo de suelo. Cuando se habla de biorremediación se tiene la idea que sólo se realiza con bacterias debido a su diversidad genética y versatilidad metabólica para transformar contaminantes en productos inocuos o, en su defecto, menos tóxicos, que pueden entonces integrarse en los ciclos biogeoquímicos naturales. No obstante, existen casos aislados de utilización de otros tipos de organismos como, por ejemplo, los hongos y, más recientemente, las plantas.

Con los estudios ya realizados sobre micorrizas se busca disminuir los contenidos elevados de fósforo, nitrógeno, potasio, algunos metales pesados como aluminio, hierro y zinc presentes en el lixiviado, además de evaluar la disponibilidad de sulfatos, intercambio catiónico y aspectos físicos del suelo como la textura y el color, análisis a realizar en laboratorios especializados de suelos. Este trabajo es pionero en las investigaciones desarrolladas con HFMA, por el programa de Licenciatura en Ciencias Naturales en la ciudad de Neiva.

4. OBJETIVOS

4.1 General

- Comprobar el efecto biorremediador de los hongos formadores de micorriza arbuscular en asociación con platas para el mejoramiento de suelos contaminados con lixiviado en la ciudad de Neiva

4.2 Específicos

- Caracterizar los morfotipos de HFMA en los diferentes tratamientos
- Correlacionar los resultados de colonización radicular, abundancia de esporas y riqueza de morfotipos con el efecto de los HFMA en el suelo
- Evaluar durante un periodo de seis meses las condiciones físicoquímicas del suelo en cada uno de los tratamientos propuestos
- Promover la cultura científica en los procesos de formación de futuros licenciados de ciencias naturales a través de efectos biorremediadores de hongos formadores de micorrizas en suelos contaminados.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Biorremediación

La biorremediación es un proceso que utiliza las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar y transformar contaminantes tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos, presenta un enorme potencial en la mitigación de la contaminación ambiental (Garbisu et al, 2002). La biorremediación se ha centrado en la explotación de la diversidad genética y versatilidad metabólica que caracteriza a las bacterias para transformar contaminantes en productos inocuos o, en su defecto, menos tóxicos, que pueden entonces integrarse en los ciclos biogeoquímicos naturales. No obstante, existen casos aislados de utilización de otros tipos de organismos como, por ejemplo, los hongos y, más recientemente, las plantas (la llamada "fitorremediación" es un campo altamente prometedor). (Garbisu et al 2002)

5.2 Impacto de la biorremediación

El interés en la biodegradación microbiana de los contaminantes se ha intensificado en los últimos años como la humanidad se esfuerza por encontrar formas sostenibles para ambientes de limpieza contaminados. Estos métodos de biorremediación y biotransformación se esfuerzan por aprovechar la diversidad microbiana catabólica para degradar, transformar o acumular una enorme variedad de compuestos incluidos los hidrocarburos (por ejemplo, aceite), bifenilos policlorados (PCB), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), sustancias farmacéuticas, radionucleidos y metales (figura 1). Los principales avances metodológicos en los últimos años han permitido el análisis genómico, metagenómico, proteómico, bioinformático de microorganismos de relevancia ambiental que proporcionan conocimientos sin precedentes en vías de biodegradación clave y la capacidad de los organismos para adaptarse a las cambiantes condiciones ambientales de alto rendimiento (Diaz 2008).

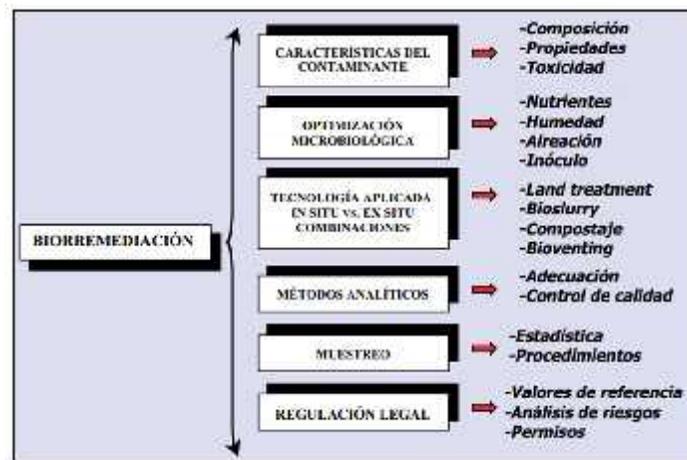


Figura 1. Parámetros implicados en la biorremediación (modificado Walter (1997)).

5.2.1 Interacciones microbianas con los contaminantes

La complementación de las actividades metabólicas se lleva a cabo mediante relaciones de cometabolismo y/o simtrofia. El cometabolismo es una actividad importante desde el punto de vista ambiental, con matices complejos, que no podemos desarrollar en este espacio. Implica, esencialmente, el metabolismo "gratuito" (es decir, no útil para el crecimiento u obtención de energía) de un sustrato secundario (compuesto contaminante) por enzimas que requieren otro sustrato primario diferente, el cual proporciona la energía y/o los cofactores reductores necesarios (Valencia, H. A. 2010). Ambas actividades enzimáticas pueden ser diferentes y el resultado es, en teoría, la acumulación de productos de reacción a partir del contaminante. En la práctica, la existencia de otros microorganismos hace factible la degradación posterior de esos productos mediante reacciones simtróficas y, en última instancia, su mineralización (Sanchez , 2004)

5.3 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)

Los hongos micorrízicos arbusculares viven en simbiosis o asociados a plantas, donde el significado etimológico griego significa: micos (hongo) y riza (raíz). La simbiosis micorrízica es la asociación hongo-planta más antigua del mundo, presente incluso en ecosistemas áridos, degradados y/o alterados por la actividad humana, incluidos los suelos altamente contaminados con residuos industriales (Finlay, 2008). Históricamente la investigación referente a las asociaciones micorrízicas se ha centrado en los efectos de la simbiosis en plantas individuales, en particular, en la mejora de adquisición de nutrientes minerales disueltos, como fósforo (P). Esta contribución se torna fundamental en el establecimiento y crecimiento vegetal de plantas que se desarrollan en condiciones adversas como zonas áridas con baja fertilidad (Mohammad et al 2003).

Las micorrizas son asociaciones mutuamente benéficas entre las raíces no leñosas de las plantas y un número importante de especies de hongos altamente especializados (Barrera, 2009). Su presencia es tan común en las raíces como lo es la clorofila en las hojas, por lo cual no se debe preguntar si una planta está micorrizada o no, sino qué tipo de micorriza está presente y cuál es su grado de colonización en la raíz. En suelos pobres se encuentra el mayor impacto en la respuesta de los árboles debido a los beneficios causados por la micorriza (Galindo , 2008). Según Diaz, 2008 se distinguen cinco tipos de micorrizas: formadoras de manto (ectomicorrizas), vesiculos-arbusculares (endomicorriza), arbutoides (ecten domicorriza), ericoides (endomicorriza), y orquidoides (endomicorrizas) (tabla 1) (figura 2).

Tabla 1. Clasificación de las simbiosis micorrízicas de acuerdo a su clase, características y tipos de planta que colonizan (Fernández, 2008).

TIPOS	Ectomicorrizas	Endomicorrizas						
		Ectendomicorrizas	Arbutoides	Monotropoides	Ericoides	Orquidoides	Arbusculares	
CARACTERES	Manto hial rodeando la raíz. El hongo no penetra más allá de los espacios intercelulares de la corteza. Nunca entra a la célula.	Puede o no, está presente el manto hial rodeando la raíz. Forma ovillos espirales dentro de la célula de o no, está presente el manto hial rodeando la raíz.	Manto hial presente. Forma ovillos espirales dentro de las células.	Manto hial presente. Forma hialotrofo sin ramificación dentro de las células. Micelias inextensas.	Manto hial presente. Forma hialotrofo sin ramificación dentro de las células. Micelias inextensas.	Manto hial ausente. Forma ovillos espirales dentro de las células.	Manto hial ausente. Forma hialotrofo sin ramificación u ovillos espirales dentro de las células. Micelias inextensas.	Sin manto hial. Forma hialotrofo sin ramificación u ovillo espiral dentro de la célula. Forma o no vesículas, o entre las células.
CLASES DE KINGDOM	Ascomycetes Basidiomycetes Phycomycetes	Ascomycetes y Basidiomycetes	Basidiomycetes	Basidiomycetes	Ascomycetes (Basidiomycetes)	Basidiomycetes	Glomeromycetes	
HOSPEDEROS (Generales)	Árboles y arbustos	Árboles y arbustos	Sólo en árboles	Sólo en Monotropaceae	Sólo en árboles	Sólo en Orquídeas	Árboles, Arbustos, Gramíneas, Férulas, Algas, Bryophytes y Psilidophytes.	

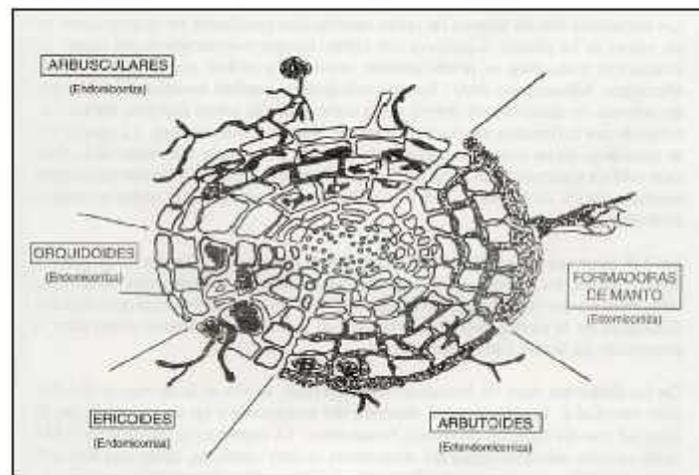


Figura 2. Tipos de micorrizas (Barea, 1990).

5.3.1 Ectomicorrizas

La colonización de la raíz por este tipo de micorriza induce la ramificación y el engrosamiento y/o el cambio de coloración de las raíces lo cual puede observarse visualmente en el sistema radical. Su sistema está formado por un tejido de hifas llamado el manto que cubre la superficie de la raíz, ellas penetran dentro de la raíz de la planta pero no dentro de la célula lo que la diferencia de las endomicorrizas. Las ectomicorrizas son importantes para la nutrición forestal y el proceso de reciclaje de nutrientes en los ecosistemas forestales (Medina et al 2010)

5.3.2 Endomicorrizas

Son más del 90% de la población de las micorrizas, que son del tipo llamado vesículo- arbuscular, conocidas como hongos micorrizicos arbusculares (HMA), que forman división dicotómica de las hifas del hongo en el interior de las células de la corteza de la raíz y la vesícula, órganos de reserva inter o intracelulares. Según Barea (2005) los HMA se forman entre los hongos de la clase Zygomycetes (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de los hongos HMA, (Krüger, M. et al. 2012)

Supereino:	Eukaryota
Reino:	Fungi
Subgénero:	Mucoromyceta
División:	Glomeromycota
Subdivisión:	Glomeromycotina

La taxonomía de este tipo de micorrizas se basa en la morfología de las esporas, en los procesos de esporogenesis y en las características de la germinación de las esporas para la identificación del género y especies (Medina et al 2010)

5.3.3 Orquideomicorrizas

Asociadas a Orquidáceas. Poseen la característica distintiva de infectar cormos y rizomas, y rara vez raíces terrestres (Galindo , 2008).

5.3.4 Ericomicorrizas

(Ligadas a la Familia Ericáceas y con muchas similitudes estructurales con las ectendomicorrizas). Caracterizadas por presentar típicas estructuras intracelulares enrolladas e hifas extramatriciales, no forman ni vesícula ni arbusculo, pudiendo formar un manto rudimentario (Galindo , 2008).

5.4 Función en la absorción de nutrientes.

La capacidad de la raíz para tomar nutrientes y los movimientos de estos en el suelo definen la absorción de nutrientes por la planta. La tasa de absorción de iones de alta movilidad en el suelo (como el nitrato) está determinada por la especie vegetal o la variedad y la de los iones poco móviles, como el Fosforo (P), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), y en menor grado del Potasio (K), Azufre (S), Amonio (NH₄), dependen más de la densidad de raíces por volumen de suelo. En este caso la absorción de nutrientes la determinan la morfología de la raíz y el crecimiento del hongo micorrízico en el suelo (Barrera, 2009). El acceso de las plantas a los fosfatos es limitado y depende en gran medida de las características de su sistema radical, el cual determina la eficiencia en la exploración y absorción del fósforo. En plantas con un sistema radical poco desarrollado, esta limitación puede ser superada si es establecida una simbiosis con hongos formadores de micorrizas (Peña et al 2007).

5.5 Proceso de colonización de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA).

El proceso de colonización comienza con la penetración de las hifas entre dos células epidérmicas; entre hifas se ramifican intercelularmente en la corteza, sin llegar a penetrar el endodermo, tejidos vasculares, ni meristemas. El plasmalema de la célula hospedadora no es perforado sino que se invagina, de forma tal que la hifa de penetración y todas sus ramificaciones quedan rodeadas por él.

A medida que el proceso de colonización avanza, se forman dos tipos de estructuras características: los arbusculos y las vesículas dependiendo de la especie de simbionte fúngico que colonice. Las vesículas son estructuras que contienen material lipídico de almacenamiento y constituyen una reserva energética del hongo. Los arbusculos se originan del crecimiento dicotómico de una hifa de penetración, formando así un sistema profuso de hifas ramificadas. Estos son órganos especializados, capaces de una gran actividad metabólica y bien adaptada para el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta (Caceres , 1998).

5.6 El grado de dependencia de la planta a las micorrizas.

La dependencia de la planta está relacionada con el grado con el que precisan de la condición de estar micorrizadas para producir un crecimiento óptimo. Estos van desde la independencia total, como en crucíferas y quenopodiáceas que no suelen formar micorrizas, hasta una dependencia absoluta en el caso de ciertas plantas que son incapaces de desarrollarse, incluso en suelos de elevada fertilidad, si no están micorrizadas, pasando por una extensa gama de tipos intermedios (Barea, 2005)

5.7 Efectividad del hongo.

Aunque en algunos casos existe una correlación positiva entre extensión intrarradical de la interacción del HFMA y respuesta de la planta, esto no puede considerarse una norma general. Efectivamente, tal es el caso de asociaciones planta-hongo escasamente compatibles, en las cuales tanto el grado de infección como la respuesta producida son bajas, o cuando las diferencias en la extensión de la infección son debidas a la existencia de factores limitantes del poder infectivo del hongo, como por ejemplo, la escasez de propágulos, pero en general los hongos más infectivos no tienen porque ser los más infectivos (Barea, 2005). Este factor es absolutamente clave para decidir la necesidad de inocular en una combinación suelo-planta en la que potencialmente cabe esperar que haya una respuesta positiva a las micorrizas. En principio, hay que partir de la base teórica de la omnipresencia de propágulos de HFMA pero, evidentemente, esto no es así en la práctica (Galindo , 2008).

5.8 Morfología y formación de la simbiosis micorriza arbuscular

El hongo es un simbionte obligado, lo que significa que no puede completar su ciclo de vida sin haberse asociado con la raíz de la planta hospedadora (figura 3). Esto es así hasta el punto que tras germinar una espora del hongo en el suelo, si no encuentra cerca una raíz de una planta hospedadora, a las 2 o 4 semanas el crecimiento de la hifa se detiene, la hifa se tibia desde el ápice, y a la vez se produce una extensión de las vacuolas y una retracción del protoplasma hacia la espora que arrastra a los núcleos (Logi et al., 1998). En cambio, la presencia de exudados de raíz

en el suelo estimula el crecimiento y la ramificación de las hifas, que tras encontrarse con la raíz y colonizarla consigue completar su ciclo de vida (Galindo , 2008).

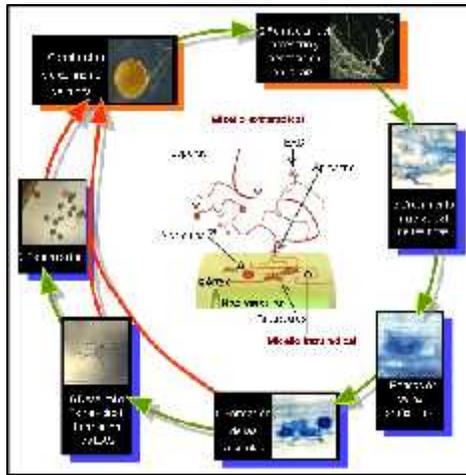


Figura 3. Ciclo de vida de los hongos micorrizicos arbusculares, (Herrera, 2008)

5.9 Lixiviados

Los lixiviados son el resultado de la percolación de líquidos a través de los desechos en proceso de estabilización; es decir, líquidos que brotan a la superficie o se infiltran hacia el terreno donde se encuentra instalado un relleno sanitario o un vertedero de basura. Una de sus principales fuentes es el agua de lluvia depositada sobre el área de influencia, o el agua de composición y de la humedad de los desechos que drenan y percolan a través de los intersticios y capas de basura, proporcionando a su paso toda suerte de reacciones y procesos fisicoquímicos y biológicos (Giraldo, 2001). El color del lixiviado varía entre 3000 y 15000 unidades de color (UC), en tonos que van del café–pardo–grisáceo cuando están frescos, hasta un color negro–viscoso cuando envejecen. Sus olores altamente fétidos y sus características fisicoquímicas, fuertemente variables en cantidad y calidad, hacen que el lixiviado se clasifique como uno de los desechos más contaminantes y que mayor repugnancia genera sobre la comunidad involucrada y el personal técnico que lo debe manipular (Mendez , y otros, 2009).

5.9.1. Calidad de los lixiviados

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía ampliamente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. En particular vale la pena mencionar las diferencias que se tienen en las calidades de los lixiviados entre aquellos de los países desarrollados con los de los países en vía de desarrollo. De manera resumida se puede decir que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países

desarrollados. Esto tiene importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento, y debe tenerse cautela cuando se busque hacer la adaptación de las tecnologías a los casos locales (Giraldo , 2001).

5.10 Plantas nativas de Neiva

5.10.1 Estado actual de la arborización Neiva

Al igual que otras ciudades de clima cálido en Colombia, cuenta con una buena arborización urbana que se evidencia en la gran cantidad de árboles de sus calles, avenidas, parques y en el malecón del río Magdalena. Esta arborización urbana, dentro de la que se destacan altas poblaciones de especies tanto nativas como introducidas, como el oití *Licania tomentosa*, la acacia forrajera *Leucaena leucocephala*, el pomo rojo *Syzygium malaccense*, el almendro *Terminalia catappa*, el chicalá *Tecoma stans*, el guásimo *Guazuma ulmifolia* y el caucho de la india *Ficus elástica*, entre otros, ha generado en los últimos años afectaciones severas a las redes de infraestructura de la ciudad, especialmente a los sistemas de conducción de aguas limpias y aguas servidas; así como a las redes eléctricas y telefónicas en muchos sectores (Molina , 2008).

5.10.2 Especies nativas

Las especies nativas que cuentan con poblaciones representativas son: la acacia forrajera *Leucaena leucocephala*, el carbonero *Calliandra pittieri*, el achiote *Bixa orellana*, el balso *Ochroma pyramidalis*, el cacao *Theobroma cacao*, el castañete *Pachira acuatica*, el ceibo amarillo *Hura crepitans*, el cámbulo *Erythrina fusca*, el caracolí *Anacardium excelsum*, la ceiba *Ceiba pentandra*, el chirlobirlo *Tecoma stans*, el cují *Prosopis juliflora*, el flor morado *Tabebuia rosea*, el gualanday *Jacaranda caucana*, el guásimo *Guazuma ulmifolia*, el guayacán amarillo *Tabebuia crhysantha*, el iguá *Pseudosamanea guachapele*, el mamoncillo *Melicoccus bijugatus*, el matarratón *Gliricidia sepium*, el orejero *Enterolobium cyclocarpum*, el palo de cruz *Brownea ariza*, el payandé *Pithecellobium dulce*, el samán *Samanea saman*, el totumo *Crecentia kujete*, el yarumo *Cecropia peltata* y el zapote *Matisia cordata* (Molina , 2008).

5.10.3 Criterios para la selección de especies

Se seleccionaron especies que fortalecen la estructura ecológica principal en tres de sus componentes: suelo, agua y fauna. Además, se incluyeron especies que dinamizan los ecosistemas, o incrementan la diversidad de la flora y la fauna propias de los mismos, aunque lo hagan de manera indirecta (componente ecosistema). Fijación de nutrientes al suelo: algunos microorganismos, como las micorrizas, entran en simbiosis con las raíces de ciertas especies de árboles (especialmente las leguminosas), y gracias a este proceso, nutrientes provenientes del aire y requeridos para el desarrollo de las plantas (como el nitrógeno) son fijados al suelo. Esto además contribuye a una más fácil absorción de otros nutrientes (Molina , 2008).

5.10.4. Especies usadas para el proceso de propagación

La gramínea es un pasto que se usa en adornos de jardinería; las especies utilizadas fueron *Lolium perenne*, *Cynodon dactylon* y *Paspalum notatum*.

Lolium perenne: Se caracteriza por su rápida germinación. A los 5-7 días después de sembrar ya está la hierba fuera y se ve todo verde (Demagnet, 2012)

Cynodon dactylon: Se puede utilizar como especie única o en combinación con otras especies conociendo de antemano su carácter invasor y desequilibrante de la mezcla (Hernandez Y Bolaños, 2007)

Paspalum notatum: Especie para climas cálidos o tropicales y Especialmente adaptados a áreas de bajo mantenimiento. (Hernandez Y Bolaños, 2007)

6. METODOLOGIA

6.1 FASE PREELIMINAR

En este trabajo se hizo uso de los recursos propios de la región como el suelo y las especies vegetales nativas presentes en el área urbana de la ciudad de Neiva, con el fin de trabajar con microorganismos adaptados a los cambios climatológicos del área de estudio.

6.1.1 Lugares y especies vegetales muestreados

Se realizó muestreos en algunos puntos de la ciudad de Neiva, escogidos de forma aleatoria como parques y zonas boscosas (Figura 4.), para extraer parte del suelo y la raíz de la planta y dar inicio al trabajo sobre HFMA.

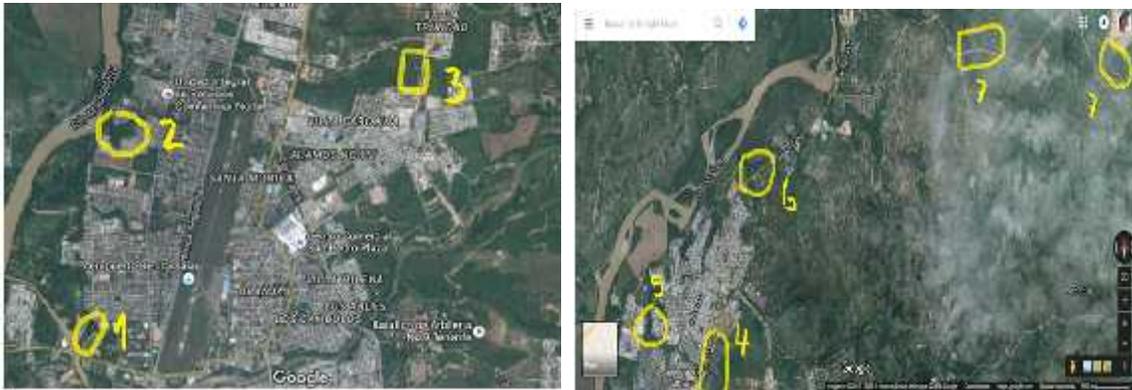


Figura 4. Mapas de los lugares de toma de muestras (Tomado de Google Maps)

Los lugares señalados, son seleccionados de forma aleatoria en dirección al norte de la ciudad de Neiva, cercano al relleno sanitario, con el fin de manejar la adaptabilidad del HFMA; estas zonas son:

1. Zona boscosa de la Universidad Surcolombiana
2. Zona boscosa del barrio Mansiones del norte
3. Zona boscosa Carrera 23, vía al barrio La Trinidad
4. Orillas de la calle 26, vía al barrio Galindo
5. Zona boscosa frente al barrio Villa Marcela
6. Laderas del camino vía a Fortalecillas
7. Laderas del camino al relleno sanitario y dentro del terreno del relleno

La recolección de las muestras de suelo se hizo en la base de la planta tomando el suelo rizosférico de las plantas nativas con el propósito de obtener este tipo de hongos endomicorrízicos los cuales corresponden a más del 90% de la población de los Hongos Formadores de Micorrizas (HFM).

Se seleccionaron especies vegetales, por ser originarias de la zona, de uso agropecuario y forestal, con gran importancia en la relación simbiótica con los microorganismos del suelo. Las especies en mención fueron las siguientes:

- Acacia forrajera (*Leucaena leucocephala*)
- Gualanday (*Jacaranda caucana*)
- Guácimo (*Guazuma ulmifolia*)
- Iguá (*Pseudosamanea guachapele*)
- Yarumo (*Cecropia peltata*)

6.1.2 Toma de muestras de suelo y de raíz en las plantas a estudiar

Luego de seleccionar los lugares de muestreo en la ciudad de Neiva, se recolectaron de forma aleatoria 30 muestras de suelo rizosférico y de raíz a una profundidad de 15 cm obteniendo un total de 210 muestras, sin tener en cuenta el número de individuos de cada planta (figura 5).

	<p>Se realiza una calicata de 20 x 20 x 20</p>		<p>Se limpia la primera capa y se extrae la parte del suelo que está cercana a la raíz</p>
	<p>Se extrae el suelo y se deposita en una bolsa plástica</p>		<p>La muestra se cierra adecuadamente</p>
	<p>Se asigna un código a cada muestra con el fin de identificar el lugar, la especie y el número de muestras totales</p>		<p>Luego de extraer el suelo, se toman las raíces de 2mm de la planta</p>

Figura 5. Pasos de extracción de suelo y de raíz

6.1.3 Extracción de esporas

Después de tomar las 210 muestras de suelo, se llevaron al laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Surcolombiana para homogenizar y obtener submuestras; éstas se estudiaron siguiendo el protocolo sugerido por (Botero et al, 2000) modificado de acuerdo con las recomendaciones del Grupo de Biotecnología de Hongos Formadores de Micorrizas de la Universidad Nacional de Colombia y en el entrenamiento básico realizado en la Universidad de la Salle sede Yopal. El procedimiento a seguir se describe a continuación (figura 6):

El proceso se inicia con el tamizado de 10 gr de suelo, previo remojo en agua por 15 minutos, usando un juego de tamiz de 750 y 400 micras; al residuo obtenido en el último tamiz se le agrega una mezcla de agua con azúcar al 80%, luego se lleva a la centrífuga a 3500 revoluciones por segundo, durante un tiempo de 15 minutos, el sobrenadante obtenido se deposita en un papel filtro para ser observado al estereoscopio.



Figura 6. Pasos para la extracción de esporas

En el proceso de identificación de esporas se tuvo en cuenta características como su color, formación y tamaño.

6.1.4 Porcentaje de colonización de la raíz por HFMA

Para la tinción de raíces se realizó la técnica de Phylips y Hyman 1970, modificada por Rivillas (1995) utilizada en el trabajo de (Botero et al, 2000): se extrajo la raíz de la planta, posteriormente se lavó con agua y se refrigeró hasta el día en que se utilizó; antes de la observación la raíz fue decolorada y teñida con tinta sheaffer al 5% en vinagre (Sanchez et al 2010), (figura 7).



Figura 7. Pasos para sacar el porcentaje de colonización del hongo formador de micorriza

Para analizar el porcentaje se utilizó la técnica de “Intersección de cuadrantes” o “Intersección de campos en placa” (Marsh, 1971; Sieverding, 1984; González, 1993; Brundrett, Melville y Peterson, 1994).

Se toma una caja de Petri en la cual se traza, de manera clara, una malla compuesta por cuadrados de 1 cm, se pone la raíz teñida para la observación y determinación del porcentaje de colonización con ayuda de la fórmula propuesta por Sieverding (figura 8).

$$\% \text{ de infección} = \frac{\text{Número de campos infectados}}{\text{Número total de campos observados}} \times 100$$

Figura 8. Fórmula propuesta por Sieverding (1983)

6.1.5 Suelo rizosférico propagado

Luego de estudiar las esporas y el porcentaje de colonización del hongo, el resto de muestra homogenizada tomada de las especies nativas seleccionadas, se utiliza para el proceso de propagación, al que se denominó suelo inicial.

La propagación de las esporas se llevó a cabo de manera artesanal mezclando 50% de un sustrato compuesto por suelo estéril y cascarilla de arroz con 50% de suelo inicial, mezcla que fue dispuesta en una maseta de 20 cm de alto y en la cual se sembraron plantas gramíneas (pastos de jardinería de clima cálido: 80% *Lolium perenne*, 10% *Cynodon dactylon* y 10 % *Paspalum notatum*) (figura 9); este montaje se dejó aproximadamente durante tres meses.

Posteriormente, se repiten los protocolos de estudio de esporas y el porcentaje de colonización, descritos en la sección 6.1.3 y 6.1.4, los cuales se realizaron en 100 macetas.



Figura 9. Propagación de las esporas del HFM

Los primeros 15 días de germinación y crecimiento se realizó un riego periódico y luego se suspendió durante 7 a 15 días. Según Sieverding (1991), se debe suspender durante 15 días el riego para provocar estrés hídrico en las plantas hospedadoras e inducir la esporulación de los HMA.

6.1.6 Toma de lixiviado y suelo contaminado

Para probar el efecto biorremediador del hongo formador de micorrizas, se utilizó un suelo contaminado (figura 10) tomado del relleno sanitario “Los Ángeles” de la ciudad de Neiva y lixiviado extraído de las piscinas ubicadas dentro del mismo relleno. El suelo y el lixiviado recolectados se llevaron hasta el hangar, lugar de disposición y transformación de los residuos sólidos de la Universidad Surcolombiana.

Las cantidades dispuestas en el hangar correspondieron a 100 Kg de suelo y 50 L de lixiviado (relación 2:1) durante los seis meses que tardó el procedimiento; se realizaron observaciones periódicas (cada tres a cinco días) para establecer la humedad del suelo y en caso de ser necesario se adicionaron cinco litros de lixiviado; posteriormente, se realizó el primer análisis físico-químico del suelo en el laboratorio de suelos de la Universidad Surcolombiana.

Todo estos procedimientos se reumen en la rutade la fase descriptiva planteada, (figura 11).

			
Captación de lixiviado	Toma de suelo	Conservación del lixiviado	Suelo recolectado
			
Preparación de el suelo	Regando el suelo con lixiviados	Disposición de los elementos de trabajo	Lugar de trabajo

Figura 10. Sucesos de la toma de lixiviado y preparación del suelo

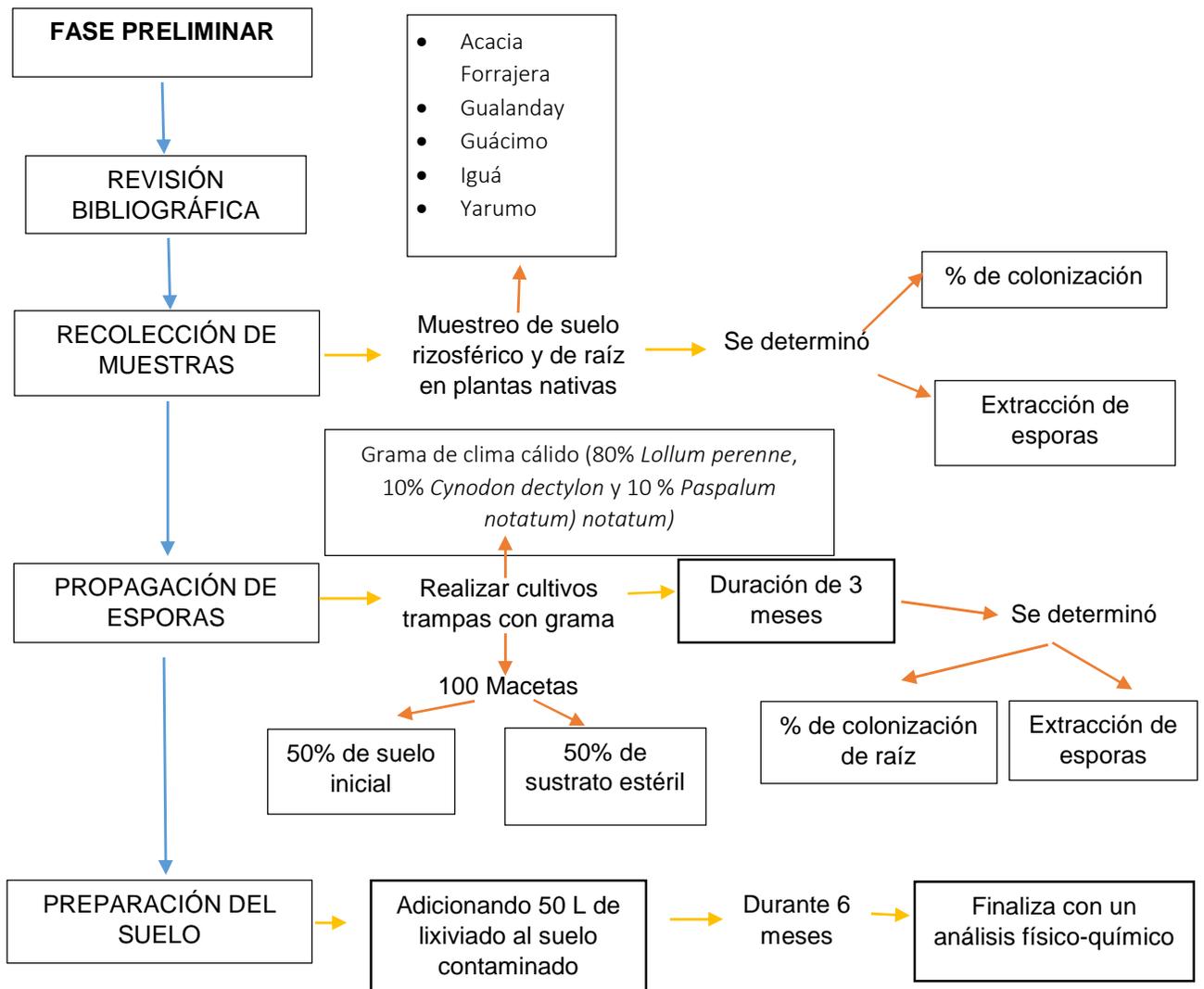


Figura 11. Ruta de la fase descriptiva

6.2 FASE EXPERIMENTAL

En esta fase se llevan a cabo los montajes experimentales, el seguimiento a cada uno de ellos, los análisis físico-químicos y estadísticos.

6.2.1 Preparación de tratamientos

Terminado el proceso de preparación de suelo contaminado, se establecen dos tratamientos: el tratamiento experimental, el cual consiste en el suelo rizosférico propagado (6.1.5) con suelo contaminado y semillas de pasto y sorgo y el tratamiento control, el cual consiste en suelo contaminado con semillas de pasto y sorgo.

6.2.2 Seguimiento visual de la planta en el tratamiento experimental y de la planta en el tratamiento control

En los dos tratamientos las plantas monitoreadas correspondieron a dos gramíneas: maíz sorgo y pasto de jardín; el seguimiento a las plantas (estado y crecimiento) se inició a partir del 11 de noviembre de 2016, con intervalos de una semana tanto en el tratamiento experimental (ver anexo 1) como en el tratamiento control (ver anexo 2). Debido a que en los montajes se presentaron ataques por plagas (hormiga arriera) se optó por sembrar plántulas de café (*Coffea* sp.) en compañía de la grama y el sorgo, con el propósito de evaluar la planta y relacionarlo con el estado del suelo.

Los montajes se llevaron a cabo en macetas con un método de siembra aleatorio.

6.2.3 Toma de muestra de suelo para el estudio físico-químico

Se recolectó una muestra compuesta de suelo (1 Kg) de cada uno de los tratamientos (suelo inoculado y suelo sin inocular) a partir de cinco submuestras tomadas a una profundidad de 15 cm en diferentes puntos y haciendo uso de un tubo pvc de 2 pulgadas. La muestra recolectada se sometió al análisis físico-químico. (figura 12).

	
Se establecen los trazos	Sacar el suelo con la ayuda del tubo
	
Se lleva a un balde y se homogeniza	Se obtiene 1 Kg de suelo

Figura 12. Toma de muestra de suelo para análisis físico-químico

En total se realizaron tres muestreos de suelo para los análisis físico-químicos, con intervalos de tres meses. En el último muestreo, las muestras se tomaron por triplicado con el fin de realizar el análisis estadístico (figura 13).

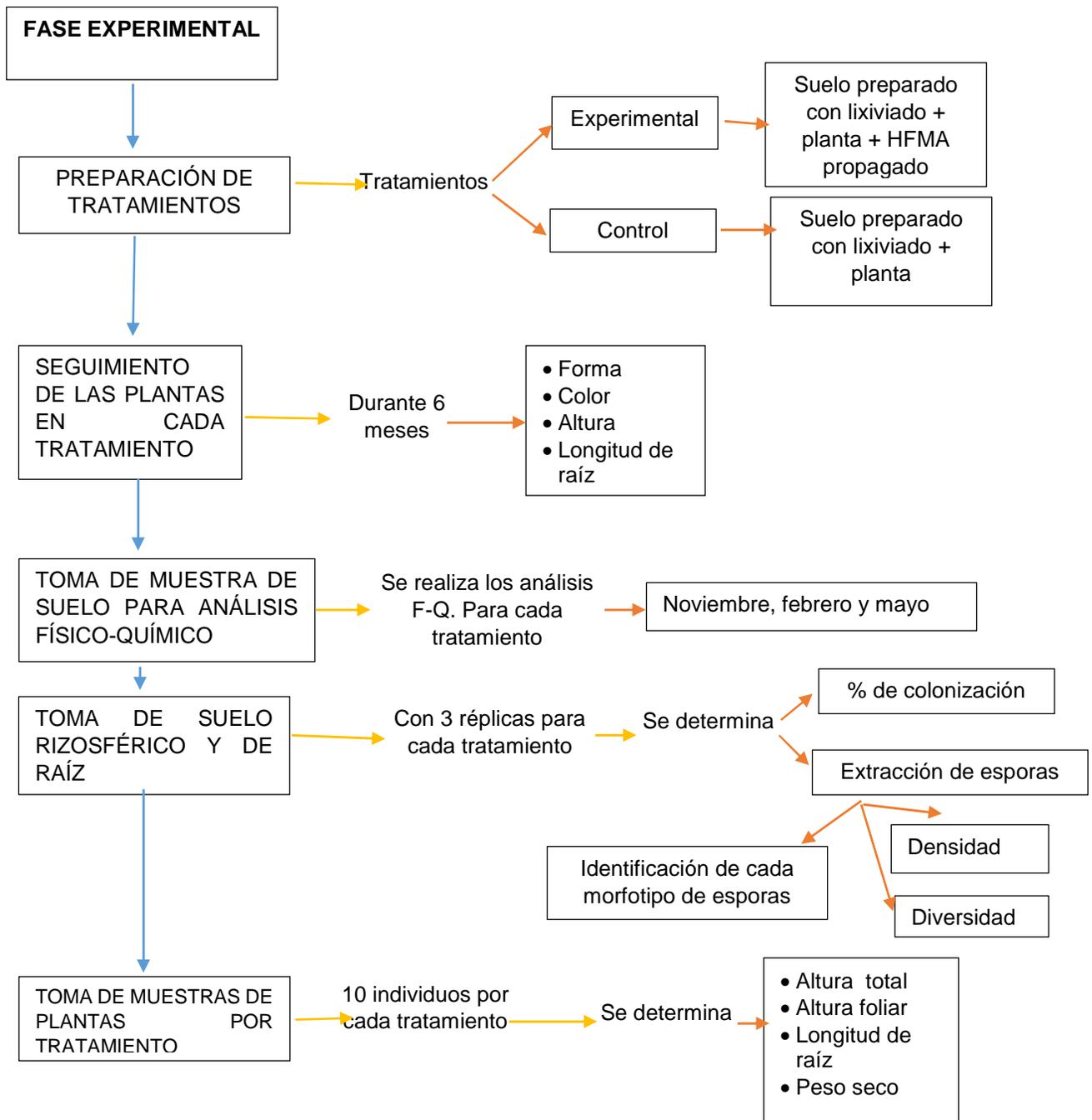


Figura 13. Ruta de la fase experimental

6.2.4 Análisis estadístico

Inicialmente, se determinó la diversidad de HFMA presentes en el suelo rizosférico y se cuantificó la densidad de esporas del hongo en cada tratamiento; las esporas fueron clasificadas en morfotipos según su forma, color y tamaño.

En el análisis por morfología se tuvo en cuenta que las esporas de HFMA no representan individuos, son unidades discretas que pueden ser asignadas a morfotipos y usadas para cuantificar la

diversidad de una comunidad de HFMA en suelo (Smith y Read, 2008). Por lo tanto, se cuantificó el número de morfotipos y la abundancia de cada morfotipo por muestra.

Con el fin de establecer la dispersión de los datos obtenidos tanto en el porcentaje de colonización como en la densidad de esporas, se determinó la desviación estándar.

La diferencia significativa para los datos de riqueza fue evaluada por un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías o Kruskal-Wallis para pruebas no-paramétricas; las diferencias fueron consideradas significativas con un valor $p=0.05$. Se realizó la prueba de Tukey para encontrar la diferencia entre medias; estos análisis fueron realizados con el programa R versión 2.15.0 (R Core Team, 2013).

7 RESULTADOS

7.1 FASE PRELIMINAR – FASE I

7.1.1 Caracterización de morfotipos

Inicialmente, se determinaron 6 morfotipos a partir de las esporas de HFMA aislados en 10 gr de suelo rizosférico de la muestra inicial (tabla 3).

Tabla 3. Morfotipos determinados en zonas boscosas de Neiva

Morfotipo	Color	Tamaño	Forma
1	Café	Pequeño	Ovalado
2	Café	Pequeño	Redondo
3	Beige	Pequeño	Redondo
4	Beige	Mediano	Redondo
5	Amarillo	Mediano	Ovalado
6	Amarillo	Mediano	Redondo

7.1.2 Porcentaje de colonización de HFMA

De las 10 muestras de raíces analizadas, se encontró que el porcentaje de colonización promedio de los HFMA fue de 25% con una desviación estándar de 8,50 (figura 14).

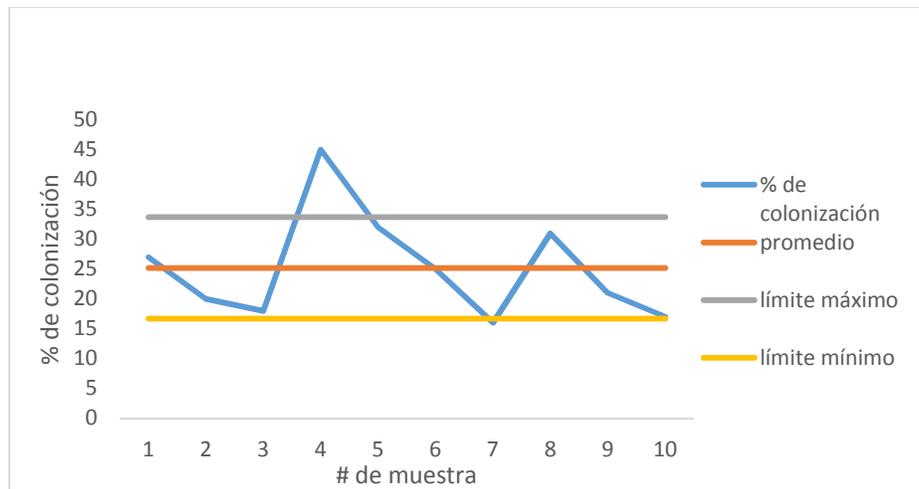


Figura 14. Porcentaje de colonización de los HFMA en plantas propias de la ciudad de Neiva

7.1.3 Extracción de esporas de HFMA a partir del suelo rizosférico propagado

El promedio de la densidad de esporas fue de 156 por 10 gr de suelo (figura 15) a partir de tres submuestras de las diez muestras seleccionadas.

En el suelo rizosférico propagado se determinaron nueve morfotipos (tabla 4).

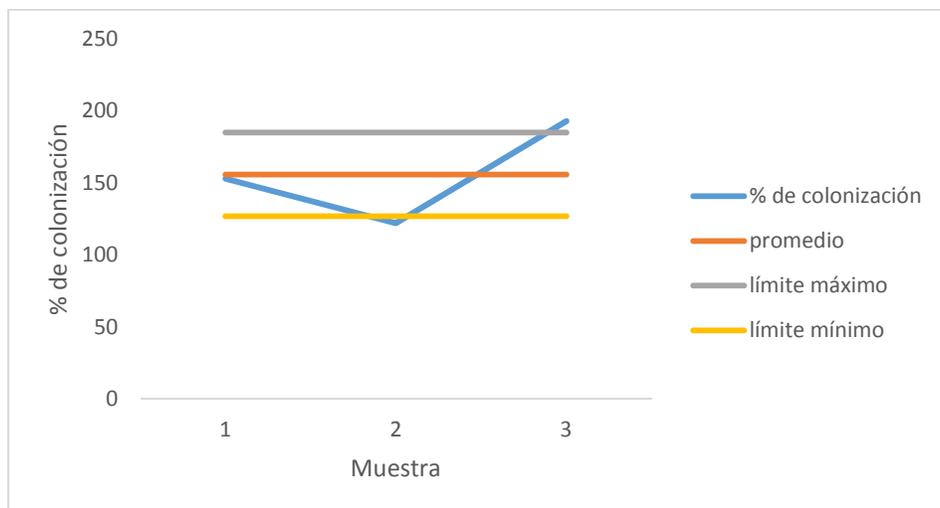


Figura 15. Cantidad de esporas propagadas en 10 gramos de suelo

Tabla 4. Morfotipos determinados en suelo rizosférico propagado

Morfotipo	Color	Tamaño	Forma
1	Café	Pequeño	Redonda
2	Amarillo	Pequeño	Redonda
3	Café	Mediano	Redonda
4	Café	Mediano	Ovalada
5	Amarillo	Grande	Redonda
6	Beige	Mediano	Redonda
7	Beige	Pequeño	Redonda
8	Amarillo	Mediano	Ovalada
9	Café	Grande	Redonda

7.1.4 Porcentaje de colonización de HFMA en suelo rizosférico propagado

El porcentaje de colonización para las raíces de las gramíneas (especie vegetal utilizada en el suelo propagado) fue en promedio de 23,5% con una desviación estándar de 3,6 (figura 16).

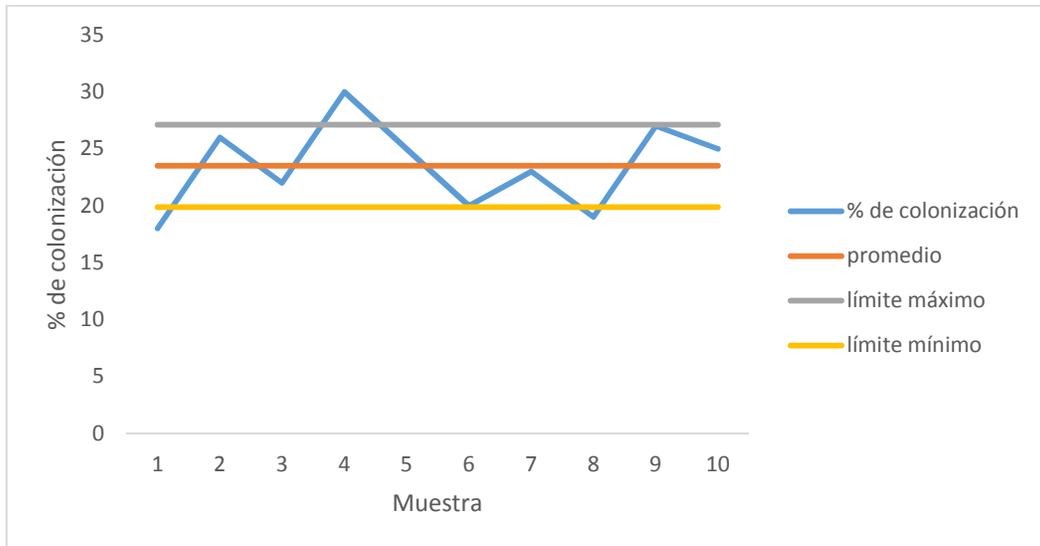


Figura 16. Porcentaje de colonización de HFMA en suelo rizosférico propagado

7.2 FASE EXPERIMENTAL – FASE II

7.2.1 Seguimiento a la planta en el tratamiento control y a la planta en el tratamiento experimental

De la observación realizada en las plantas de cada tratamiento se establecieron diversos cambios, los cuales se consignan en el figura 17. .



Tercera semana después de la siembra	Plántula de café (de 20 días de siembra)	Resiembra y trasplantes de café (cuarta semana de siembra)
		
Montaje 15 días después de la inoculación	Planta de café, 30 días después de la inoculación	Planta de café sin HFMA, 30 días después de la inoculación
		
Raíz de planta con HFMA, 14 semanas después de la siembra	Planta con el HFMA, 14 semanas después de la siembra	Planta sin el HFMA, 14 semanas después de la siembra

Figura 17. Seguimiento al crecimiento de las plantas (tratamiento experimental y tratamiento control)

Con los registros obtenidos se realizaron gráficas de crecimiento de las especies vegetales como las gramíneas y la planta de café, tanto en el tratamiento experimental (figura 18) como en el tratamiento control (figura 19).

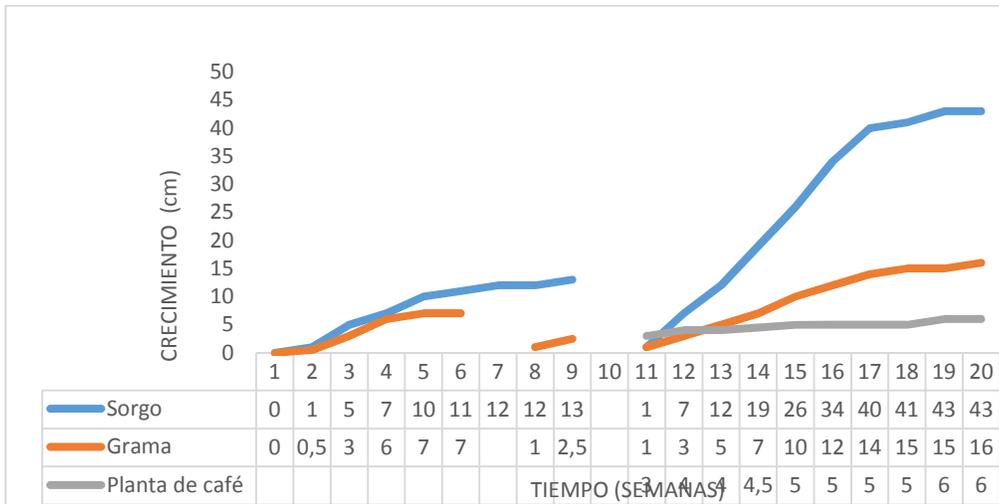


Figura 18. Crecimiento de las plantas con los hongos formadores de micorriza (muestra experimental)

Se puede observar que el crecimiento de la planta no es continuo debido a que se presentaron inconvenientes de adaptación al terreno y por la presencia de plagas como las hormigas arrieras. En la semana 7, la grama de jardín presentó un problema de adaptación en el terreno observándose la germinación de la semilla que a los pocos días murió.

Las plantas de sorgo crecieron hasta la semana 9, donde las hormigas consumieron toda la parte foliar de la planta. Por lo tanto, se decide sembrar plántulas de café que son plantas que menos atacan las hormigas.

El mismo seguimiento se realizó con las plantas sin los hongos formadores de micorriza (HFMA), a lo que se denominó tratamiento control (figura 19).



Figura 19. Crecimiento de la planta sin el hongo formador de micorriza (tratamiento control)

En el tratamiento control se observó que las plantas presentaron dificultad para su adaptación, obligando a reiniciar la germinación de las gramíneas y sembrando cada vez que se morían las plántulas; en el seguimiento que se realizó se observó que en las semanas 3, 7 y 14 se tuvo que resembrar por muerte de un suelo totalmente alcalino (anexo 1). Se observó un ataque de hormigas durante la semana 10.

Al comparar el desarrollo de la planta de sorgo en los dos montajes (figura 20) se aprecia que las condiciones del suelo no son suficientes para el desarrollo de la planta; se puede deducir que la planta de sorgo al no tener la interacción con el hongo presentó dificultad en su adaptación al terreno.

Las gramíneas son las plantas que fueron usadas en estos montajes debido a que resisten los cambios bruscos de clima y las malas condiciones del terreno; en el figura 21 se observa que en el montaje experimental la planta tuvo menos dificultades para su establecimiento en comparación con el montaje control.

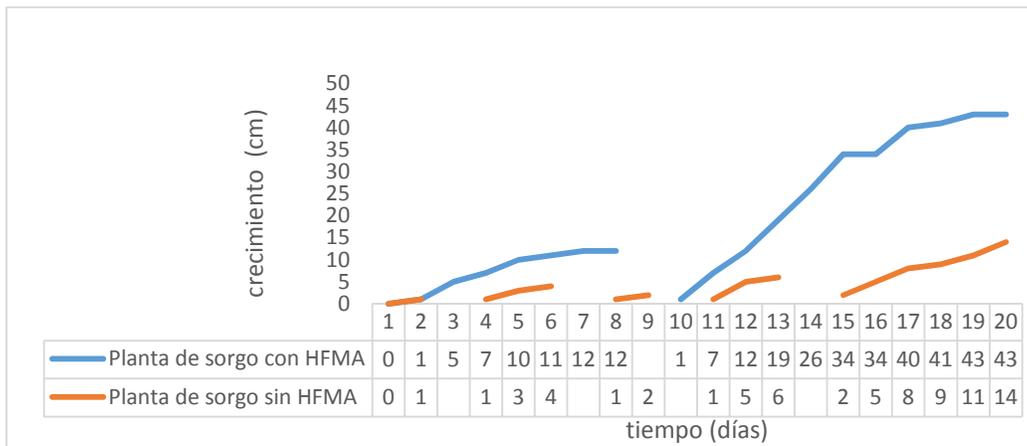


Figura 20. Crecimiento de la planta de sorgo en los dos tratamientos realizados



Figura 21. Crecimiento de la grama en los dos tratamientos realizados

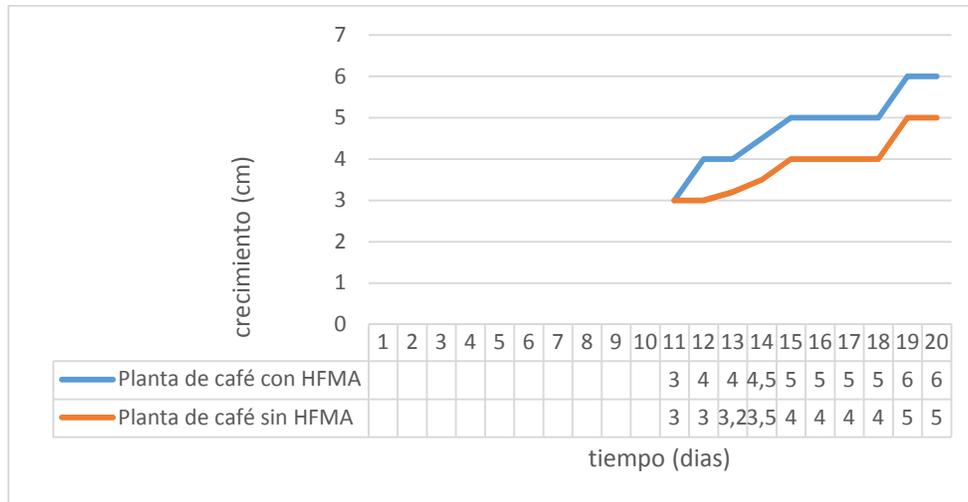


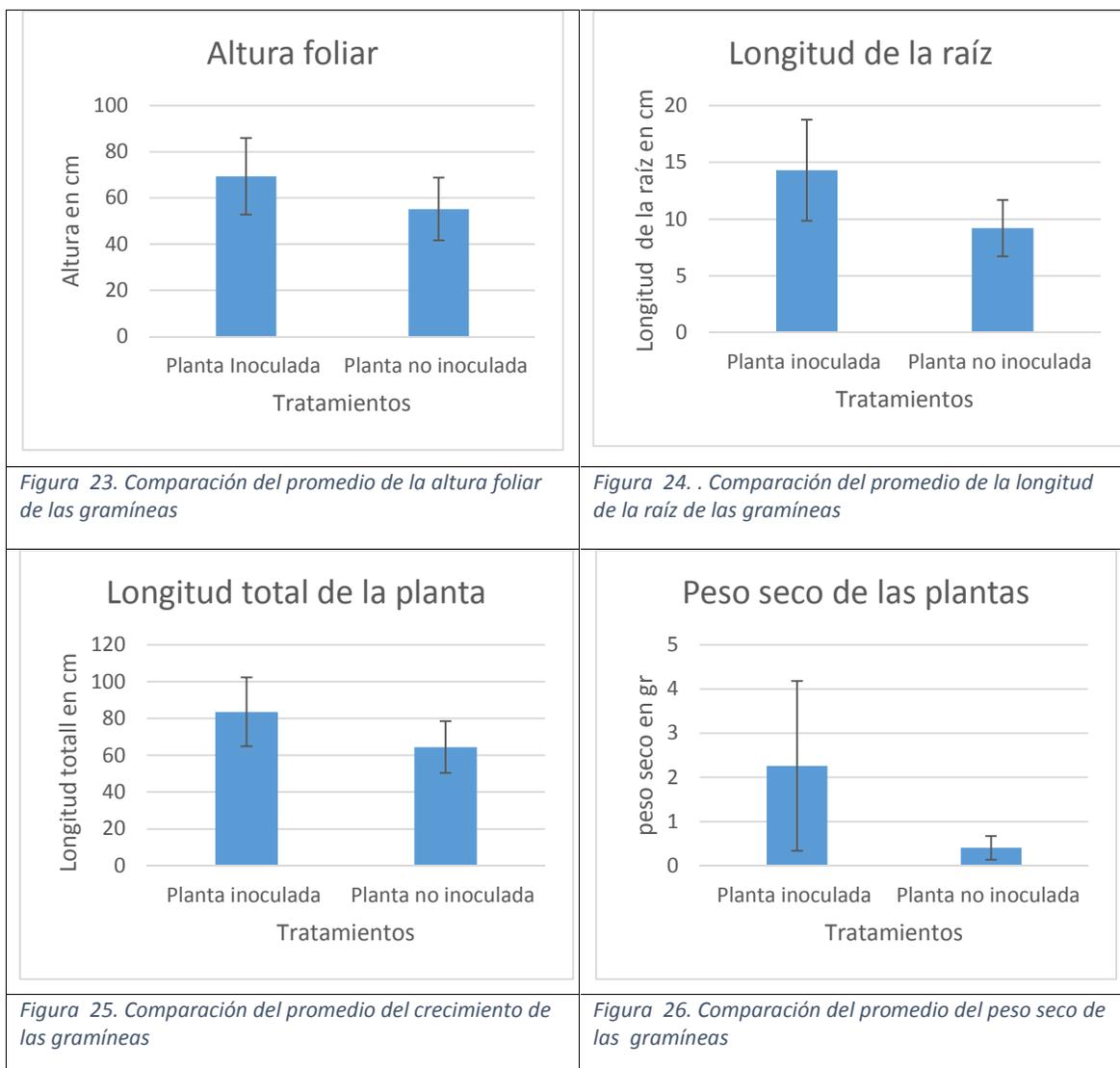
Figura 22. Crecimiento de la planta de café en los dos tratamientos realizados

La implementación de la planta de café en este estudio se basó en razón a que esta planta no es atacada por las hormigas y porque germinó en el suelo de cada uno de los tratamientos. Según Watts(1979) todo organismo vivo, cada especie vegetal, incluido el cafeto, tiene un ciclo de vida y un potencial productivo característicos; en el transcurso de este ciclo es posible distinguir una serie de fases de desarrollo en las cuales la planta o sus órganos permanecen por períodos de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que ocurran en el sitio de cultivo. Esto implica, además, que la condición apropiada para una fase de desarrollo, por ejemplo, el ciclo de vida y fases fenológicas del cafeto puede ser desfavorable para otra fase como la floración y, por consiguiente, los requerimientos de manejo sean diferentes en cada caso.

En el figura 22 se observa que la planta de café requiere del hongo para sobrevivir según las condiciones del suelo (pH alcalino) (anexos 3, 4 y 5), las cuales pueden afectar notablemente a la plántula y que puede apreciarse en el tratamiento control: la planta no solo se está viendo afectada en el crecimiento, sino en su desarrollo durante el crecimiento (anexos 1 y 2); en el tratamiento control se observa que la cantidad de hojas es mínima, los bordes se presentan quemados o son muy pequeñas, mientras que las plantas del tratamiento experimental tienen el mismo crecimiento pero su estado foliar se encuentra en las mejores condiciones debido a la asociación con el hongo.

7.2.2 ESTADO DE LA PLANTA

Las figuras 23, 24, 25 y 26 reflejan el efecto de los dos tratamientos (planta inoculada con HFMA y planta no inoculada con HFMA) sobre la altura foliar, la longitud de la raíz, la longitud total de la planta y el peso seco. Los resultados corresponden al último muestreo



7.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PLANTA DE ESTUDIO

Tabla 5. Probabilidad significativa entre tratamientos

Estados de la planta	Tratamiento	Media	Mediana	Valor p
Crecimiento de la raíz	Control	2,040	2,000	0,0159
	Experimental	2,814	2,333	
Altura foliar	Control	11,280	9,600	0,0409
	Experimental	14,370	13,222	

Tamaño total	Control	11,560	10,400	0,0305
	Experimental	15,628	14,666	
Peso seco	Control	0,184	0,165	0,0287
	Experimental	1,356	1,109	

Las diferencias fueron consideradas significativas con un valor $P = 0.05$, cuando son menor se consideran no significativas.

7.2.4 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS

Esta variable de medida mostró que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, una vez se estudiaron las raíces de las cinco plantas nativas seleccionadas para este estudio.

Comparando los resultados del porcentaje de colonización entre los dos tratamientos (figura 27) se observó que este porcentaje es mayor en el tratamiento experimental donde las plantas fueron inoculadas con el HFMA; sin embargo, la diferencia entre los dos tratamientos no es estadísticamente significativa (anexo 10). La colonización por HFMA en el tratamiento control se puede explicar por la persistencia de esporas en el suelo después del tratamiento de solarización. Smith y Read (1997) afirman que en el suelo las poblaciones de HFMA están compuestas de esporas de diferentes edades y en diferentes estados de dormancia.

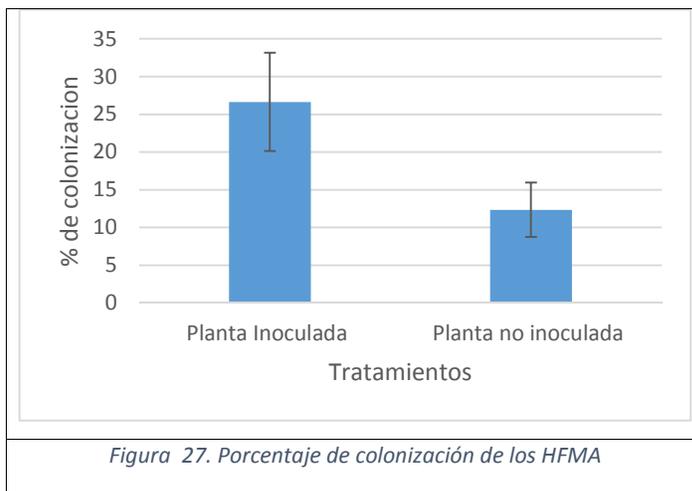


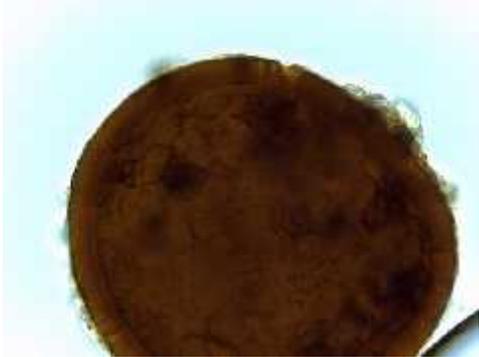
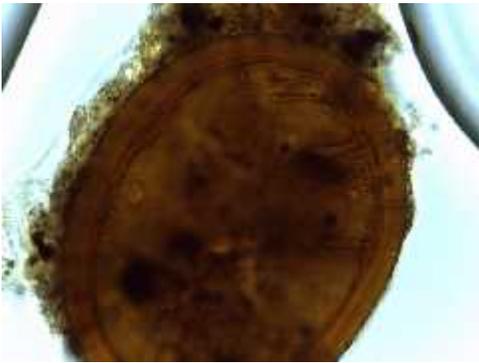
Tabla 6. Análisis estadístico del porcentaje de colonización entre tratamientos

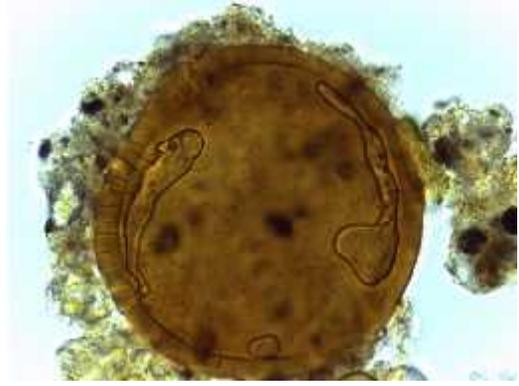
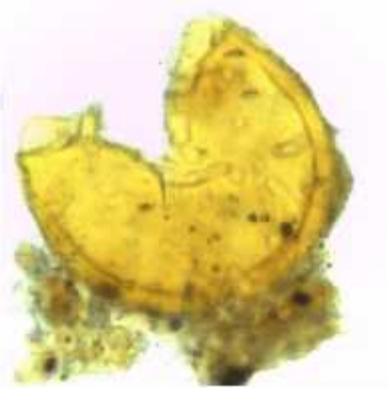
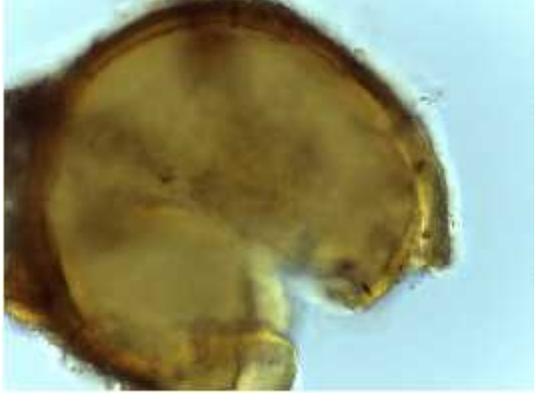
Estados de la planta	Tratamiento	Media	Mediana	Valor P
% de colonización	Control	2,850	2,710	0,0001
	Experimental	4,480	4,480	

Las diferencias fueron consideradas significativas con un valor $P = 0.05$, cuando son menor se consideran no significativas.

7.2.5 IDENTIFICACION DE ESPORAS

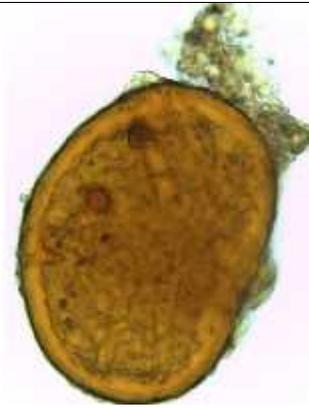
Se identificaron 16 morfotipos en el último muestreo realizado (figura 28), los cuales fueron diferenciados teniendo en cuenta color, tamaño y forma de las esporas (tabla 7).

	
Morfotipo # 1 (100x), espora 1 Género <i>Glomus</i>	Morfotipo # 1 (100x), espora 2 Género <i>Glomus</i>
	
Morfotipo # 1 (100x), espora 3 Género: <i>Glomus</i> .	Morfotipo # 2 (100x) Género: <i>Glomus</i>

	
<p>Morfotipo # 3 (100x) Género: <i>Glomus</i></p>	<p>Morfotipo # 4 (100x) Género: <i>Glomus</i></p>
	
<p>Morfotipo # 5 (100x), espóra 1 Género: <i>Glomus</i>.</p>	<p>Morfotipo # 5 (100x), espóra 2 Género: <i>Glomus</i>.</p>
	
<p>Morfotipo # 6 (100x) Género: <i>Rhizophagus</i> .</p>	<p>Morfotipo # 7 (100x), espóra 1 Género: <i>Claroideoglomus</i> .</p>



Morfotipo # 7 (100x), espora 2
Género: *Claroideoglonus*.



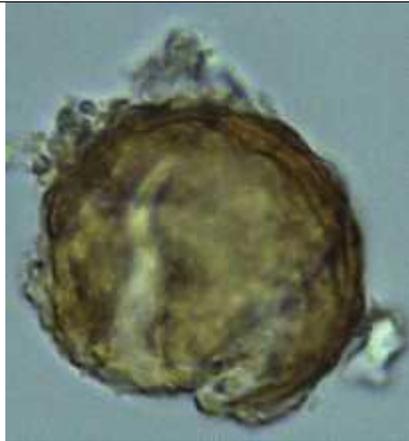
Morfotipo # 8 (100x)
Género: *Glomus*.



Morfotipo # 9 (100x), espora 1
Género: *Glomus*.



Morfotipo # 9 (100x), espora 2
Género: *Glomus*.



Morfotipo # 10 (100x)
Género: *Rhizophagus*.



Morfotipo # 11 (100x)
Género: *Funneliformis*.

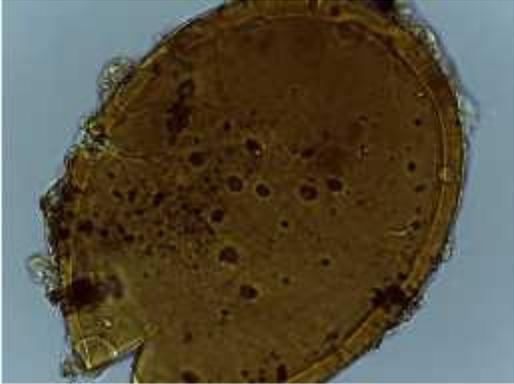
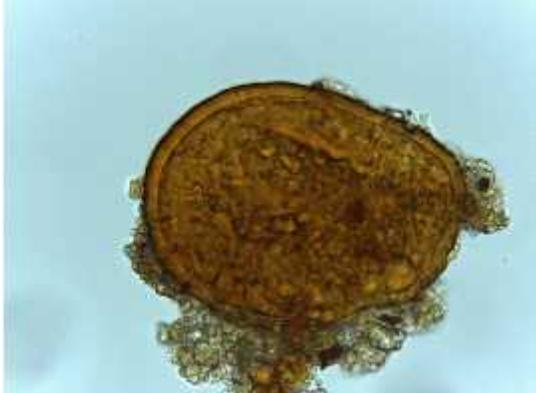
	
<p>Morfotipo # 12 (100x) Género: <i>Glomus</i>.</p>	<p>Morfotipo # 13 (100x) Género: <i>Rhizophagus</i>.</p>
	
<p>Morfotipo # 14 (100x) Género: <i>Funneliformis</i>.</p>	<p>Morfotipo # 15 (100x) Género: <i>Glomus</i>.</p>
	
<p>Morfotipo # 16 (100x) Género: <i>Glomus</i>.</p>	

Figura 28. Identificación de morfotipos

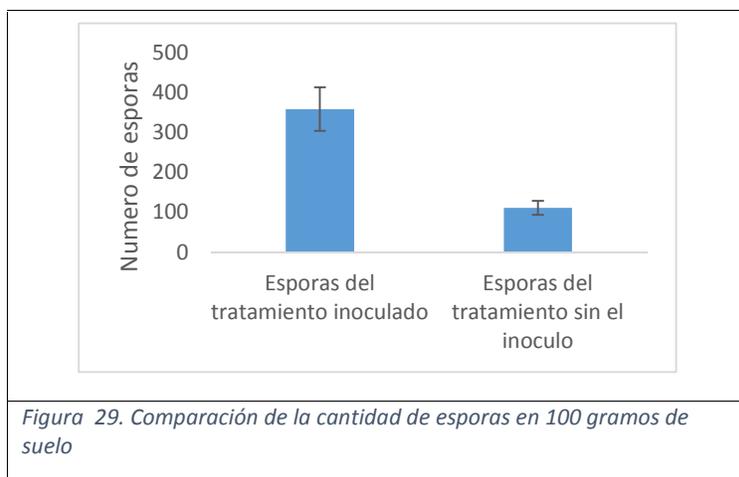
Los morfotipos encontrados se clasificaron en los géneros *Claroideoglomus* sp., *Funneliformes* sp., *Rhizophagus* sp. y *Glomus* sp., siendo este último el de mayor abundancia en el tratamiento control.

Tabla 7. Parámetros de clasificación de los morfotipos

Morfotipo	Color al			
	estereoscopio	Tamaño	Forma	Formación
1	Café	Pequeño	Ovalada	Glomoide
2	Caramelo	Mediano	Ovalada	Glomoide
3	Café	Pequeño	Redonda	Glomoide
4	Beige	Pequeño	Redonda	Glomoide
5	Beige	Mediano	Redonda	Glomoide
6	Amarillo quemado	Mediano	Ovalada	Glomoide
7	Caramelo	Pequeño	Redonda	Glomoide
8	Café claro	Mediano	Ovalada-fríjol	Glomoide
9	Café	Mediano	Redonda con hifa	Glomoide
10	Beige	Muy pequeño (enanas)	Redonda	Glomoide
11	Amarillo	Pequeño	Redonda	Glomoide
12	Beige	Mediano	Ovalada	Glomoide
13	Amarillo	Mediano	Redonda	Glomoide
14	Caramelo	Muy pequeño (enanas)	Redonda	Glomoide
15	Caramelo	Mediano	Redonda	Glomoide
16	Café oscuro	Mediano	Redonda	Glomoide

7.2.6 ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Durante el último muestreo se analizó la cantidad de esporas contenida en 100 gramos de suelo, con el fin de establecer la diferencia entre tratamientos (figura 29).



Después del análisis e identificación de morfotipos, se midió la riqueza y abundancia de los HFMA en el espacio extra radical, a partir de tres réplicas por tratamiento (tabla 8). T1 corresponde al tratamiento experimental y T2 al tratamiento control.

Tabla 8. Variables de diversidad de esporas

	TRATAMIENTO	REPLICAS	Eveness	Índice de Simpson	Índice de Shannon	Riqueza de
1	T1	1	0.87190596	0.87090909	2.23639462	13
2	T1	2	0.85730105	0.87755102	2.26246662	14
3	T1	3	0.8898337	0.8852	2.34832213	14
4	T2	1	0.88395949	0.8688	2.1965568	12
5	T2	2	0.86717052	0.8806	2.34834131	15
6	T2	3	0.84625094	0.82382341	1.94856479	10

7.2.7 DIVERSIDAD DE ESPORAS:

Los procedimientos estadísticos para analizar la diversidad de esporas se presentan en los anexos 11 a 16.

Tabla 9. Análisis estadístico para la diversidad de esporas de HFMA entre tratamientos

DIVERSIDAD DE ESPORAS	Tratamiento	Media	Mediana	Valor p
Densidad de esporas	Control	14,200	14,200	0.0001
	Experimental	43,000	43,000	
Riqueza de morfotipos	Control	13,666	13,666	0.0001
	Experimental	12,333	12,333	
Índice de Shannon	Control	2,2823	2,2823	0.0001
	Experimental	2,1644	2,1644	
Índice de Simpson	Control	0,8778	0,0878	0.0001
	Experimental	0,8577	0,8577	

No se presentaron varianzas iguales (tabla 8), por lo cual se aplicó el test Welch en el que un valor $p < 0.05$ sugiere diferencias significativas entre tratamientos (anexo 17).

Los valores de diversidad como de Riqueza, Índice de Shannon, Índice de Simpson y Uniformidad no reflejaron diferencias significativas entre tratamientos (anexo 18 y 19).

En la tabla 9 se observa que, de acuerdo con los valores del índice de Simpson, entre más se acerca a cero mayor es la biodiversidad; respecto al índice de Shannon, valores inferiores a 2 se relacionan con baja diversidad (anexos 20 y 21).

Tabla 10. Valores normales de los tratamientos del índice de Shannon y Simpson

TRATAMIENTO	INDICE DE SIMPSON	INDICE DE SHANNON
Control	0,87788670	2,2823945
Experimental	0,85779114	2,1644876

En los dos tratamientos se observó diferencia en los porcentajes de esporas: en el tratamiento experimental se determinó una mayor cantidad de esporas en el morfotipo 4 (figura 30), mientras que en el tratamiento control se observó una gran cantidad de esporas en el morfotipo 5 (figura 31).

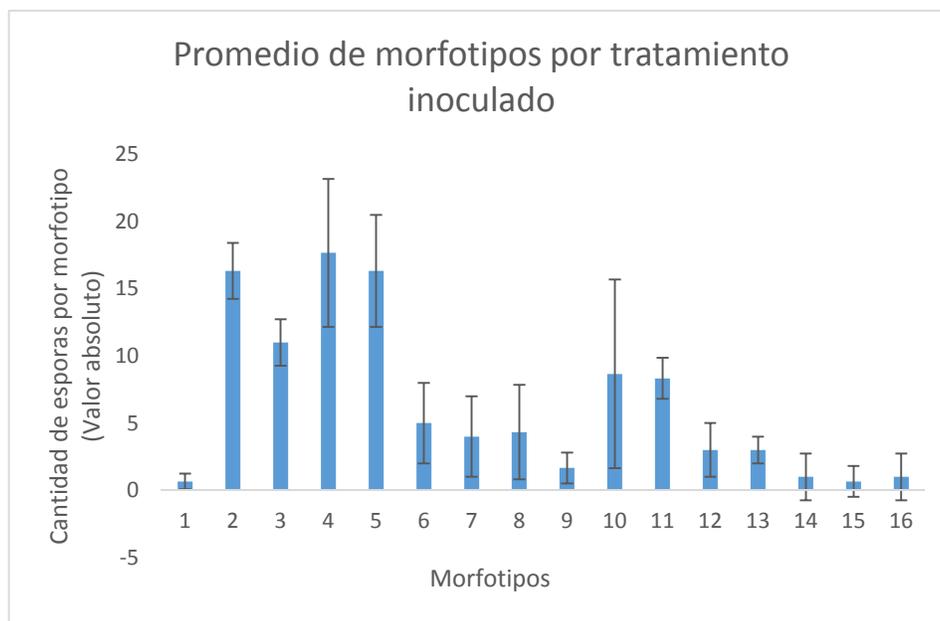


Figura 30. Promedio de esporas según los morfotipos identificados en plantas inoculadas

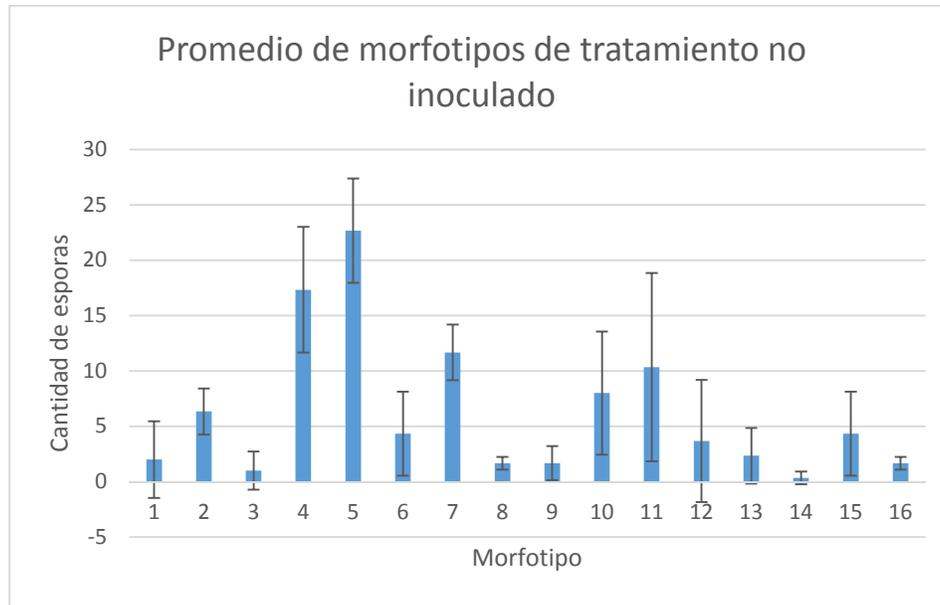


Figura 31. Promedio Morfotipos en el tratamiento control

La disminución de algunos macro y microelementos del suelo (anexo 22) además de las condiciones ambientales para cada especie de hongo, determina el aumento o disminución de las esporas según el morfotipo.

7.2.8 ANALISIS QUIMICO DEL SUELO

Se realizó el análisis químico del suelo (anexos 3, 4 y 5) para conocer las concentraciones de los compuestos químicos presentes allí como los elementos menores y mayores y para evaluar el estado de recuperación que causó el HFMA en interacción con la planta.

En los dos los tratamientos las concentraciones de los elementos químicos estudiados se determinaron tanto en ppm (mg/L) (figura 32 y 33) y centimoles/kilogramo (cmol+.kg-1) (figura 34 y 35); de igual forma, se evaluó el pH (figura 36) para conocer el estado de acidez del suelo y su influencia en los elementos analizados.

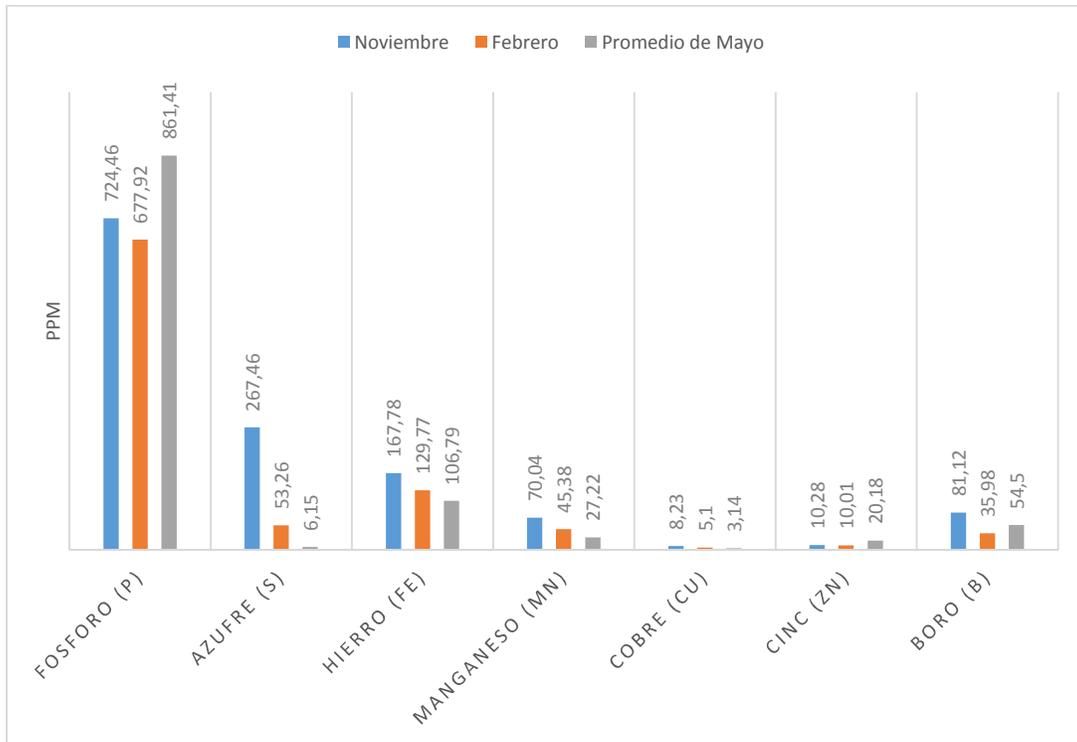


Figura 32. Análisis químico del tratamiento experimental (ppm)

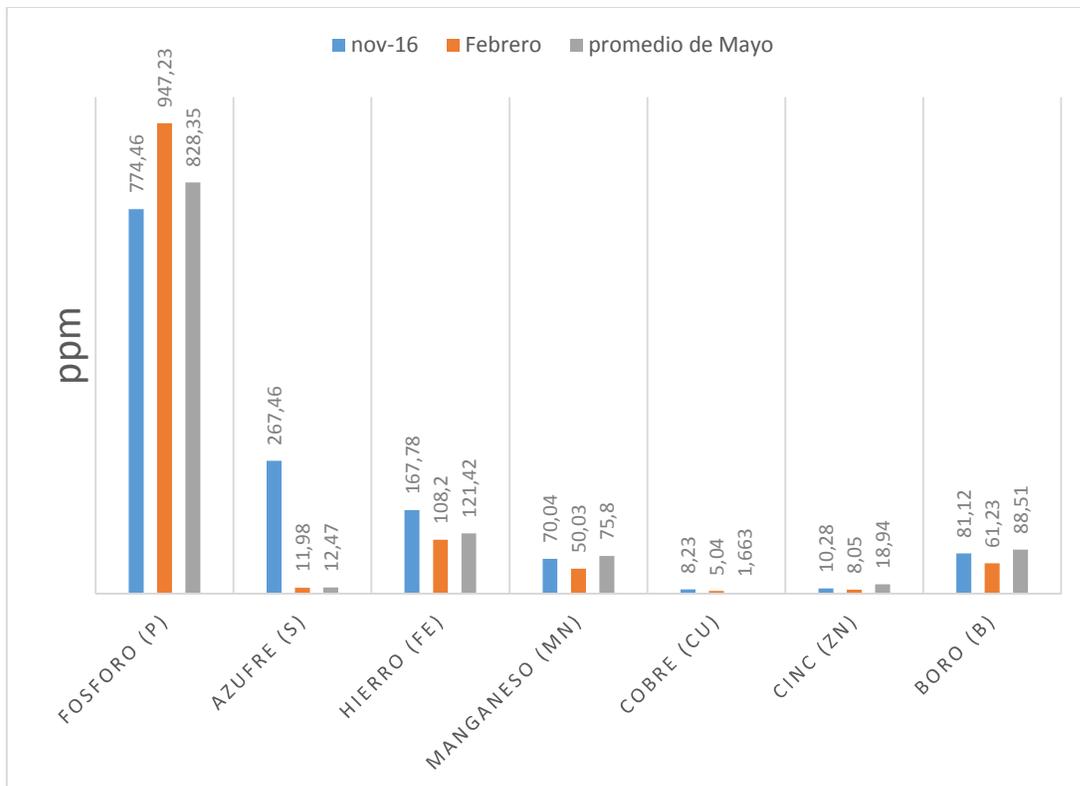


Figura 33. Análisis químico del tratamiento control (ppm)

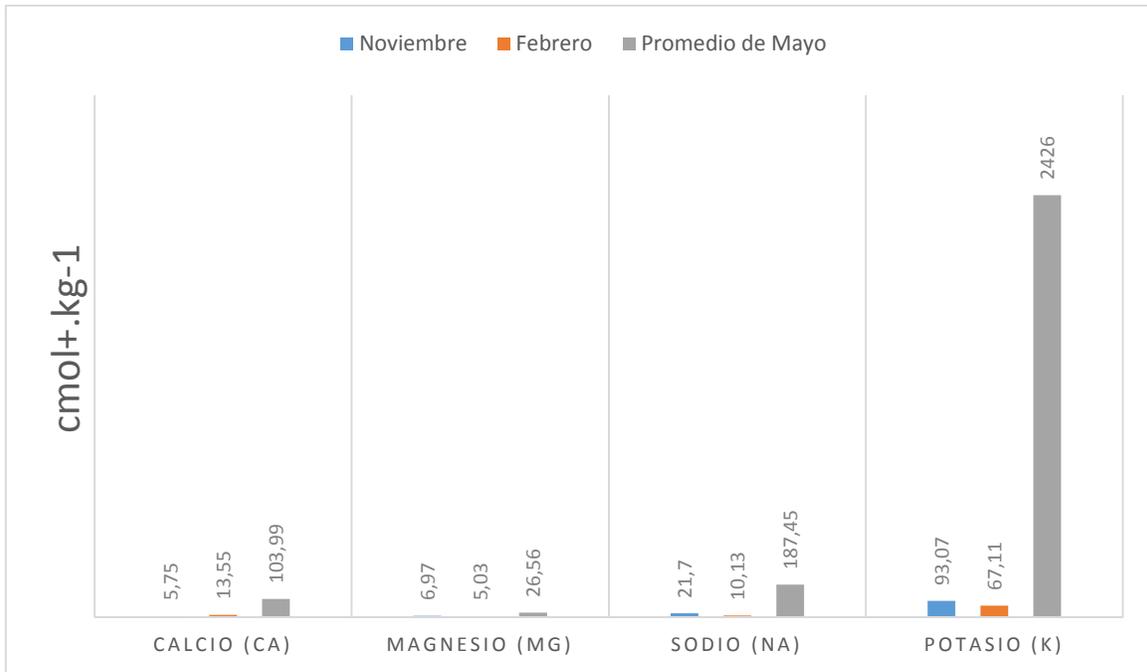


Figura 34. Análisis químico del tratamiento experimental (cmol+.kg-1)

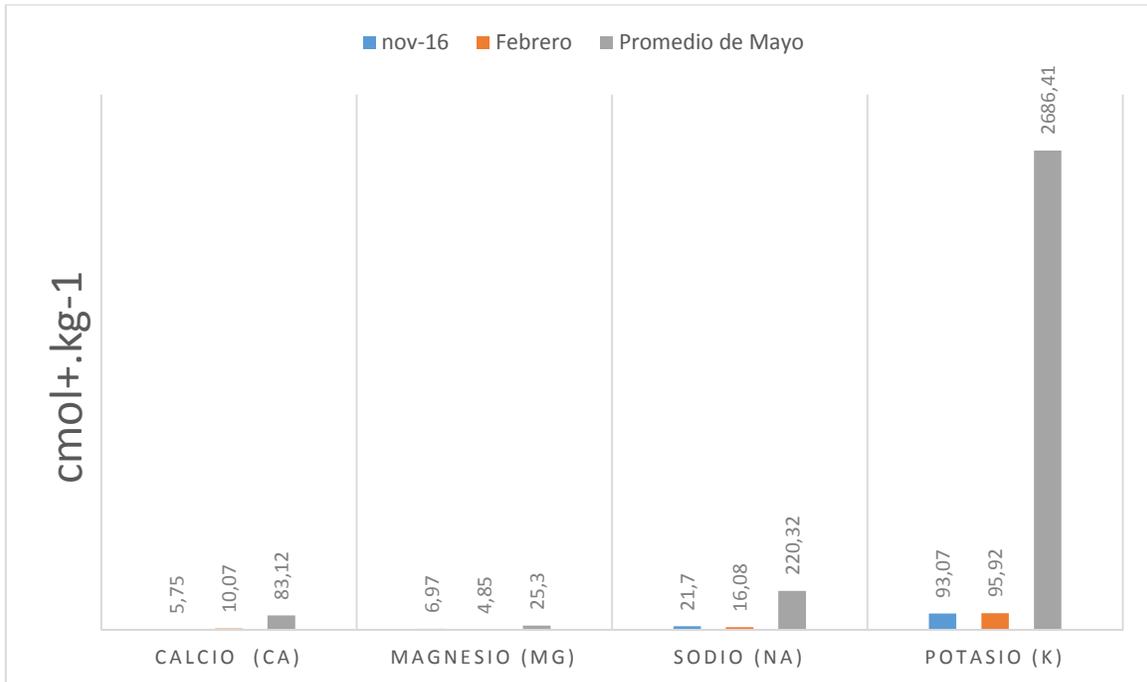


Figura 35. Análisis químico del tratamiento control (cmol+.kg-1)

Para el manejo del pH

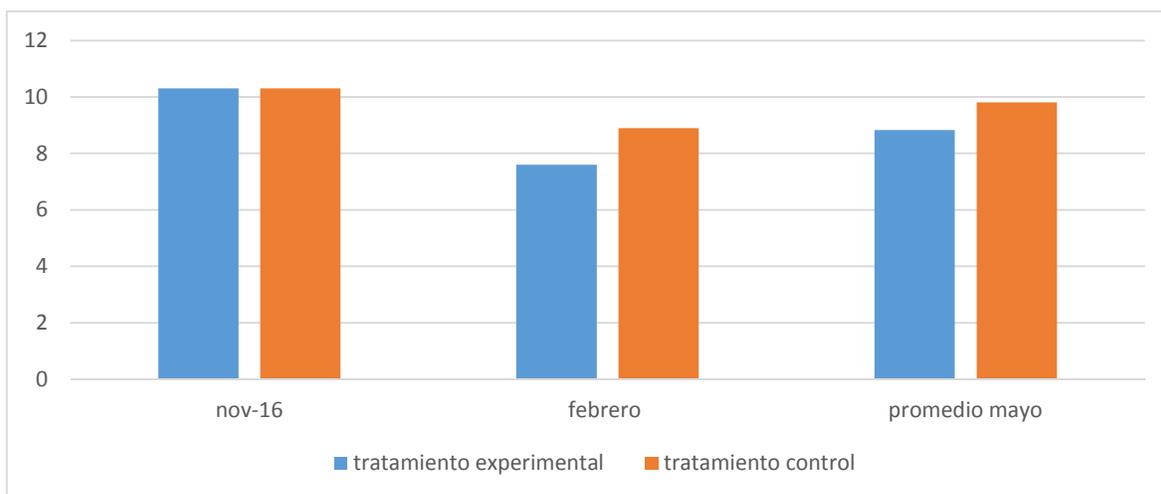


Figura 36. pH de los tratamientos

7.2.9 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO

El estudio estadístico se realizó en el último periodo del análisis químico con tres réplicas por tratamiento (anexo 5) (tabla 11).

Figura 37. Diferencias significativas de los elementos y temas analizados entre tratamientos

Elemento o tema evaluado	Tratamiento	Media	Valor p
pH	Control	9,8100	0,0145
	Experimental	8,8366	
Carbono orgánico	Control	1,4133	0,7945
	Experimental	2,1233	
Capacidad de intercambio catiónico	Control	13,1633	0,7898
	Experimental	12,2467	
Fósforo	Control	861,78	0,8190
	Experimental	828,35	
Calcio	Control	103,99	0,6081
	Experimental	83,123	
Magnesio	Control	25,3033	0,8359

	Experimental	26,5667	
Sodio	Control	220,32	0,4086
	Experimental	187,45	
Potasio	Control	2686,57	0,6493
	Experimental	2297,38	
Bases totales	Control	3015,31	0,6659
	Experimental	2615,39	
Azufre	Control	12,4700	0,9205
	Experimental	6,1567	
Hierro	Control	106,79	0,4184
	Experimental	121,42	
Manganeso	Control	75,8067	0,0240
	Experimental	27,2200	
Cobre	Control	1,6333	0,0345
	Experimental	3,1466	
Cinc	Control	18,9467	0,9255
	Experimental	20,1800	
Boro	Control	88,5133	0,6135
	Experimental	64,5000	
(Ca+Mg)K	Control	3,2305	0,3153
	Experimental	3,6534	
Mg/K	Control	0,0105	0,6894
	Experimental	0,0115	

Las diferencias fueron consideradas significativas con un valor $P = 0.05$, cuando son menor se consideran no significativas.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la fase preliminar mostraron una baja colonización del hongo y un número de morfotipos relativamente bajo (6), debido a las condiciones del suelo boscoso de la ciudad de Neiva (Pérez y Vertel. 2010); durante el proceso de propagación de forma artesanal en el que incrementó el porcentaje de colonización y el número de morfotipos (9) el cambio de especie vegetal de tipo arboreo al grupo de las gramíneas afectó el resultado debido a que el ciclo vegetativo de estas últimas especies es más corto. Según (Cuervo y Rivas, 2007) 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; algunos estudios han demostrado el efecto de la inoculación de pasturas con micorrizas nativas sin fertilización con respecto al suelo estéril (sin inoculación y sin fertilización) sobre el desarrollo, calidad nutricional y contenido de nutrientes en el tejido de las pasturas, número de esporas y porcentaje de colonización siendo de mayor eficiencia el que usa cepas nativas (Salamanca, 1999).

Los análisis físico-químicos indicaron que las condiciones del suelo no son aptas para el desarrollo de las plantas, lo cual se atribuye a la sobresaturación de lixiviados que altera las condiciones físicas y químicas del suelo, no garantizan la vida microbiana ni la fácil movilidad de los minerales para su aprovechamiento; según Vega y Mendoza (1999), el conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas hacen del suelo un sistema clave, con especial importancia en ciclos biogeoquímicos superficiales. En los tratamientos experimental y control se observó que las plantas gramíneas usadas presentaron dificultades en la adaptabilidad al suelo contaminado por la alteración en sus micro y macro nutrientes; sin embargo durante el tratamiento experimental se facilitó la germinación de las semillas lo que demuestra la importancia de la simbiosis micorrizas arbusculares y plantas en el mejoramiento de las condiciones físico-químicas del suelo, la estimulación del crecimiento e incremento de la calidad nutricional de las especies vegetales haciéndolas más tolerantes a condiciones adversas tanto abióticas (degradación del suelo por su alto contenido de nutrientes y presencia de metales pesados) como bióticas (Bago y Azcon, biológica diversa y activa esencial para incrementar la sostenibilidad de los agroecosistemas. La inoculación con hongos formadores de micorrizas es conocida por

incrementar el crecimiento y producción de las plantas (Raman *et al.*, 2001; Boby *et al.*, 2008).

La mayor adaptabilidad de las plántulas de café durante el tratamiento experimental se debió a que durante sus primeras fases de vida o etapa de vivero son más resistentes a los ataques por hormigas lo que hace que sea este el momento adecuado para la inoculación con hongos micorrízicos (Sieverding, 1991; Trejo *et al.*, 1998); de igual forma, las plantas de café, según López *et al.* (1983) son consideradas especies endomicorrízicas obligadas. En el gráfico 10 se observa que la planta de café requiere del hongo para sobrevivir según las condiciones del suelo (pH alcalino) (anexos 3, 4 y 5), lo cual puede apreciarse en el tratamiento control: la planta no solo se está viendo afectada en el crecimiento, sino en su desarrollo (anexos 1 y 2); en el tratamiento control se observa que la cantidad de hojas es mínima, los bordes de la planta se presentan quemados o son muy pequeños, mientras que las plantas del tratamiento experimental tienen el mismo crecimiento pero su estado foliar se encuentra en las mejores condiciones debido a la asociación con el hongo.

El estado de la planta durante el tratamiento con HFMA (tratamiento experimental) fue significativamente diferente al tratamiento control, en particular en aspectos como la altura foliar (mayor cantidad de hojas), el crecimiento de la raíz, la cantidad de raicillas y el peso seco. El tratamiento con HFMA determinó el desarrollo de las plantas (Smith *et al.*, 2000) y podría, incluso, significar que una amplia diversidad de HFMA puede estar relacionada con un incremento en la eficiencia de extracción de nutrientes y, por lo tanto, en los beneficios al hospedero (Kernaghan, 2005) y explicaría la presencia de diversos HFMA en suelos y en raíces en los tratamientos (Lodge, 2000).

Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos cuando se analizó el porcentaje de colonización durante el último muestreo, aunque se observó que en el tratamiento experimental hubo mayor colonización que en el tratamiento control, en este último las esporas lograron mantenerse latentes en el suelo, aunque no fue suficiente para ayudar en el proceso de biorremediación del suelo. Según Pérez y Fuentes (2009), durante el proceso de modelación logística la densidad de esporas de HFMA puede variar en los terrenos dependiendo las condiciones edafológicas, para favorecer el estado de las plantas.

De acuerdo con el índice de Simpson las diferencias significativas encontradas entre tratamientos al momento de estudiar la densidad de esporas se debe a que la simbiosis entre el hongo y la planta favorece la tolerancia del estrés abiótico del suelo (Smith y

Gianinazzi-Pearson, 1988; Smith y Read, 2008), lo que ayuda a mejorar las características físicas y químicas del suelo (Smith and Read, 2008).

Las variaciones en el pH del suelo inicial respecto a los tratamientos control y experimental indica que estos cambios produjeron un desequilibrio en los micros y macro elementos como el fósforo, calcio, magnesio, sodio, potasio, azufre, hierro, manganeso, cobre, cinc y boro.

La sobresaturación de fósforo, potasio, azufre y boro, además de las deficiencias de calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y cinc, modificaron el pH del suelo disminuyendo su valor de 10.3 en el suelo inicial a un valor de 8.33. Según (Pérez y Vertel, 2010) en los suelos el efecto del pH es difícil de evaluar, debido a que las propiedades químicas cambian con el pH, al igual que la solubilidad y disponibilidad de otros elementos hacia las raíces de las plantas en el suelo.

Los HFMA tienen amplia capacidad de adaptación: se han encontrado esporas de HFMA en suelos con rangos de pH desde 2.7 (ácidos) a 9.2 (alcalinos); sin embargo, en suelos de producción agropecuaria se requiere de un suelo con pH de 4.5 a 5.5 (Alloush *et al.*, 2000; Sánchez, 1999).

Según Bolaños B., Rivillas O., Suárez V. (2000) el promedio de la densidad de esporas por cada 10 gramos de suelo oscila entre 100 y 450 esporas, rango en el que se encuentra el valor promedio obtenido en este estudio: 155 esporas por 10 gramos de suelo (gráfica 5). En relación con el porcentaje de colonización de las raíces en las plantas, Luna (2002) afirma que este valor debe ser superior al 40% para que una muestra de suelo sirva como inóculo; en este estudio se obtuvo un valor promedio de porcentaje de colonización de 26%.

En este estudio, los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) fueron un componente del suelo sobre el cual se evaluó el efecto biorremediador in situ. Los HFMA son componentes naturales del ecosistema, representan entre el 5 al 50% de la biomasa de los microbios del suelo y son considerados como una comunidad biológica diversa y activa, esencial para incrementar la sostenibilidad de los agroecosistemas (Pérez y Vertel., 2010). Se ha reportado que el hongo formador de micorriza (HFMA) influye en la absorción de fósforo y de iones minerales como N, K, Ca, Mg, Fe, Mn (Johansen *et al.*, 1994) así como en el buen desarrollo de la planta facilitando la absorción de nutrientes de forma directa a través de las raíces o de forma indirecta a través de los microorganismos que forman simbiosis con el micelio extraradical (Pérez *et al.*, 2011). La relación de mutualismo

hongo-planta facilita a la mayoría de las plantas complementar sus requerimientos de nutrición y absorción de agua en la naturaleza (Barrer, 2009).

En relación con la cantidad de esporas, se pudo determinar que el género *Glomus* presentó la mayor abundancia de esporas y de morfotipos en el tratamiento experimental; Wei y colaboradores (2006) encontraron que el género *Glomus* domina en suelos alcalinos o neutros, debido a que soporta las condiciones alcalinas del terreno más que los demás géneros determinados. Mientras que en el tratamiento control la cantidad de esporas de los géneros *Glomus*, *Rhizophagus* y *Funeliformis* disminuyó sin que esto afectara el proceso de biorremediación en suelos con sobresaturación de nutrientes y pH alcalino. Este efecto se observó en la disminución del pH y de elementos como el manganeso y el cobre.

Otros estudios como el de (Botero, Franco y Saldarriaga 2000), han estudiado el efecto biorremediador de HFMA relacionándolo con la presencia de los géneros *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Gigaspora* como posibles agentes biorremediadores; sin embargo, en este estudio no se aislaron estos géneros posiblemente como consecuencia de la alcalinidad del suelo y saturación de elementos. Según (Serralde y Ramírez, 2004) estudios realizados en suelos ácidos de Colombia han mostrado una correlación positiva entre el pH y la abundancia y diversidad de HFMA, especialmente de los géneros *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Entrophospora*, mientras que el pH alcalino presenta una correlación positiva entre el número total de esporas del género *Glomus* y correlación negativa entre el número de esporas de los géneros *Entrophospora* y *Gigaspora*.

La relación HFMA-planta no es considerada específica, debido a que cualquier especie de HFMA puede colonizar o formar simbiosis con cualquier planta, ya que prácticamente se encuentran en todo tipo de suelos. No obstante, bajo ciertas condiciones edafoclimáticas algunos hongos pueden beneficiar en mayor grado un determinado hospedero (Pérez C y Vertel M., 2010). En este estudio no se pudo evaluar la especificidad planta-género; sin embargo, es una de las recomendaciones para estudios futuros en suelos contaminados por lixiviados.

La abundancia de esporas de HFMA en los suelos estudiados estuvo directamente relacionada con la concentración de los elementos intercambiables magnesio (Mg) y sodio (Na) y con los valores de densidad aparente (Da) e inversamente relacionada con los valores de Cobre (Cu) y Manganeso (Mn). Por otro lado, la colonización de HFMA estuvo directamente relacionada con los valores de los elementos intercambiables potasio (K),

sodio (Na), zinc (Zn) y del porcentaje de hidrógeno (pH) e inversamente relacionada con los valores de los elementos Ca y Mg intercambiable (Pérez et al., 2011).

Los análisis fisicoquímicos realizados en esta investigación reflejan una disminución del azufre, manganeso, boro, cobre y hierro y un aumento del fósforo, calcio, magnesio y zinc, según los análisis de laboratorio realizados, lo que origina una disminución del pH pasando de valores de 10,3 a 8,83 en sólo 6 meses, efecto que contribuyó a la supervivencia de la vida microbiana, medido en número de esporas de HFMA. De acuerdo con (Barea y Jeffries, 1995) existen evidencias de alta colonización de HFMA en otras especies de pasturas cuando en los suelos los valores de pH son medianamente alcalinos; además, los HFMA contribuyen a la fácil absorción de las plantas por los elementos dispuestos en el suelo; según Barea J, (2002) se ha evidenciado la importancia que tiene la colonización de los HMA en las raíces de las plantas en relación con el mejoramiento de las condiciones físico-químicas del suelo, la estimulación del crecimiento vegetal e incremento de la calidad nutricional de las especies vegetales, convirtiéndolas en más tolerantes a condiciones adversas tanto abióticas como bióticas.

El pH influye sobre la solubilidad del fósforo y sobre la solubilidad y disponibilidad de otros elementos hacia las raíces de las plantas en el suelo, incluyendo hierro, manganeso, cobre, zinc y cantidades tóxicas de aluminio (Safir y Duniway, 1991). Altos niveles de fósforo en el suelo pueden inhibir la infección y el crecimiento de la plantas, los efectos del fósforo en el suelo pueden deberse a otros factores como el tipo de suelo, pH y niveles de nitrógeno. Las respuestas de los HFMA al pH del suelo son variables (Clark *et al.*, 1999), encontrándose respuestas positivas de algunos HFMA en suelos con pH ácido y en otros con pH alcalino (Guzmán-Plazola *et al.*, 1988) El efecto del pH puede estar relacionado con la disponibilidad de la distribución de los elementos que hacen parte del suelo, lo cual puede afectar la función del HFMA, aunque se considera que los HFMA pueden tolerar condiciones adversas de pH por modificación de la micorrizósfera durante el proceso de toma de nutrientes.

Los hongos formadores de micorriza (HFMA) facilitaron la asimilación de nutrientes y contribuyeron a la resistencia de la planta frente al ataque de algunas plagas (gráficas 6, 7, 8, 9 y 10), lo cual se evidenció durante el tratamiento experimental. Todos los microorganismos deben contribuir con el ciclaje de los elementos donde hay que elevar o disminuir la sobre saturación o la deficiencia de los elementos buscando el estado normal de la planta. Según Pérez C y Vertel M., (2010) el pH, la humedad del suelo y la

disponibilidad de nutrientes influyen no sólo en la colonización sino también en el número de esporas producidas por los hongos formadores de micorrizas arbusculares. Además, el suelo estudiado en este proceso biorremediador con el HFMA, durante seis meses contribuyó a disminuir el pH, dando manejo a elementos como azufre, manganeso, boro, cobre y hierro y un aumento del fósforo, calcio, magnesio y zinc y puede ser utilizado como un abono en suelos deficientes de estos elementos y de esta forma contribuir a la normal disposición de los elementos para la planta.

Las micorrizas arbusculares son un importante factor biológico dentro de la estructura y funcionamiento de los suelos e inciden sobre el comportamiento ecológico, productividad y composición de comunidades vegetales naturales, así como de cultivos agrícolas y plantaciones forestales. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares deben ser considerados, entonces, como parte de la diversidad biológica de los suelos y deben ser incluidos tanto en los inventarios como en los análisis de la biodiversidad a nivel de ecosistemas y agroecosistemas. La producción sostenible de pasturas en los trópicos es severamente limitada por la fragilidad de los suelos, siendo propensos a diversas formas de degradación. Hacer un mejor uso de los recursos biológicos en estos suelos puede contribuir a aumentar la sostenibilidad; los hongos micorrízicos constituyen un recurso biológico importante en este sentido. Su contribución a la química biológica y la calidad física del suelo ha sido reconocida, aunque aún quedan muchas preguntas de cómo gestionar de forma óptima estos hongos benéficos. Más información fundamental y estudios estratégicos dirigidos a la influencia de las micorrizas sobre las praderas, son necesarios.

9.-INTERVENCIÓN PEDAGÓGICA

Promoción de la cultura científica mediante el aprendizaje de los efectos biorremediadores de las micorrizas en estudiantes de segundo semestre de la Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología de la Universidad Surcolombiana

En esta investigación que estudia los efectos biorremediadores que tiene los hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) en suelos contaminados con lixiviados se trabajó un componente pedagógico que buscó promover la cultura científica en profesores en formación de segundo semestre de la Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología de la Universidad Surcolombiana. Teniendo en cuenta que según Vaccarezza (2008) la comprensión de la dinámica social de la ciencia, es de manera que se tejen, en una interrelación entre productores de conocimientos científicos y otros grupos sociales, todos ellos como partícipes del devenir de la cultura, produciendo significados cuyos orígenes y justificaciones provienen desde distintas prácticas, intereses, códigos normativos y relaciones de poder, entendiéndose como un devenir continuo.

Se realizaron una serie de actividades para la comprensión de los efectos de biorremediación con micorrizas y de esta manera el profesor en formación pueda enseñar las ciencias naturales desde diferentes formas aplicándola a casos reales, aunque el estudiante no vaya ser un agrónomo o un ambientalista. El estudiante debe tomar conciencia científica de lo que sucede alrededor de su vida, llegando así a conocer y hasta encontrar métodos de mejoramiento en zonas afectadas, como parte del aprendizaje de una cultura científica.

En este sentido para iniciar este trabajo en el aula, un futuro profesor debe poseer la información, la preparación y las habilidades para situar el conocimiento en su esencia y su sentido. Así desarrollaría una capacidad de análisis y contextualización de lo que sucede en el mundo de la ciencia (Zamarrón, 2006).

El docente de ciencias naturales enseña conceptos, procedimientos, analiza situaciones problema, para que el estudiante incremente su capacidad de interpretar las cosas que pueden surgir a su alrededor y pueda tomar sus propias decisiones en los procesos de aprendizaje partiendo de una conciencia científica un poco más contextualizada, "...la comprensión de la dinámica social de la ciencia: quién la produce, hacia qué fines, con qué consecuencias, frente a qué costo de oportunidad, para qué beneficiarios", refiriéndose fundamentalmente a la capacidad de la sociedad a tomar decisiones sobre el tema. (Cruces y Vessuri, 2004).

Sobre todo en temas que tienen que ver con la resolución de problemas ambientales mediante la biorremediación, como la eliminación o neutralización de un contaminante ambiental o desecho



Figura 38. Aulas de clase, laboratorios de la universidad Surcolombiana

Utilizando el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) convirtiendo los dominantes en compuestos más simples poco o nada perjudiciales (Glazer y Nikaido, 1995). En este caso los efectos biorremediadores que tiene los hongos formadores de micorriza (HFM) y así promover la cultura científica.

De esta manera los futuros profesores tendrán conciencia de los daños que se pueden causar al ambiente y a la vez su mejora de forma natural sin intervenir con químicos, que pueden ser perjudicial para un ecosistema estratégico. Así, podrán contribuir con la detoxificación de suelos, los cuales en su mayoría son contaminados con lixiviados, causando pérdida del manto vegetal, erosión y muerte total del terreno, enseñando la composición y el impacto negativo que tienen estos liquido en cualquier ambiente.

También ayudaría el docente a diseñar nuevas formas de aprendizaje, cumpliendo lo establecido en los estándares propuesto en la educación colombiana, sobre la explicación de la diversidad biológica como consecuencia de cambios ambientales, genéticos y de relaciones dinámicas dentro de los ecosistemas; las relaciones entre especies en los ecosistemas y las adaptaciones de los seres vivos. En este sentido esta experiencia pedagógica contribuye a convertir la educación científica en parte de una educación general, como lo propone la UNESCO (2005).

Metodología

Desde una investigación cualitativa se analizaron los datos para conocer los aprendizajes de 30 estudiantes de la asignatura de microbiología, periodo 2016-2 del programa Licenciatura en ciencias naturales: física, química y biología, de la Universidad Surcolombiana, dirigidos por la docente Sonia Echeverry sobre los efectos biorremediadores de los hongos formadores de micorriza (HFM).

Se diseñaron unas actividades (ver tabla 11), donde se ejecutaron en diferentes lugares de la universidad Surcolombiana (aulas de clase, laboratorios. Ver figura 38) y en el hangar (lugar de transformación de residuos sólidos de la universidad. Ver figura 39).



Figura 39. Trabajo práctico en el hangar y en el laboratorio, de los estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales, en la materia de microbiología 2016-2

Tabla 11. Actividades diseñadas para aprender sobre los efectos biorremediadores de los hongos formadores de micorriza (HFM).

Ítem	Actividad	Objetivo	Evaluación
1	Aplicación de un cuestionario (pre-test), para indagar las ideas previas de los estudiantes sobre los conceptos biorremediación, aplicaciones, manejo y reconocimientos de los hongos formadores de micorriza.	Conocer las ideas de los estudiantes sobre los efectos biorremediadores con HFM.	Se aplicó un pre test (ver anexo) de 11 preguntas, recolectando los datos de los estudiantes
2	Recolección de muestras de suelo y raíz en suelos contaminados.	Identificar un suelo contaminado con lixiviado. Analizar de forma visual, los efectos que causan HFM en unos suelos contaminado.	La observación del estudiante sobre la descripción hecha en el hangar.
3	Reconocimiento de las esporas de los HFMA. Conocer el porcentaje de colonización de los hongos extraídos.	Reconocer protocolos de extracción, identificación y cuantificación de los HFM. Observar la interacción planta – hongo al microscopio.	Morfología de la espora La interacción planta – hongo
4	Socialización y explicación de la práctica de laboratorio.	Establecer conceptos generales de la actividad según la práctica.	Conceptos creados por lo aprendido.

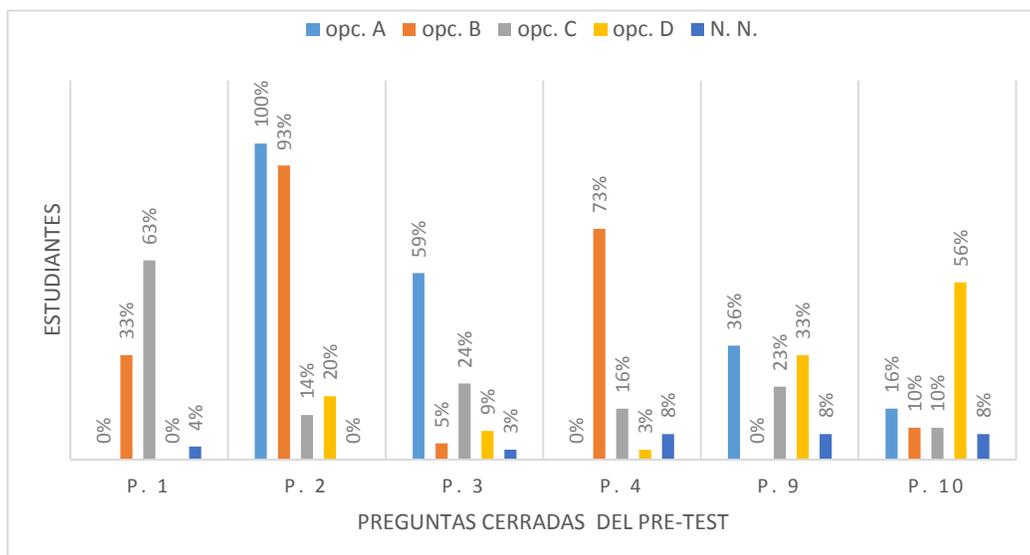
5	Evaluación final (post test).	Conocer cuál fue el aprendizaje, según las actividades realizadas.	Se aplicó un pos test (el mismo pre-test).
---	-------------------------------	--	--

Resultados y discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la **actividad 1** que es el **pre-test** aplicado al grupo de microbiología 2016-2, tuvo 11 preguntas abiertas y cerradas, los resultados se muestran en el figura 40, en la que podemos notar los resultados de la preguntas cerradas, obtenidos en el pre-test, observando que sus ideas se encuentran un poco alejados de los conceptos aceptado por la comunidad científica.

Figura 40. Resultados del pre-test de las preguntas cerradas

En la pregunta 1 (Si fuera por la calle y vez un letrero con la palabra ‘‘MICORRIZA’’, ¿cuál sería su concepto frente a esta palabra?). Se preguntó por el concepto de la palabra micorriza. Los



estudiantes lo asocian con el hongo pero la micorriza no solo es el hongo, sino que hace parte de una simbiosis con la raíz, como lo plantea Cano y Salamanca (2004) al definir el hongo formador de micorrizas como: la asociación que se establece entre algunos hongos benéficos del suelo y la raíz de una planta. Esta relación simbiótica se denominada mutualismo, pues se beneficia tanto el hongo como la planta.

En la pregunta 2, sobre ¿Qué tipo de vida microbiana se encuentra en el suelo? las respuestas de la mayoría de estudiantes fueron más acertadas, seguramente debido a que su aprendizaje en microbiología básica ayudó a que el estudiante considere que los tipos de vida que se hospedan en el suelo sean los hongos y las bacterias. Según (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Parkinson y Coleman, 1991; Killham, 1994) las bacterias tienden a ser los miembros más numerosos de la comunidad microbiana del suelo y su selectividad de los substratos varía gradualmente de una

especie a otra, además los hongos son los que continúan en la dominancia del micro-biota del suelo, donde poseen un amplio rango de funciones en el suelo incluyendo su papel como simbioses de plantas, patógenos de plantas y animales.

En la pregunta 3: si te preguntaran sobre una parte específica de dónde se hospedan los microorganismos del suelo, ¿qué contestarías?, aunque la mayoría de sus respuestas no son claras, hacen entender cuál es el hospedaje del hongo, en la que se refieren del suelo y la raíz, Según Ramos (2004) para entender la fisiología de un microorganismo en el suelo, es necesario comprender la naturaleza física y química del ambiente del suelo. El suelo se compone de minerales de varios tamaños, formas y características químicas, junto con las raíces de las plantas, población de organismos vivos y un componente de materia orgánica en varias etapas de descomposición.

En la pregunta 4, en la cual se puede medir la comprensión lectora del estudiante, donde el objetivo es evaluar el poder restaurador que causa el hongo, pero el estudiante se confunde su interpretación con la asociación que el hongo establece con la planta.

En la pregunta 9, sobre ¿Qué procesos puede causar la micorriza en un ambiente con malas condiciones? En esta pregunta, ningún estudiante vio la biorremediación como un efecto que causa la micorriza que según Suárez (2001), las micorrizas (hongos benéficos) son organismos que forman asociaciones con las plantas brindando a éstas un sin número de beneficios como resistencia a la sequía, mejor absorción de nutrientes y resistencia al ataque de patógenos.

En la pregunta 10, sobre ¿Cuáles son las causas que tiene la unión entre una planta y un hongo? El estudiante aún no maneja términos de asociaciones entre organismos vivos, como la asociación del hongo y la planta, que es la interacción que hay entre dos organismos donde uno de ellos se aprovecha del otro sin que reciba nada a cambio. Para dar claridad a la respuesta, Osorio, Sánchez y Franco (2008) definen que los hongos que forman micorriza arbuscular (HFMA) establecen asociación simbiótica mutualista con la mayoría de las plantas vasculares.

Analizadas las preguntas cerradas como son la pregunta 1, 2, 3, 4, 9 y 10 se procesa a interpretar los datos correspondientes de las preguntas realizadas de forma abierta (5, 6, 7, 8 y 11) donde se pregunta sobre los conocimientos acerca de la clasificación, identificación, relación y usos de los hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA), se analizaron de forma individual.

En la pregunta 5 se pregunta sobre la opinión de cada tipo de (HFM). El estudiante poco maneja estos términos (verificar en las figura 41, 42 y 43). Según Cano y Salamanca (2004) existen tres grandes grupos de HFM: ectomicorrizas, endomicorrizas y ectendomicorrizas y se definen así:

- Las ectomicorrizas: Se caracterizan por formar una extensa red de hifas que se ubican en la corteza de la raíz. Se encuentran especialmente asociadas a pino, eucalipto y ciprés

- Las endomicorrizas: Son las más comunes en la naturaleza, éstas penetran profundamente en la raíz, la colonizan y cambian su forma, mientras sus estructuras externas exploran el suelo. Se asocian con más del 90% de las plantas terrestres; a este grupo pertenecen las Micorrizas Arbusculares.
- Las ectendomicorrizas: Son una combinación de las ecto y endomicorrizas, se encuentran en la corteza y penetran profundamente la raíz. Están presentes en algunas especies forestales, especialmente en bosques naturales.

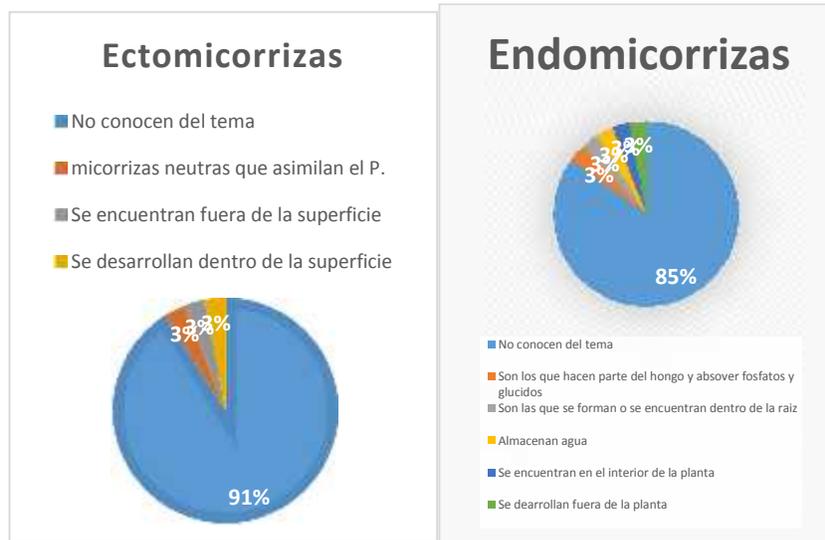


Figura 41. Concepto del estudiante sobre Ectomicorri

Figura 42. Concepto de los estudiantes sobre Endomicorrizas



Figura 43. Concepto de los estudiantes sobre Ectendomicorrizas

En la pregunta 6 se muestra una imagen sobre las esporas de un hongo partir de la cual los estudiantes debían escribir las partes que conocieran. Como respuesta nombraron algunas partes significativas de la imagen pero no son las suficientes para poder identificar una espora de HFMA (figura 44)

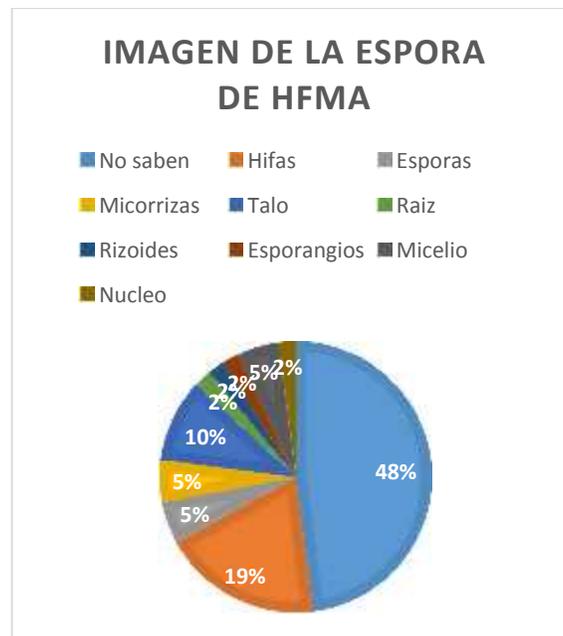


Figura 44. Identificación de las partes de la espora con ayuda de una imagen

Se puede notar que el estudiante no conoce muy bien la morfología de una espora, lo cual se puede analizar en el pre-test aplicado.

En la pregunta 7, se pregunta de forma abierta sobre cuál es el conocimiento que tiene sobre la relación planta – hongo, a lo cual la mayoría de estudiantes no contestaron por desconocimiento del tema (figura 45).



Figura 45. Respuesta de los estudiantes acerca de la relación planta – hongo

En la pregunta 8 se indaga por las funciones o usos que tienen los hongos formadores de micorriza (HFM) (figura 46), notándose la ausencia de conocimiento que los estudiantes tienen sobre el tema; sólo el 7% se acerca a la idea de que estos microorganismos se usan para la restauración de un suelo. Idea expresada por Cano y Salamanca (2004), al explicar que el beneficio de la Micorriza radica en el hecho de que el hongo al entrar en contacto con la corteza de la raíz de la planta desarrolla un abundante micelio externo en el suelo que incrementa el volumen de exploración de la raíz, encargándose de mejorar la eficiencia en la absorción y transferencia de agua y nutrientes desde el suelo hacia la planta. Esto mejora la estructura del suelo con la agregación de las partículas.



Figura 46. Conocimiento de los estudiantes sobre el uso de los HFM en el suelo

En la pregunta 11 se explora la capacidad de análisis del estudiante y propone al estudiante en un texto corto, propuesto en el pre-test, donde el estudiante puede crear opciones de respuesta o podría dejar tal cual la opinión del texto, ya que están proponiendo el uso del hongo formador de micorriza en un suelo que se encuentra en malas condiciones. Su aplicación es necesaria para poder restaurar biológicamente el suelo y pueda recuperarse y volverlo nuevamente útil.

Como en las otras preguntas, la mayoría de estudiantes no saben o no comparten su opinión del texto (Gráfico 8), además se basaron más en la forma de la escritura del texto que en proponer sobre el estudio de caso, según lo escrito en sus respuestas del post-test

Después del análisis del pre-test, se diseñaron varias actividades para que los estudiantes puedan reconstruir su propio conocimiento, a través de prácticas de laboratorio y de protocolos de extracción de esporas para saber el porcentaje de colonización del hongo donde se dio por terminadas las **actividades 3**, según lo diseñado en la metodología de trabajo. La práctica de laboratorio como **actividad 4**, se dividió en tres clases: un trabajo en grupo sobre lo que realizaban en el laboratorio, un análisis sobre la diferencia aprendida entre biorremediación y fitorremediación (tabla 12) y el concepto que construyeron sobre la relación planta–hongo (tabla 13).

En la que trabajó sobre lo que observaron en la práctica de campo en donde se estudió sobre el tipo de vida que se observó, que se refería al efecto que causa el hongo formador de micorriza, en el suelo contaminado (tabla 14), sobre las observaciones de los estudiantes al microscopio, sobre las

ventajas y desventajas del proceso de biorremediación en un suelo contaminado (tabla 15), se socializó la clasificación de los tipos de micorrizas (tabla 16) y por último se invitó a los estudiantes a proponer un objetivo de todas las actividades para comparar si coinciden los objetivos con los del profesor (tabla 17).



Figura 47. Estudio de caso aplicado a los estudiantes sobre el uso de los HFM

Tabla 12. Construcción sobre el concepto de biorremediación y fitorremediación en los estudiantes

GRUPO	CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES
1	Su principal diferencia es que la biorremediación se utiliza para la restauración de ambientes contaminados utilizando hongos y plantas, por otra parte en la fitorremediación es la descontaminación de los suelos con ayuda de plantas
2	La biorremediación son organismos vivos (hongos, bacterias y plantas) en la eliminación de desechos en ambientes contaminados, además la fitorremediación se utilizan las plantas para que asimilen metales pesados hasta descontaminar
3	La biorremediación se refiere a todos aquellos métodos que se utilizan organismos vivos (bacterias, hongos, plantas o algún otro organismo) en la

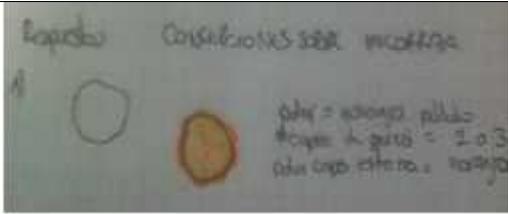
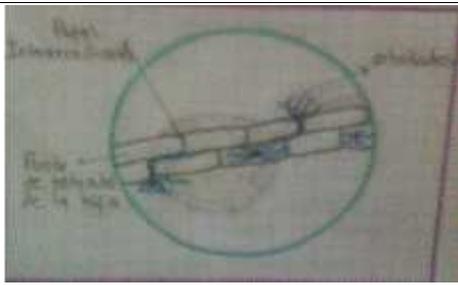
	eliminación de desechos en ambientes contaminados buscando que el ambiente quede en sus condiciones naturales. La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber algunos contaminantes presentes
4	La biorremediación es el manejo que se le da a un microorganismo para mejorar un ambiente y la fitorremediación tiene el mismo proceso pero con ayuda de las plantas.
5	En la biorremediación se busca fertilizar la tierra por medio de microorganismos, por otra parte la fitorremediación se utilizan las plantas para que cumplan la misma función
6	La biorremediación hace referencia a los métodos para el uso de organismos vivos en la eliminación de desechos y la fitorremediación cumple la misma función de restaurar pero con ayuda de las plantas
7	La biorremediación se basa en los métodos de utilización de organismos vivos y la fitorremediación es la utilización de las plantas
8	La biorremediación se refiere a todos aquellos métodos que se basan utilizando organismos vivientes en la eliminación de desechos y la fitorremediación es la descontaminación del suelo con la ayuda de plantas
9	Hay una clara diferencia en cada una de estas ya que la fitorremediación consta de ventajas muy buenas con ayuda de las plantas y la biorremediación es el proceso que se basa en la ayuda de organismos vivos
10	La biorremediación es el uso de hongos para restaurar el ambiente contaminado y la fitorremediación es la descontaminación del suelo y demás utilizando las plantas

Tabla 13. Construcción del significado de la relación hongo-planta

GRUPO	CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES
1	Se observa que hay una simbiosis, donde el hongo ayuda al crecimiento de la planta y la absorción de nutrientes, favoreciendo su desarrollo
2	La práctica nos ayudó a ver que la relación entre la planta y el hongo es simbiótica, porque se ayudan entre las dos especies
3	Durante la práctica concluimos que entre el hongo y la planta hay una simbiosis mutualista
4	Existe una relación simbiótica
5	Es una simbiosis en la cual en la que se efectúa una asociación mutualista ya que el hongo se aprovecha de la planta y viceversa

6	La relación que se observa entre el hongo y la planta, que el hongo le ayuda a la planta absorber nutrientes y agua a cambio de las misma condiciones
7	Es un proceso simbiótico entre los organismos que se ayuda de forma positiva
8	La relación entre la planta y hongo es una relación buena, donde los hongos se establece en la raíz de la planta formando una relación micorrisica
9	Es una relación simbiótica entre estos dos organismos vivos
10	La relación entre la planta y el hongo es una relación simbiótica – mutualista que beneficia ambas partes

Tabla 14. Observaciones de los estudiantes sobre esporas y raíces en compañía de los HFM

Observaciones al microscopio	
Esporas	Raíz con el hongo
	
Grupo 1	
	
Grupo 2	
	

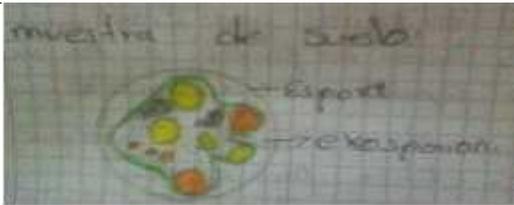
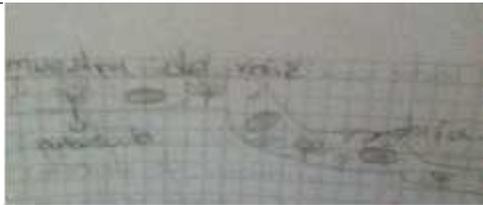
Grupo 3	
	
Grupo 4	
	
Grupo 5	

Tabla 15. Opinión sobre el tipo de vida observada en la práctica

GRUPO	CONCEPTO DE LOS ESTUDIANTES
1	Se observaron esporas de hongos, que se extraían del suelo de la raíz
2	Observamos esporas
3	Vimos parte del hongo
4	Se observaron varios organismos vivos, pero nuestro objeto de estudio eran los hongos
5	Observamos esporas durante la práctica de extracción

Tabla 16. Opiniones de los estudiantes sobre las ventajas y desventajas de los procesos de biorremediación

GRUPO	VENTAJA	DESVENTAJA
1	Es que son efectivos en cuanto a los costos tecnológicos y que ayudan a más beneficios para el ambiente	Requiere de mayor tiempo de tratamiento, sólo se puede emplear sobre un suelo que favorezca el crecimiento microbiano
2	Es menos costoso que otras tecnologías	Dificultad para predecir el crecimiento en este tratamiento para el suelo

3	Generalmente sólo origina cambios físicos menores sobre el medio y permite la revegetalización natural	Es aplicable a sólo compuestos biodegradables
4	Es de fácil propagación para poder aplicarlos con facilidad	Se requiere de un tiempo largo para ver resultados
5	Es una tecnología poco masiva y generalmente no requiere de componentes mecánicos para ser ejecutada	El tiempo necesario para el desarrollo del proceso puede ser un poco largo

Tabla 17. Conceptos de los estudiantes sobre los tipos de micorrizas

GRUPO	ECTOMICORRIZAS	ENDOMICORRIZAS	ECTENDOMICORRIZAS
1	Se forman hifas por fuera de la raíz	Se forman hifas por dentro de las raíces	Tiene las dos formaciones de hifas, por dentro y fuera
2	Son aquellas que se encuentran en la corteza de la raíz	Penetran la raíz y la colonizan	Se encuentran en la corteza y penetran la raíz
3	Se caracteriza porque se hospedan fuera de las raíces	Se caracteriza porque se desarrollan muy profundamente dentro de la raíz	Tiene características ecto y endo
4	Crecen sobre las raíces	Crecen dentro de la raíz	Tienen la facultad de crecer dentro y fuera de la raíz
5	Se caracterizan por formar una extensa red de hifas, ubicada en la corteza de la raíz	Penetran profundamente en la raíz, colonizan y cambian su forma	Se encuentra en la corteza y penetran profundamente la raíz

Tabla 18. El objetivo planteado por los estudiantes sobre las prácticas recibidas

GRUPO	OBJETIVO DE LA CLASE EXTRACCION E IDENTIFICACION HFMA
1	Identificar el tipo de hongos a través de varios protocolos, con el fin de conocer sobre el proceso de simbiosis con ayuda de hongos
2	Aprender a través de la observación de esporas y otros montajes, el significado de los HFM

3	Determinar a través de la extracción de esporas y el porcentaje de colonización, el manejo de hongos formadores de micorrizas
4	Conocer los procesos de biorremediación con ayuda de los hongos formadores de micorriza
5	Aprender sobre los procesos de biorremediación y fitorremediación

Según la tabla 7 los objetivos de los estudiantes coinciden con el objetivo de la clase, sobre cómo se extrae y se identifica un hongo formador de micorriza orbicular, (HFMA), y cuál es su la función de este microorganismo en el suelo.

Con las actividades realizadas en tres secciones de trabajo: prácticas de laboratorio, salidas de campo y socialización se fue guiando al estudiante para la reconstrucción del concepto sobre los hongos formadores de micorrizas y biorremediación.

Se aplica de nuevo el pre-test, ahora como post-test, para establecer qué tanto pudo aprender los estudiantes, y de esta manera nutrir la cultura científica de los futuros docentes y contribuir al desarrollo de actividades de clases sobre temas de ecología y microbiología.

Después de aplicar el pos-test como **actividad 5**, siendo la evaluación final de los estudiantes se continuó con varias clases participativas y prácticas que ayudaron al futuro docente a desarrollar más los conceptos que podemos utilizar en varios procesos de biorremediación; a través de un pos-test que contenía preguntas de tipo abierto y cerrado donde se evaluó conceptos, opiniones e ideas del HFM.

Después de aplicar el post-test se analizaron los datos y se encontró según la figura 48

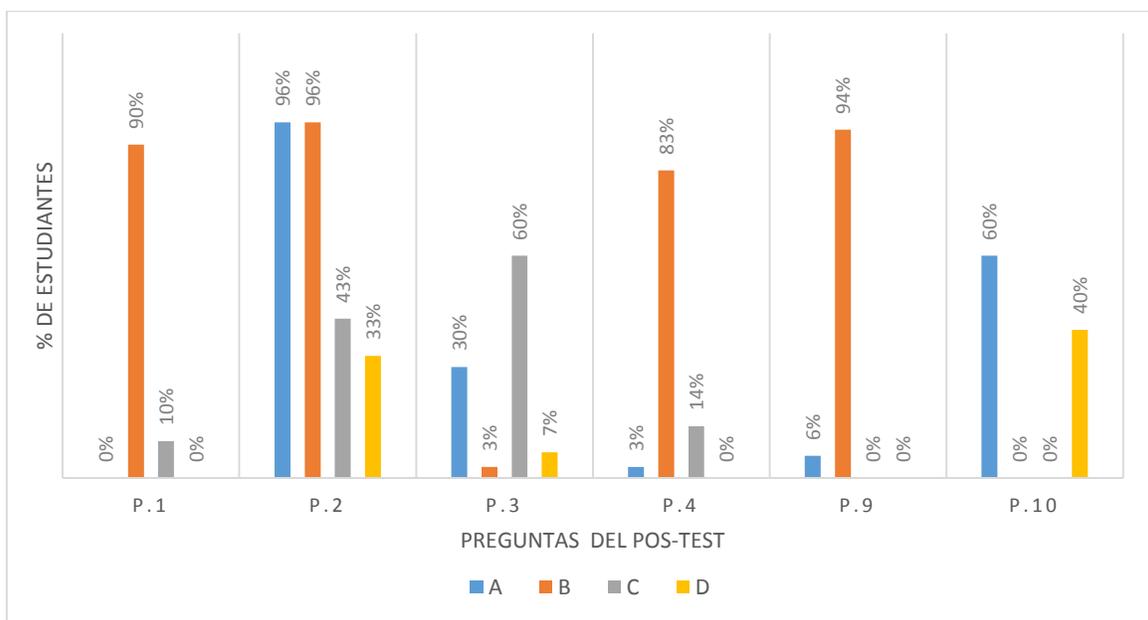


Figura 48. Resultado de las preguntas de tipo cerrado del pos-test

Que los estudiantes analizaron las preguntas a la luz de clases prácticas y teóricas recibidas, como también se puede confirmar e la comparación de las respuestas del pre-test y del pos-test (figura 49).

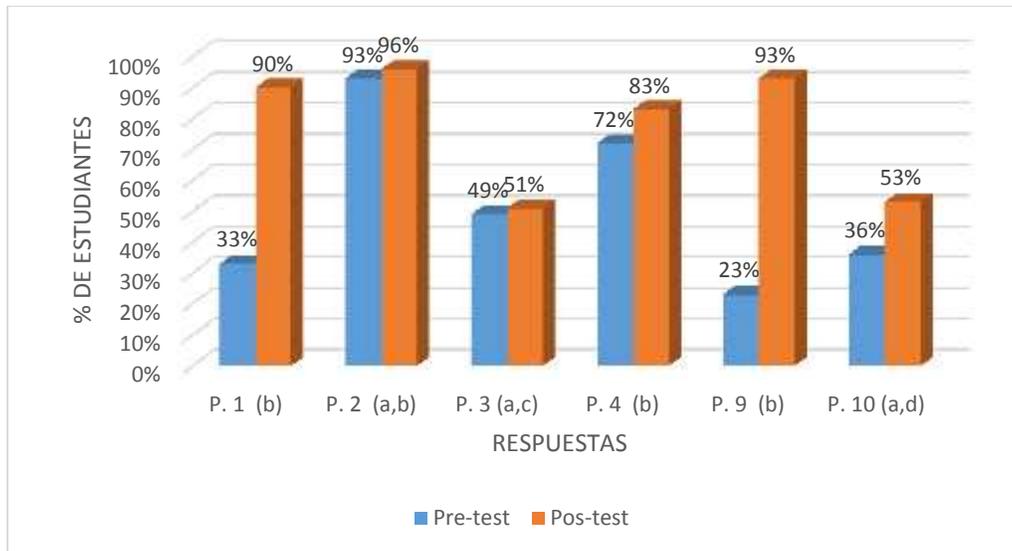


Figura 49. Comparación de las respuestas del pre-test y pos-test

Las respuestas de los estudiantes a las preguntas de tipo abierto dejaron ver un mejor desempeño respecto a las respuestas vistas en el pre-test, como es el caso de las respuestas sobre la clasificación de los HFMA (figura 50, 51 y 52) en las cuales la mayoría de los estudiantes ampliaron sus conceptos basados en las actividades realizadas.



Figura 50. Concepto de los estudiantes sobre las ectomicorrizas en el pos-test

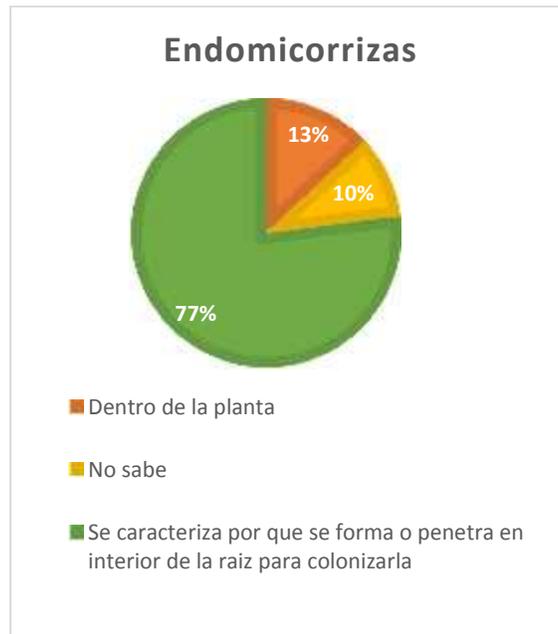


Figura 51. Concepto de los estudiantes sobre las endomicorrizas en el pos-test



Figura 52. Concepto de los estudiantes sobre las ectemicorrizas en el pos-test

Los estudiantes fueron evaluados por sus conocimientos. Sus conceptos se modificaron de acuerdo con lo observado durante la práctica realizada; los futuros docentes ya tenían criterios para poder identificar una espora de un HFM con base en una imagen del pos-test (figura 53).

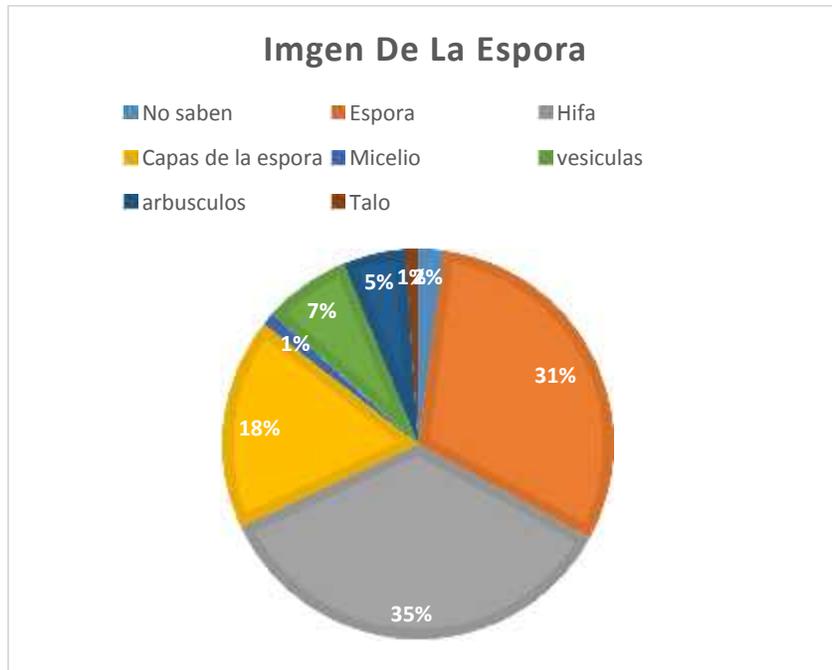


Figura 53. Identificación de las partes de la espora con ayuda de una imagen en el pos-test

La opinión de los estudiantes sobre la relación planta–hongo también mejoró para los estudiantes con un concepto mejor construido sobre el HFM, según podemos ver. (figura 54).



Figura 54. Opinión de los estudiantes acerca de la relación planta-hongo en el pos-test

Igualmente se volvió a preguntar a los estudiantes sobre lo que saben de los HFM, pregunta realizada durante el pre-test acerca de los usos que tienen estos hongos en el medio ambiente (figura 55)

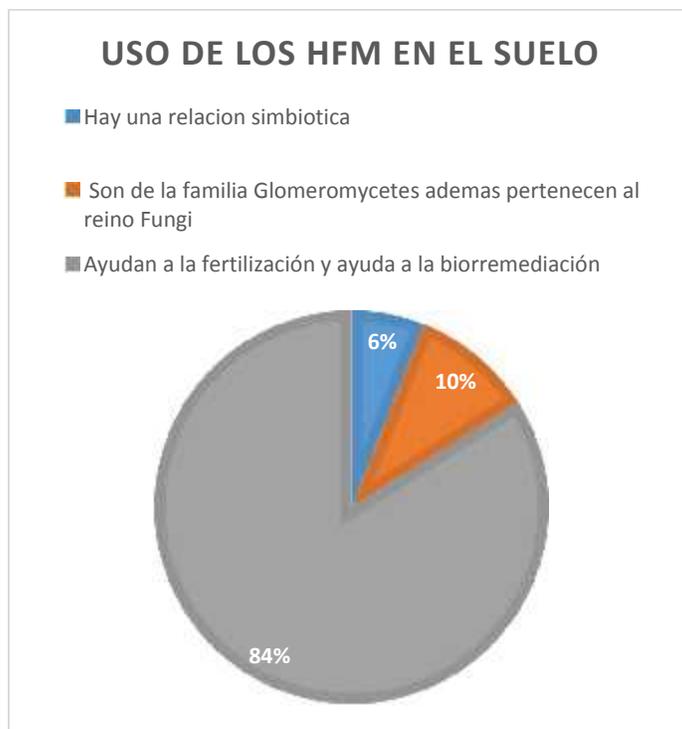


Figura 55. Opinión de los estudiantes durante el post-test acerca del uso de los HFM en el suelo

Por último, se analizó en el post-test la comprensión de la lectura sobre un estudio de caso que trata del uso de los hongos formadores de micorriza, en la cual el estudiante debe pensar qué debe mejorar o cambiar según la información que está en el documento suministrado (figura 56).



Figura 56. Opinión de los estudiantes durante el post-test acerca del estudio de caso sobre los HFM en el suelo

Conclusiones

Las actividades diseñadas y aplicadas al grupo de trabajo permitieron alcanzar en los estudiantes un buen desempeño durante su aprendizaje, así mismo manejar una buena concepción sobre los procesos de biorremediación y el concepto sobre los hongos formadores de micorrizas alcanzando mejorar su aprendizaje en un 10%. Este aprendizaje se basó en el deseo de que la ciencia es una formación para todos, pensando en la cultura científica que todo ciudadano debe recibir en la escuela, mediante la instrucción de sus futuros profesores. Las prácticas realizadas en campo y en el laboratorio, con el fin de que los estudiantes comprendan la importancia del proceso de biorremediación fueron acertadas y pertinentes para el objetivo perseguido.

En lo fundamental, las actividades partieron de las ideas previas y dificultades encontradas en los estudiantes y se centraron en su participación, en el desarrollo de capacidades de análisis y de establecimiento de relaciones. Los estudiantes desarrollaron el potencial para poder reconstruir sus propios conceptos y nutrir su vocabulario como futuros docentes de ciencias naturales; así mismo para proponer actividades relacionadas con estos temas orientados de manera no tradicional que permitan generar en sus estudiantes un aprendizaje más contextualizado a las problemáticas del entorno.

10. CONCLUSIONES

- Las plantas inoculadas con hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) se desarrollaron en buenas condiciones, mostrando una buena altura, las condiciones en la raíz son buenas, teniendo una longitud y mayor ramificaciones, contribuyendo a mejorar el nivel nutricional de la planta lo que se ve reflejado en mayor masa seca, crecimiento y área foliar de la planta.
- Los HFMA son encontrados en todo tipo de suelos y pueden colonizar cualquier planta que establezca simbiosis con ellos, sin embargo, las condiciones físico-químicas del suelo podrían estar generando cierto tipo de especificidad con respecto a las plantas hospederas, según las respuestas que muestran las plantas a determinadas especies de HFMA.
- El porcentaje de colonización del HFMA, en el tratamiento experimental tuvo un buen desempeño, bajando las condiciones de pH, macro y micro nutrientes, la textura y el olor , sin embargo, no se mostró diferencias significativas con el tratamiento control
- Se determinaron 16 morfotipos en ambos tratamientos los cuales correspondieron a cuatro géneros: *Claroideoglossum*, *Funneliformes*, *Rhizophagus* y *Glomus*
- La biorremediación con HFMA, resulta ser una alternativa eficaz para la recuperación de agroecosistema, con esta se busca la optimización de técnicas y el aprovechamiento de las interacciones entre microorganismos como los HFMA, que mediante sus procesos metabólicos y la segregación de enzimas, biotransforman compuestos orgánicos e inorgánicos generados de la contaminación por lixiviados obtenido por el mal uso de sustancias en sus trabajos agropecuarios.
- Para que un tratamiento de biorremediación en el suelo sea eficiente es necesario tener en cuenta variables como las condiciones físicas y químicas (pH, temperatura, humedad, aireación, nutrientes, textura, color y consistencia) las condiciones biológicas del hongo y las características de los contaminantes, la estructura y su procedencia.
- Se encontró un porcentaje en la densidad de esporas en el tratamiento experimental de 26,6% y en el tratamiento control de 12,3%, creando diferencias significativas entre los tratamientos.
- No se encontró variedad entre los morfotipos en los tratamientos, según las características fisiológicas del hongo, donde se determinaron 16 morfotipos, basándose en el color, forma, tamaño y textura.
- El género de hongos de mayor resistencia a suelos alcalinos, es el género *Glomus*, que es el tipo de HFMA, que ayuda a los procesos de biorremediación
- Las condiciones físicas y químicas evaluadas en el suelo se modificaron de forma considerable durante seis meses, mejorando las condiciones de pH y la concentración de algunos elementos como manganeso y zinc.

- Se consideran que el resultado obtenido del suelo en este tiempo, se puede trabajar como un fertilizante o acondicionador de algunos elementos, ya que las condiciones del pH son aptas para manejarla en algunos agroecosistemas.

11. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Alexander M. (1980). Microbiología del suelo. AGT Editores. México.
- Asghari HR. (2011). *Arbuscular mycorrhizas enhance plant interception of leached nutrients*. Functional Plant Biology 38, 219–226. : <https://www.researchgate.net/publication/262995983>
- Barea, J. M. (2005). *Micorrizas Vesiculo - Arbusculares* (Vol. 2). Sevilla, España.
- Barrera, B. Silvia E. (2009). *El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura*. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Botero, M. J., Rivillas , C. F., Franco, G., & Saldarriaga , A. (2000). *Micorrizas Arbusculares Asociadas A Los Cultivos De Mora, Lulo Y Tomate De Árbol, En Antioquia, Valle, Risaraldas y Caldas*. Corpoica, www.corpoica.org.co.
- Caceres, A. (1998). *Efecto de la inoculacion vesiculo - arbusculares (MVA) y de la fertilizacion con fosforo sobre el crecimiento de Clusia minor. L, especie arborea de los bosques nublados de Pipe*. Caracas: centro de botanica tropical del instituto de biologia experimental.
- Chen C.R., Condon L.M., Xu Z.H. (2008). *Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: A review*. Ecology and Management. 255: 396-409.
- Cuervo J. & Rivas G. 2007. Cuantificación de hongos micorrizicos en muestras de suelo en plantaciones de Tabebuia rosea y Cordia alliodora. NOVA- Publicación científica. 5 (7): 28-41
- Delgadillo-Lopez, A. E., Gonzalez-Ramirez, C. A., Prieto-Gomez, F., & Villagomez-Ibarra, J. R. (2001). *Fitorremediacion: una alternativa para eliminar contaminantes*. Tropical and Subtropical Agroecosystems.
- Diaz, E. (2008). *Departamento de microbiologia molecular*. Madrid, centro de investigaciones biologicas, España: Caister Academic Press.
- Espinosa, R.M., Andrade, LE., Rivera, OP., Romero D.A. (2011). *Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México*. Papeles de Geografía, 53-54: 77-88
- Fernandez, R. (2008). *La micorriza: desterrando un tesoro*. Instituto de ecologia y sistematica.
- Finlay, R. D. (2008). *Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis with special emphasis on the functional diversity of interaction involving the extraradical micelium*. Journal of experimental.
- Galindo, P. (2008). *Comparación del efecto de inoculación con micorrizas vesículo-arbusculares nativas y comerciales en plantas de frijol (Vigna unguiculata (L.) WALP)*. Maracaibo. Obtenido de http://tesis.luz.edu.ve/tde_busca/archivo.php?codArquivo=321
- Garbisu, C., Amézaga, I., & Alkorta, I. (2002). *Biorremediación y ecología*. Revista científica y tecnica de ecología y medio ambiente, <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/591/558>. Obtenido de <http://www.aeet.org/ecosistemas/023/opinion1.htm>.

- Giraldo, E. (2001). *Tratamiento de lixiviados de rellenos*. Revista de ingeniería (14).
- Hernandez, L., Guerra de la Cruz, V., Martinez, G. S., & Cuatlal, P. (2011). *Propagación y micorrización de plantas nativas con potencial para restauración de suelos*. Rev. Mex. Cien. For, 7(2).
- Herrera, M. J. (2008). *Estudio sobre la participación y función de moléculas señan en la regulación de la simbiosis micorriza arbuscular*. Granada: universidad de la nueva granada.
- J. Juárez-Hernández y E. Bolaños, A. (2007). *Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Villahermosa, Tabasco.
- Botero, M. J., Rivillas, C. F., Franco, G., & Saldarriaga, A. (2000). *Micorrizas Arbusculares Asociadas A Los Cultivos De Mora, Lulo Y Tomate De Árbol, En Antioquia, Valle, Risaraldas y Caldas*. Corpoica, www.corpoica.org.co.
- Burbano, H. (1989). Los microorganismos del suelo. Suelo: una visión sobre sus componentes biogénicos, 141 - 145.
- Caceres, A. (1998). Efecto de la inoculación vesículo - arbusculares (MVA) y de la fertilización con fósforo sobre el crecimiento de *Clusia minor*. L, especie arbórea de los bosques nublados de Pipe. Caracas: centro de botánica tropical del instituto de biología experimental.
- Delgadillo-Lopez, A. E., Gonzalez-Ramirez, C. A., Prieto-Gomez, F., & Villagomez-Ibarra, J. R. (2001). Fitorremediación: una alternativa para eliminar contaminantes. Tropical and Subtropical Agroecosystems.
- Diaz, E. (2008). Departamento de microbiología molecular. Madrid, centro de investigaciones biológicas, España: Caister Academic Press.
- Fernandez, R. (2008). La micorriza: desterrando un tesoro. Instituto de ecología y sistemática.
- Finlay, R. D. (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis with special emphasis on the functional diversity of interaction involving the extraradical mycelium. Journal of experimental.
- Garbisu, C., Amézaga, I., & Alkorta, I. (2002). *Biorremediación y ecología*. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/591/558>. Obtenido de <http://www.aeet.org/ecosistemas/023/opinion1.htm>
- Giraldo, E. (2001). *Tratamiento de lixiviados de rellenos*. Revista de ingeniería (14).
- Hernandez, L., Guerra de la Cruz, V., Martinez, G. S., & Cuatlal, P. (2011). *Propagación y micorrización de plantas nativas con potencial para restauración de suelos*. Rev. Mex. Cien. For, 7(2).
- Herrera, M. J. (2008). *Estudio sobre la participación y función de moléculas señan en la regulación de la simbiosis micorriza arbuscular*. Granada: universidad de la nueva granada.
- Logi, C., Sbrana, C., y Giovannetti, M. (1998). Cellular events involved in survival of individual arbuscular mycorrhizal symbionts growing in the absence of the host. Applied and environmental microbiology. 3473 – 3479.

Medina, L. R., Rodríguez, Y., Herrera, C. R., & Torrez, Y. (Julio de 2010). *Aislamiento e identificación de hongos micorrizicos arbusculares nativos de la zona de las caobas, holguin*. Revista cultivos tropicales, 31(3).

Mendez, R. I., Castillo, E. R., Sauri, M. R., Quintal, C. A., Giácoman, G., & Jiménez, B. (agosto de 2009). *Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados*. Revista internacional de contaminación ambiental, 25(3).

Mohammad, J., Hamad, R. S., & Issamalkawi, H. (2003). *Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semiarid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors*. Jordan of Arid Environments.

Molina, L. F. (2008). *Árboles para Neiva, Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal*. Revista nodo, 4(2).

Moreira, F., Huising, E. J., & Bignell, D. E. (2012). *Hongos Micorrizogenos Arbusculares*. En *Manual de Biología de suelos. Muestreo y Caracterización de la Biodiversidad Bajo Suelo* (pág. 337). Ciudad de Mexico, Mexico: institucion nacional de ecologia.

Morton, J. B., & Benny, G. L. (1990). *Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (zizomicetes); a new order glomales, two new subordenes, glomineae and gigasporineae, and two new families, acaulosporaceae and cigasporaceae, cuith and emendation of glomaceae, mycotaxon*.

Noda, Y. (2009). *Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey".

Parniske, M. (2008). *Arbuscular mycorrhizal: the mother of plant root endosymbioses*. Nature reviews Microbiology. 6: 763 – 775.

Peña Venegas, C. P., Cardona, G. I., Arguelles, J. H., & Arcos, A. L. (2007). *Micorrizas Arbusculares del Sur de la Amazonia Colombiana y su Relación con Algunos Factores Fisicoquímicos y Biológicos del Suelo*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, 37(2007: 327 - 326).

Perez C, Alexander And Vertel M, Melba. Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto Bothriochloa pertusa (L) A. Camus. Rev.MVZ Cordoba. 2010, vol.15, n.3, pp.2165-2174.

Rolando Demanet Filippi (2012). *Pastizales en el sur de Chile*, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Chile.

Salamanca-Solis CR. Silva-Herrera MR. (1999). *Las micorrizas como alternativa para el manejo Sostenible de los agroecosistemas tropicales*. Boletín Técnico No 12. CORPOICA.

Sanchez, M. J. (2004). *Artículo fundamentos y aspectos microbiológicos. Biorremediación de la universidad de Oviedo*, http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/fundamentos_%20biorremediacion.pdf. Recuperado el 10 de Marzo de 2015

Sanchez de Praga, M., Posada Almanza, R., Velazquez Pomar, D., & Narvaez Castillo, M. (2010). *Metodología Basicas "Para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular"* (primera edición ed.). Palmira, Valle, Colombia: Universidad Nacional.

Serralde, A. M., & Ramirez, M. M. (octubre de 2004). Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelo ácido bajo diferentes tratamientos agronómicos. Revista corpoica, 5.

Sieverding, E. (1986). *El papel de las micorrizas en la agricultura*. Revista de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo, 16(1), 52 - 53.

Smith S. D. and Read D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. 3^a ed Academic Press. York. P. 199 -215.

Urcelay, C., Tecco, P. A., & Chiarini, F. (2005). *Micorrizas arbusculares del tipo 'Arum' y 'Paris' y endofito radicales septados oscuros en Miconias ioneura y Tibochina paratropica (Melastomataceae)*. Bol. Soc. Argent. Bot., 151- 155.

Valencia, H. A. (2010). Practica 13, *Micorriza: hongos extenciones de las raices*. En H. A. Valencia Zapata, *Manual de Practicas de Microbiologia del Suelo* (primera ed., pág. 188). Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Walter, M. V. (1997). Bioaugmentacion In: Hurst. Washington: *Manual of enviromental Microbiology*

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de seguimiento de plantas inoculadas con HFMA

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA (USCO) PROGRAMA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FISICA, QUIMICA Y BIOLOGIA SEMILLERO VIRHOBAT	SEGUIMIENTO AL TALLO 2016
---	---	--

PLANTA: sorgo, grama y café **FECHA DE INICIO:** 11- 11- 2016 **FECHA DE FINALIZACIÓN** _____

MEDIO DE SIEMBRA: suelo contaminado con lixiviados **CANTIDAD DE PLANTAS OBSERVADAS:** 3 por muestra

FECHA	Especie de planta	TAMAÑO de la planta	Promedio de hojas por planta	Color de la planta	OBSERVACIONES
11-11-2016	Sorgo	---	---	---	Siembra
11-11-2016	Gramma	---	---	---	Siembra
18-11-2016	Sorgo	1 cm	---	Verde limón claro	Son muy pocas las que han nacido
18-11-2016	Gramma	0.5 cm	---	Verde limón	Son mayoría en las masetas
25-11-2016	Sorgo	5 cm	1	Verde limón claro	Se notan semillas con una lama blanca donde se consideran que son hongos
25-11-2016	Gramma	3 cm	1	Verde limón	Ninguna
2-12-2016	Sorgo	7 cm	2	Verde claro	Son plantas muy delgadas y débiles
2-12-2016	Gramma	6 cm	2	Verde claro	La grama es muy delgada y pegajosa
9-12-2016	Sorgo	10 cm	2	Verde claro	Son plantas muy delgadas y color muy claro
9-12-2016	Gramma	7 cm	2	Verde claro	El pasto se encuentra un poco marchito

16-12-2016	Sorgo	11 cm	3	Verde claro	Algunas plantas sean han marchitado y muerto
16-12-2016	Gramma	7 cm	2	Verde claro	Son muy pocas las plantas que hay, se considera que debo resembrar
23-12-2016	Sorgo	12 cm	4	Verde claro	Se debe resembrar por la cantidad
23-12-2016	Gramma	---	--	---	Se sembró nuevamente
30-12-2016	Sorgo	12 cm	4	Verde claro	Se inicia nuevamente, se resiembra
30-12-2016	Gramma	1 cm	1	Verde limón claro	Son muy pocas las que han nacido
6-01-2017	Sorgo	14 cm – 1 cm	4	Verde claro	Las plantas grandes siguen normal
6-01-2017	Gramma	2.5 cm	1	Verde limón claro	Ya se ve parejo las plantas de grama
13-01-2017	Sorgo	---	---	---	Muestras trozadas por las hormigas, se resiembra
13-01-2017	Gramma	---	---	---	Muestras trozadas por las hormigas, se resiembra
13-02-2017	Sorgo	1 cm	1	Verde claro	Ninguna
20-02-2017	Gramma	1 cm	1	Verde claro	Ninguna
20-02-2017	Planta de Café	3 cm	---	Verde claro	Se decide trasplantar plántulas de café, aun no brota la hoja
27-02-2017	Plantas de café	4 cm	2	Verde claro	La planta reacciona bien al medio donde se trasplantadas, HAY TEMPORADA DE LLUVIA
27-02-2017	Gramma	3 cm	2	Verde claro	Todo normal
27-02-2017	sorgo	7 cm	2	Verde claro	Todo normal, en la plantas en la semilla se ponen algunas blancas (con lama)

3-02-2017	Plantas de café	4 cm	4	Verde claro	Hay algunas hojas que sufren malformaciones, pero todo lo demás está bien.
3-02-2017	Gramma	5 cm	2	Verde claro	Hay temporada de lluvia
3-02-2017	sorgo	12 cm	3	Verde claro	Hay temporada de lluvia
10-02-2017	Plantas de café	4.5 cm	4	Verde claro	Hay temporada de lluvia
10-02-2017	Gramma	7 cm	3	Verde claro	Hay temporada de lluvia
10-02-2017	sorgo	19 cm	3	Verde claro	Hay temporada de lluvia
17-02-2017	Plantas de café	5 cm	6	Verde claro	Hay temporada de lluvia
17-02-2017	Gramma	10 cm	4	Verde claro	Hay temporada de lluvia
17-02-2017	sorgo	26 cm	4	Verde claro	Hay temporada de lluvia
24-02-2017	Plantas de café	5 cm	6	Verde claro	Hay temporada de lluvia
24-02-2017	Gramma	12 cm	4	Verde claro	Hay temporada de lluvia
24-02-2017	sorgo	34 cm	6	Verde claro	Hay temporada de lluvia
03-03-2017	Plantas de café	5 cm	8	Verde limón claro las hojas nuevas y verde limón las hojas antiguas	Temporada de lluvia
03-03-2017	Gramma	14 cm	5	Verde claro	Temporada de lluvia
03-03-2017	sorgo	40 cm	7	Verde limón claro las hojas nuevas y verde limón las hojas antiguas	temporada de lluvia, las hojas la hacen ver alta

Anexo 2. Tabla de seguimiento de plantas sin HFMA

	<p>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA (USCO) PROGRAMA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES: FISICA, QUIMICA Y BIOLOGIA SEMILLERO VIRHOBAT</p>	<p>SEGUIMIENTO AL TALLO 2016</p>
---	--	---

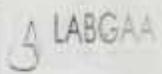
PLANTA: sorgo, grama y café **FECHA DE INICIO:** 11- 11- 2016 **FECHA DE FINALIZACIÓN** _____

MEDIO DE SIEMBRA: suelo contaminado con lixiviados **CANTIDAD DE PLANTAS OBSERVADAS:** 3 por muestra

FECHA	Especie de planta	TAMAÑO de la planta	Promedio de hojas por planta	Color de la planta	OBSERVACIONES
11-11-2016	Sorgo	---	---	---	Siembra
11-11-2016	Grama	---	---	---	Siembra
18-11-2016	Sorgo	1 cm	1	Verde limón	Son muy pocas las que nacen
18-11-2016	Grama	1 cm	1	Verde limón	Son mayoría en el montaje, pero no han nacido todas.
25-11-2016	Sorgo	---	---	---	Se resembro nuevamente, las plantas se murieron
25-11-2016	Grama	---	---	---	Se resembro nuevamente, las plantas se murieron
2-12-2016	Sorgo	1 cm	1	Verde limón	Plantas muy delgadas y se ven débiles
2-12-2016	Grama	1 cm	1	Verde limón	Crecen de forma uniforme
9-12-2016	Sorgo	3 cm	1	Verde limón	Todo igual
9-12-2016	Grama	5 cm	1	Verde limón	Cresen parejo pero son plantas muy débil
16-12-2016	Sorgo	4 cm	2	Verde limón	Son muy pocas las plántulas que quedan

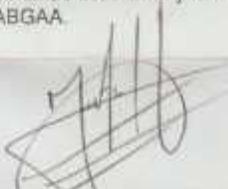
16-12-2016	Gramma	6 cm	2	Verde limón	Quedan muy pocas donde se debe resembrar
23-12-2016	Sorgo	---	---	---	Se resembró nuevamente, las platas se murieron
23-12-2016	Gramma	---	---	---	Se resembró nuevamente, las platas se murieron
30-12-2016	Sorgo	1 cm	1	Verde claro	Crecen de forma uniforme
30-12-2016	Gramma	1.5 cm	1	Verde claro	Crecen parejos
6-01-2017	Sorgo	2 cm	1	Verde claro	Todo igual
6-01-2017	Gramma	3 cm	1	Verde claro	Plantad muy débiles
13-01-2017	Sorgo	---	---	---	Muestras trozadas por las hormigas, se resiembra
13-01-2017	Gramma	---	---	---	Muestras trozadas por las hormigas, se resiembra
13-02-2017	Sorgo	1 cm	1	Verde claro	Son muy pocas las plántulas que nacen
20-02-2017	Gramma	1 cm	1	Verde claro	Ninguna, son la de mayor cantidad
20-02-2017	Planta de Café	3 cm	---	Verde claro	Se decide trasplantar plántulas de café, aun no brota la hoja
27-02-2017	Plantas de café	3 cm	2	Verde claro	Temporada de lluvias, planta no mejora
27-02-2017	Gramma	3 cm	1	Verde claro	Temporada de lluvias
27-02-2017	sorgo	5 cm	1	Verde claro	Temporada de lluvias
3-02-2017	Plantas de café	3.2 cm	2	Verde claro	Temporada de lluvias
3-02-2017	Gramma	4 cm	1	Verde claro	Temporada de lluvias
3-02-2017	sorgo	6 cm	2	Verde claro	Temporada de lluvias

10-02-2017	Plantas de café	3.5 cm	2	Verde claro	Son plantas que se encuentra en mal estado
10-02-2017	Gramma	---	---	---	Se resembro nuevamente, las platas se murieron
10-02-2017	sorgo	---	---	---	Se resembro nuevamente, las platas se murieron
17-02-2017	Plantas de café	4 cm	2	Verde muy claro	Es una planta muy marchita, sus hoja tiene los borde quemados (hay temporada de lluvia)
17-02-2017	Gramma	3 cm	3	Verde claro	La temporada de lluvia, le ha servido para el crecimiento
17-02-2017	sorgo	2 cm	2	Verde claro	La temporada de lluvia, le ha servido para el crecimiento
24-02-2017	Plantas de café	4 cm	2	Verde muy claro	Es una planta apestada
24-02-2017	Gramma	9 cm	5	Verde claro	Son la de mayor abundancia
24-02-2017	sorgo	5 cm	3	Verde claro	Hay muy pocas y muy débiles
03-03-2017	Plantas de café	4 cm	3	Verde muy pálido	Sus hojas pequeñas y muy quemadas sus bordes.
03-03-2017	Gramma	15 cm	7	Verde claro	Son muy abundantes, y tiene mayor dominio.
03-03-2017	sorgo	11 cm	4	Verde claro	Son muy escasa y hay muy pocas en este montaje.

ENTREGA DE RESULTADOS							
		INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS					
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2016	Página	1 de 1
DATOS DEL CLIENTE							
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo			Ciudad: NEIVA		Dirección: Calle 79 a # 1f-09		
Teléfono: 3178370987			Email: cccv-0317@hotmail.com				
INFORMACION DE LA MUESTRA							
Finca: no reporta			Matriz: Suelo			N° Muestra: 101-16	
Vereda: no reporta			ID cliente: Cristian Camilo Cardozo				
Municipio: Neiva			Fecha muestreo: No reporta				
Departamento: Huila			Fecha recepción: 29 de noviembre de 2016				
Cultivo: No reporta			Fecha análisis: 10 de enero de 2016				
N° Cadena de custodia: No aplica			Fecha entrega: 20 de enero de 2016				
N° Plan de muestreo: No aplica			Informe de resultados N°: 101				
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO				
pH	-	10,3	NTC 5264				
Carbono Orgánico (CO)	%	3,17	NTC 5403 método B				
Fósforo (P)	ppm	724,46	NTC 5350				
Calcio (Ca)	cmol ⁺ kg ⁻¹	5,75	NTC 5349				
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ kg ⁻¹	6,97					
Sodio (Na)	cmol ⁺ kg ⁻¹	21,7					
Potasio (K)	cmol ⁺ kg ⁻¹	93,07					
Azufre (S)	ppm	267,46	NTC 5402				
Hierro (Fe)	ppm	167,78	NTC 5526 método DTPA				
Manganeso (Mn)	ppm	70,04					
Cobre (Cu)	ppm	8,23					
Cinc (Zn)	ppm	10,28					
Boro (B)	ppm	81,12	H ₂ O Caliente				
TEXTURA*	Clase	FA	Organoléptico				

*A= arenosa; A=arcillosa; F= franco

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.



JHON JAIRÓ AREVALO HERNANDEZ
Coordinador Laboratorio



CESAR HERNANDO BOLIVAR HERRERA
Director del Laboratorio

FIN DEL INFORME

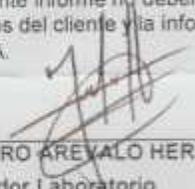
Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingenieria primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
Email: labgaa@usco.edu.co

MUESTRA CONTROL, SUELO SIN EL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA

ENTREGA DE RESULTADOS		LABGAA	
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS			
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4
VIGENCIA	2016	Página	1 de 1
DATOS DEL CLIENTE			
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo		Ciudad: NEIVA	Dirección: Calle 79 a # 1f-09
Teléfono: 3178370987		Email: cccv-0317@hotmail.com	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Finca: no reporta	Matriz: Suelo		N° Muestra: 005-17
Vereda: no reporta	ID cliente: Cristian Camilo Cardozo		
Municipio: Neiva	Fecha muestreo: 1 Noviembre 2016		
Departamento: Huila	Fecha recepción:		
Cultivo: No reporta	Fecha análisis: 15 de marzo de 2017		
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 24 de marzo de 2017		
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 005		
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
pH	-	8,9	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	2,59	NTC 5403 método B
Fósforo (P)	ppm	947,23	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	10,77	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	4,85	
Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	16,08	
Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	95,92	
Azufre (S)	ppm	11,98	NTC 5402
Hierro (Fe)	ppm	108,20	NTC 5526 método DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	50,03	
Cobre (Cu)	ppm	5,04	
Cinc (Zn)	ppm	8,05	
Boro (B)	ppm	61,23	H ₂ O Caliente
TEXTURA*	Clase	ArFr	Bouyucos

*A= arenoso, Ar=arcilloso, F= franco

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.


JHON JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

MUESTRA CONTROL, SUELO CON EL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA

ENTREGA DE RESULTADOS		LABGAA	
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS			
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4
VIGENCIA	2016	Página	1 de 1
DATOS DEL CLIENTE			
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo		Ciudad: NEIVA	Dirección: Calle 79 a # 1f-09
Teléfono: 3178370987		Email: cccv-0317@hotmail.com	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Finca: no reporta	Matriz: Suelo	N° Muestra: 004-17	
Vereda: no reporta	ID cliente: Cristian Camilo Cardozo		
Municipio: Neiva	Fecha muestreo: no reporta		
Departamento: Huila	Fecha recepción:		
Cultivo: No reporta	Fecha análisis: 15 de marzo de 2017		
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 24 de marzo de 2017		
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 101		
PARAMETROS QUIMICOS			
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
pH	-	7,6	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	6,16	NTC 5403 método B
Fósforo (P)	ppm	677,92	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol ⁺ kg ⁻¹	13,55	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ kg ⁻¹	5,30	
Sodio (Na)	cmol ⁺ kg ⁻¹	10,13	
Potasio (K)	cmol ⁺ kg ⁻¹	67,11	
Azufre (S)	ppm	53,26	NTC 5402
Hierro (Fe)	ppm	129,77	NTC 5526 método DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	45,38	
Cobre (Cu)	ppm	5,10	
Cinc (Zn)	ppm	10,01	
Boro (B)	ppm	35,98	
TEXTURA*	Clase	ArFr	H ₂ O Caliente Bouyucos

*A= arenoso, A=arcilloso, F= franco

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.



JHON JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila, Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

MUESTRAS DEL SUELO SIN EL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA (MUESTRA CONTROL)

MUESTRA 1.

CÓDIGO		ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1	
		ENTREGA DE RESULTADOS							
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS									
DATOS DEL CLIENTE									
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo			Ciudad: Neiva		Dirección: CR79A #1f-09				
Teléfono: 3178370987			email: cccv-0317@hotmail.com						
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA									
Finca: No Reporta			Matriz: Suelo			N° Muestra: 036-17			
Vereda: No Reporta			ID cliente: SINHFMA						
Municipio: Neiva			Fecha muestreo: No reporta						
Departamento: Huila			Fecha recepción: 03/05/2017						
Cultivo: No Reporta			Fecha análisis: 20/05/2017						
N° Cadena de custodia: No aplica			Fecha entrega: 01/06/2017						
N° Plan de muestreo: No aplica			Informe de resultados N°: 036						
PARAMETROS QUÍMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	METODO					
pH	-	9.73	Fuertemente Alcalino	NTC 5264					
Carbono Orgánico (CO)	%	4.24	Alto	NTC 5403 método B					
C.I.C.	cmol* kg ⁻¹	15.03	Medio	NTC 5268					
Fósforo (P)	ppm	822.72	Alto	NTC 5350					
Calcio (Ca)	cmol* kg ⁻¹	53.01	Alto	NTC 5349					
Magnesio (Mg)	cmol* kg ⁻¹	21.94	Alto						
Sodio (Na)	cmol* kg ⁻¹	176.29	Alto						
Potasio (K)	cmol* kg ⁻¹	1445.76	Alto						
Bases Totales (BT)	cmol* kg ⁻¹	1697	-		Suma cationes				
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Relación catiónica					
Azufre (S)	ppm	13.13	Medio	NTC 5402					
Hierro (Fe)	ppm	101.88	Alto	NTC 5526 método DTPA					
Manganeso (Mn)	ppm	49.24	Alto						
Cobre (Cu)	ppm	0.90	Bajo						
Cinc (Zn)	ppm	38.57	Alto						
Boro (B)	ppm	0.95	Alto		H ₂ O Caliente				
Acidez intercambiable	cmol* kg ⁻¹	-	-	NTC 5263					
Relación Ca/Mg	-	2.41	-	Relación catiónica					
Relación (Ca + Mg)/K	-	0.05	-						
Relación Mg/K	-	0.02	-						
TEXTURA	Clase		Franco Arenoso	Organoléptico					

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.



JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.

MUESTRA 2

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA		ENTREGA DE RESULTADOS			LABGAA		Net	
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS								
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1	
DATOS DEL CLIENTE								
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo			Ciudad: Neiva		Dirección: CI79A #11-09			
Teléfono: 3178370987			email: cccv-0317@hotmail.com					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
Finca: Minuto De Dios				Matriz: Suelo		N° Muestra: 083-17		
Vereda: No Reporta				ID cliente: 2SINHFM				
Municipio: Neiva				Fecha muestreo: No reporta				
Departamento: Huila				Fecha recepción: 16/06/2017				
Cultivo: No Reporta				Fecha análisis: 10/06/2017				
N° Cadena de custodia: No aplica				Fecha entrega: 05/07/2017				
N° Plan de muestreo: No aplica				Informe de resultados N°: 083				
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	MÉTODO				
pH	-	9.6	Fuertemente Alcalino	NTC 5264				
Conductividad Eléctrica (C.E)	dS/m	-	-	Potenciométrico				
Materia Orgánica (M.O)	%	-	-	Calcinación				
C.I.C.	cmol ⁺ .kg ⁻¹	10.32	Medio	NTC 5268				
Fósforo (P)	ppm	809.52	Alto	NTC 5350				
Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	93.7	Alto	NTC 5349				
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	25.84	Alto					
Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	260.72	Alto					
Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	3017.47	Alto					
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	3397.73	-		Suma cationes			
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Relación catiónica				
Azufre (S)	ppm	11.61	Medio	NTC 5402				
Hierro (Fe)	ppm	141.40	Alto	NTC 5526 método DTPA				
Manganeso (Mn)	ppm	83.94	Alto					
Cobre (Cu)	ppm	1.52	Bajo					
Cinc (Zn)	ppm	8.46	Alto					
Boro (B)	ppm	135.40	Alto		H ₂ O Caliente			
Acidez intercambiable	cmol ⁺ .kg ⁻¹	-	-	NTC 5263				
Relación Ca/Mg	-	-	-	Relación catiónica				
Relación (Ca + Mg)/K	-	-	-					
Relación Mg/K	-	-	-					
TEXTURA	Clase	FA	Franco Arenoso	Organoléptico				

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.



JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
Coordinador Laboratorio

Sede Central - Av. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

FIN DEL INFORME

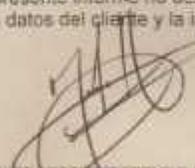
Gestión, Participación y Resultados

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

MUESTRA 3.

CÓDIGO		ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1
ENTREGA DE RESULTADOS					INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS			
DATOS DEL CLIENTE								
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo			Ciudad: Neiva		Dirección: CH79A #1f-09			
Teléfono: 3178370987				email: cccv-0317@hotmail.com				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
Finca: Minuto De Dios				Matriz: Suelo		N° Muestra: 084-17		
Vereda: No Reporta				ID cliente: 3SINHFM				
Municipio: Neiva				Fecha muestreo: No reporta				
Departamento: Huila				Fecha recepción: 16/06/2017				
Cultivo: No Reporta				Fecha análisis: 10/06/2017				
N° Cadena de custodia: No aplica				Fecha entrega: 05/07/2017				
N° Plan de muestreo: No aplica				Informe de resultados-N°: 084				
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	MÉTODO				
pH	-	9.9	Fuertemente Alcalino	NTC 5264				
Conductividad Electrica (C.E)	dS/m	-	-	Potenciométrico				
Materia Orgánica (M.O)	%	-	-	Calcinación				
C.I.C.	cmol ⁺ kg ⁻¹	11.39	Medio	NTC 5268				
Fósforo (P)	ppm	852.82	Alto	NTC 5350				
Calcio (Ca)	cmol ⁺ kg ⁻¹	102.66	Alto	NTC 5349				
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ kg ⁻¹	28.13	Alto					
Sodio (Na)	cmol ⁺ kg ⁻¹	223.95	Alto					
Potasio (K)	cmol ⁺ kg ⁻¹	3596.47	Alto					
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ kg ⁻¹	3951.21	-		Suma cationes			
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Relación catiónica				
Azufre (S)	ppm	12.67	Medio	NTC 5402				
Hierro (Fe)	ppm	121.00	Alto	NTC 5526 método DTPA				
Manganeso (Mn)	ppm	94.24	Alto					
Cobre (Cu)	ppm	2.57	Medio					
Cinc (Zn)	ppm	9.81	Alto					
Boro (B)	ppm	129.19	Alto	H ₂ O Caliente				
Acidez intercambiable	cmol ⁺ kg ⁻¹	-	-	NTC 5263				
Relación Ca/Mg	-	-	-	Relación catiónica				
Relación (Ca + Mg)/K	-	-	-					
Relación Mg/K	-	-	-					
TEXTURA	Clase	FA	Franco Arenoso	Organoléptico				

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.


JOHN JAIRÓ AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968222
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

FIN DEL INFORME

Gestión, Participación y Resultados

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

MUESTRAS DEL SUELO CON EL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA (MUESTRA CONTROL)

MUESTRA 1.

ENTREGA DE RESULTADOS		LABGAA		
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS				
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4	
VIGENCIA	2014	Página	1 de 1	
DATOS DEL CLIENTE				
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo		Ciudad: Neiva	Dirección: CII79A #1f-09	
Teléfono: 3176370987		email: cccv-0317@hotmail.com		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
Finca: No Reporta	Matriz: Suelo		N° Muestra: 037-17	
Vereda: No Reporta	ID cliente: CONHFMA			
Municipio: Neiva	Fecha muestreo: No reporta			
Departamento: Huila	Fecha recepción: 03/05/2017			
Cultivo: No Reporta	Fecha análisis: 20/05/2017			
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 01/06/2017			
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 037			
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	MÉTODO
pH	-	8.41	Fuertemente Alcalino	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	6.37	Alto	NTC 5403 método B
C.I.C.	cmol ⁺ .kg ⁻¹	18.87	Medio	NTC 5268
Fósforo (P)	ppm	590.26	Alto	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	36.33	Alto	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	15.80	Alto	
Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	136.04	Alto	
Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	1410.36	Alto	
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	1598.53	-	Suma cationes
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Relación catiónica
Azufre (S)	ppm	5.22	Bajo	NTC 5402
Hierro (Fe)	ppm	83.88	Medio	NTC 5526 método DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	24.50	Alto	
Cobre (Cu)	ppm	3.03	Medio	
Cinc (Zn)	ppm	35.29	Alto	
Boro (B)	ppm	59.72	Alto	H ₂ O Caliente
Acidez Intercambiable	cmol ⁺ .kg ⁻¹	-	-	NTC 5263
Relación Ca/Mg	-	2.29	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	0.04	-	
Relación Mg/K	-	0.01	-	
TEXTURA	Clase		Franco Arenoso	Organoléptico

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.


JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila, Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.

MUESTRA 2.

CÓDIGO		ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1
ENTREGA DE RESULTADOS								
USCOLOMBIANA			INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS					
DATOS DEL CLIENTE								
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo			Ciudad: Neiva		Dirección: CI79A #1f-09			
Teléfono: 3178370967			email: cccv-0317@hotmail.com					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
Finca: No Reporta				Matriz: Suelo		N° Muestra: 081-17		
Vereda: No Reporta				ID cliente: 2CONHFM				
Municipio: Neiva				Fecha muestreo: No reporta				
Departamento: Huila				Fecha recepción: 16/06/2017				
Cultivo: No Reporta				Fecha análisis: 10/06/2017				
N° Cadena de custodia: No aplica				Fecha entrega: 05/07/2017				
N° Plan de muestreo: No aplica				Informe de resultados N°: 036				
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	METODO				
pH	-	8.9	Fuertemente Alcalino	NTC 5264				
Conductividad Eléctrica (C.E)	dS/m	-	-	Potenciométrico				
Materia Orgánica (M.O)	%	-	-	Calcinación				
C.I.C.	cmol ⁺ .kg ⁻¹	9.60	Bajo	NTC 5268				
Fósforo (P)	ppm	982.98	Alto	NTC 5350				
Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	127.82	Alto	NTC 5349				
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	33.08	Alto					
Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	219.09	Alto					
Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	2498.72	Alto					
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	2878.71	-		Suma cationes			
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Relación catiónica				
Azufre (S)	ppm	5.97	Bajo	NTC 5402				
Hierro (Fe)	ppm	115.78	Alto	NTC 5526 método DTPA				
Manganeso (Mn)	ppm	30.31	Alto					
Cobre (Cu)	ppm	3.28	Medio					
Cinc (Zn)	ppm	12.72	Alto					
Boro (B)	ppm	69.47	Alto		H ₂ O Caliente			
Acidez Intercambiable	cmol ⁺ .kg ⁻¹	-	-	NTC 5263				
Relación Ca/Mg	-	-	-	Relación catiónica				
Relación (Ca + Mg)/K	-	-	-					
Relación Mg/K	-	-	-					
TEXTURA	Clase	FA	Franco Arenoso	Organoléptico				

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.

JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 6890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

FIN DEL INFORME

Presión, Participación y Resultados

MUESTRA 3.

CÓDIGO		ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1
ENTREGA DE RESULTADOS								
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA								
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS								
DATOS DEL CLIENTE								
Solicitante: Cristian Camilo Cardozo			Ciudad: Neiva		Dirección: CII79A #1f-09			
Teléfono: 3178370987				email: cccv-0317@hotmail.com				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
Finca: Minuto De Dios			Matriz: Suelo			N° Muestra: 082-17		
Vereda: No Reporta			ID cliente: 3CONHFM					
Municipio: Neiva			Fecha muestreo: No reporta					
Departamento: Huila			Fecha recepción: 16/06/2017					
Cultivo: No Reporta			Fecha análisis: 10/06/2017					
N° Cadena de custodia: No aplica			Fecha entrega: 05/07/2017					
N° Plan de muestreo: No aplica			Informe de resultados N°: 082					
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	METODO				
pH	-	9.2	Fuertemente Alcalino	NTC 5264				
Conductividad Electrica (C.E)	dS/m	-	-	Potenciométrico				
Materia Organica (M.O)	%	-	-	Calcinación				
C.I.C.	cmol ⁺ .kg ⁻¹	11.02	Medio	NTC 5268				
Fósforo (P)	ppm	1011.93	Alto	NTC 5350				
Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	147.84	Alto	NTC 5349				
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	30.82	Alto					
Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	207.23	Alto					
Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	2983.05	Alto					
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	3368.94	-	Suma cationes				
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Relación catiónica				
Azulre (S)	ppm	7.28	Bajo	NTC 5402				
Hierro (Fe)	ppm	120.73	Alto	NTC 5526 método DTPA				
Manganeso (Mn)	ppm	26.85	Alto					
Cobre (Cu)	ppm	3.13	Medio					
Cinc (Zn)	ppm	12.53	Alto	H ₂ O Caliente				
Boro (B)	ppm	64.31	Alto					
Acidez intercambiable	cmol ⁺ .kg ⁻¹	-	-	NTC 5263				
Relación Ca/Mg	-	-	-	Relación catiónica				
Relación (Ca + Mg)/K	-	-	-					
Relación Mg/K	-	-	-					
TEXTURA	Clase	FA	Franco Arenoso	Organoléptico				

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.


JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

Sede Central - AV. Pastrana Borrero, Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8690 – (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

FIN DEL INFORME

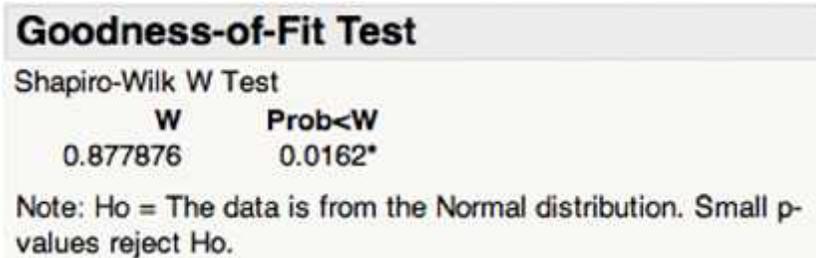
Gestión, Participación y Resultados

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.

Anexo 6. Texto de varianza aplicado al Crecimiento de la raíz

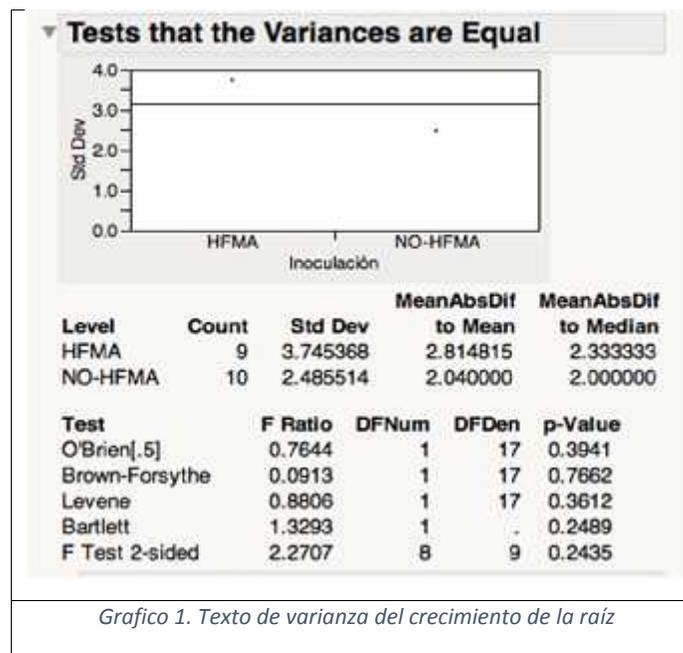
Hipotesis nula: los datos tienen una distribución normal

Hipotesis alterna: los datos no tienen una distribución normal.



Hipotesis nula: los datos son homocedasticos

Hipotesis alterna: los datos no son homocedasticos



Los datos no presentan heterocedasticidad. Valor p es mayor a α , la hipótesis nula es aceptada

Según el texto de varianza, no se debe aplicar ANOVA, pero si pruebas no paramétricas

Hipotesis nula: las raíces tienen una longitud igual en las plantas inoculadas y no inoculadas.

Hipotesis alterna: las raíces no tienen una longitud igual en las plantas inoculadas y no inoculadas. Si hay un efecto de la inoculación.

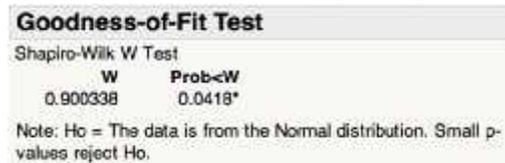
Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)						
Level	Count	Score Sum	Expected Score	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0	
HFMA	9	119.500	90.000	13.2778	2.412	
NO-HFMA	10	70.500	100.000	7.0500	-2.412	
2-Sample Test, Normal Approximation						
S	Z	Prob> Z				
119.5	2.41160	0.0159*				
1-way Test, ChiSquare Approximation						
ChiSquare	DF	Prob>ChiSq				
6.0181	1	0.0142*				

Valor P es menor a alfa, la hipótesis nula es rechazada, si hay diferencia entre tratamientos

Anexo 7. Texto de varianza aplicado a la altura de las plantas de cada tratamiento.

Hipotesis nula: los datos tienen una distribución normal

Hipotesis alterna: los datos no tienen una distribución normal.

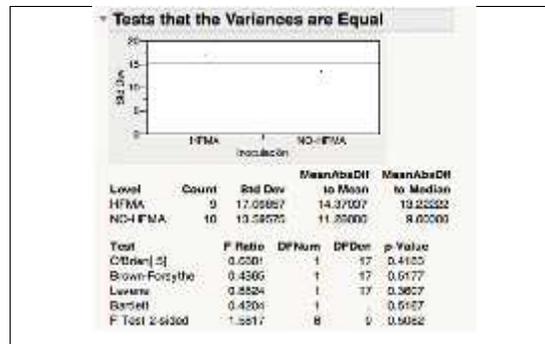


Shapiro Wilk es el test para identificar la normalidad en los datos.

Se rechaza la hipótesis nula.

Hipotesis nula: los datos son homocedásticos

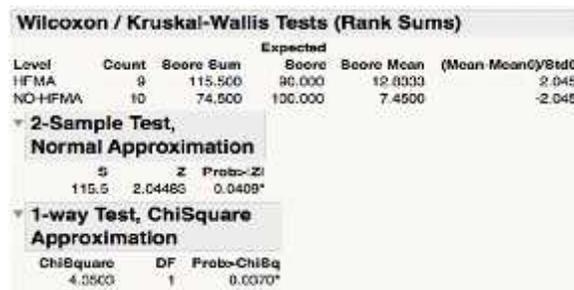
Hipotesis alterna: los datos no son homocedásticos



Se acepta la hipótesis nula

Hipotesis nula: los tallos tienen una altura igual en las plantas inoculadas y no inoculadas.

Hipotesis alterna: los tallos no tienen una altura igual en las plantas inoculadas y no inoculadas. Si hay un efecto de la inoculación.

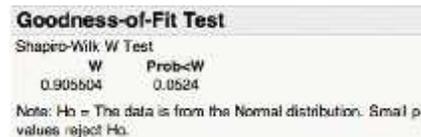


Se rechaza la hipótesis nula. Si hay efecto de la inoculación.

Anexo 8. Análisis estadístico aplicado la longitud total de las plantas (raíz y parte aérea) medida en centímetros en los dos tratamientos

Hipotesis nula: los datos tienen una distribución normal

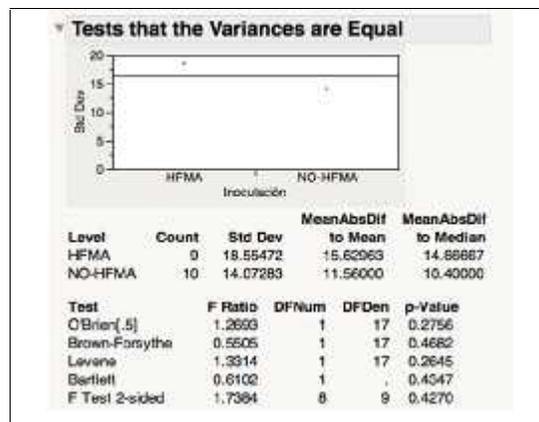
Hipotesis alterna: los datos no tienen una distribución normal.



Se acepta la hipótesis nula de distribución normal en los datos.

Hipotesis nula: los datos son homocedásticos

Hipotesis alterna: los datos no son homocedásticos



Se acepta la hipótesis nula de homocedasticidad

Hipotesis nula: longitud total de las plantas es igual en plantas inoculadas y no inoculadas.

Hipotesis alterna: longitud total de las plantas no es igual en las plantas inoculadas y no inoculadas. Si hay un efecto de la inoculación.

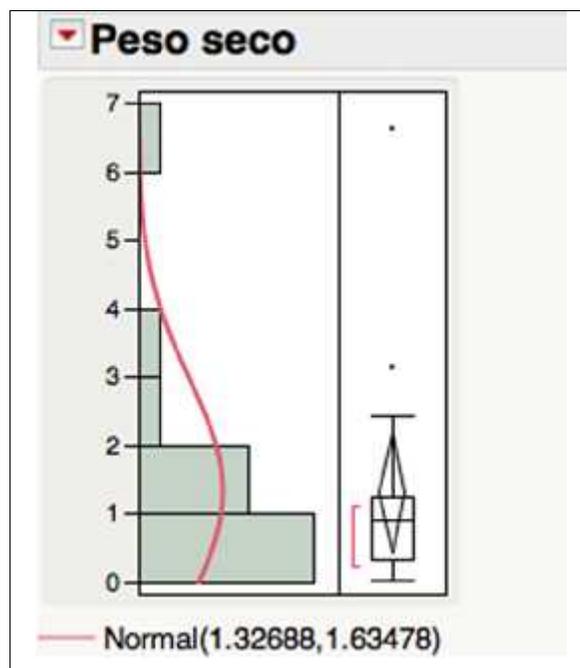


Texto de variancia aplicado al peso seco de las plantas de los diferentes tratamientos

Se rechaza la hipotesis nula, si hay diferencias entre tratamientos

Hipotesis nula: los datos tienen una distribución normal

Hipotesis alterna: los datos no tienen una distribución normal.



Anexo 9. Varianza del peso seco

▼ Goodness-of-Fit Test

Shapiro-Wilk W Test

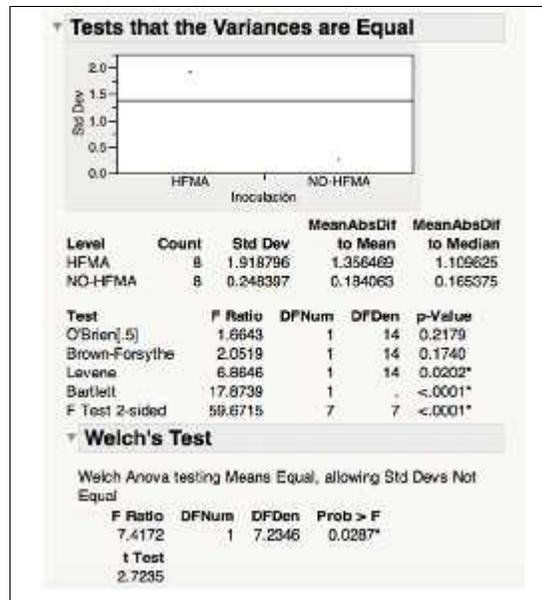
W	Prob<W
0.684090	0.0001*

Note: H_0 = The data is from the Normal distribution. Small p-values reject H_0 .

No hay normalidad

Hipotesis nula: los datos son homocedasticos

Hipotesis alterna: los datos no son homocedasticos

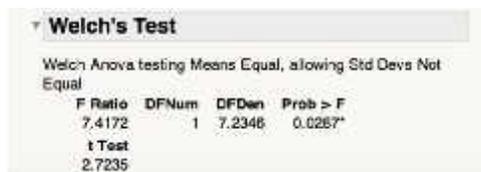


Texto de varianza del peso seco

Se rechaza la hipotesis nula.

Hipotesis nula: peso seco de las plantas es igual en plantas inoculadas y no inoculadas.

Hipotesis alterna: peso seco las plantas no es igual en las plantas inoculadas y no inoculadas. Si hay un efecto de la inoculación.



Se rechaza la hipotesis nula, si hay un efecto en la inoculación.

PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN

Goodness-of-Fit Test

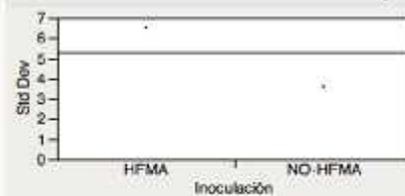
Shapiro-Wilk W Test

W	Prob<W
0.933567	0.1808

Note: Ho = The data is from the Normal distribution. Small p-values reject Ho.



Tests that the Variances are Equal



Level	Count	Std Dev	MeanAbsDif to Mean	MeanAbsDif to Median
HFMA	10	6.518043	4.480000	4.480000
NO-HFMA	10	3.599460	2.850000	2.710000

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[.5]	1.1844	1	18	0.2908
Brown-Forsythe	1.1755	1	18	0.2926
Levene	1.1017	1	18	0.3078
Bartlett	2.8446	1	18	0.0917
F Test 2-sided	3.2791	9	9	0.0916

Texto de varianza del porcentaje de colonización entre los tratamientos

Summary of Fit

RSquare	0.671729
RSquare Adj	0.653491
Root Mean Square Error	5.265026
Mean of Response	19.495
Observations (or Sum Wgts)	20

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Model	1	1021.0205	1021.02	36.8327	
Error	18	498.9690	27.72		
C. Total	19	1519.9895			<.0001*

DENSIDAD DE ESPORAS:

Se observa que si tienen distribución normal entre los resultados.

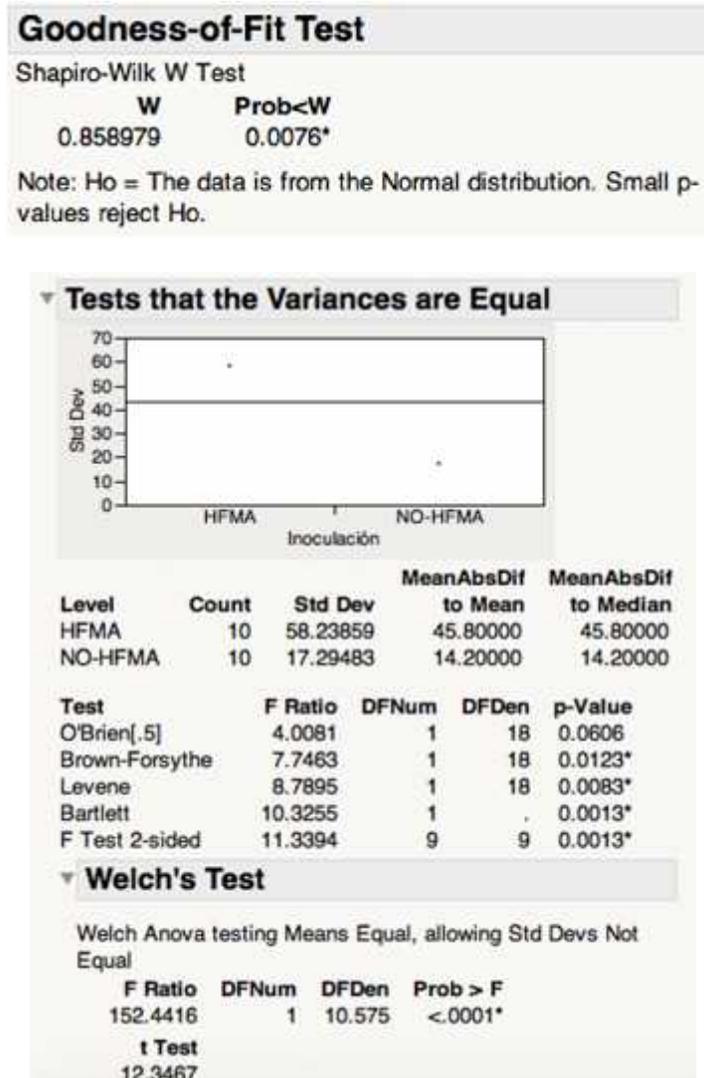


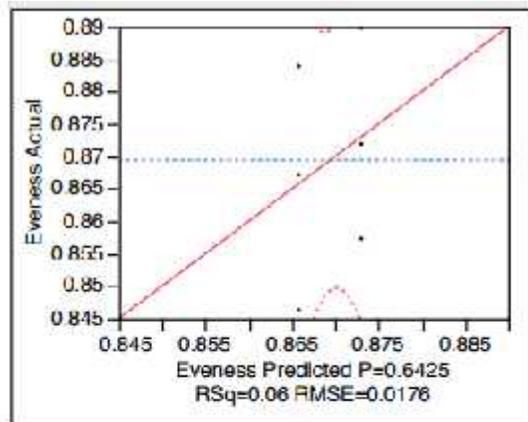
Gráfico 2. Texto de varianza de la diversidad de esporas.

Anexo 11. Ajuste de cuadrados

Respuesta Evenness

Modelo completo

Real por predicho diagrama



Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	0.00007819	0.000078	0.2512
Error	4	0.00124484	0.000311	Prob > F
C. Total	5	0.00132303		0.6425

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0.8694036	0.007202	120.72	<.0001*
TRATAMIENTO[T1]	0.00361	0.007202	0.50	0.6425

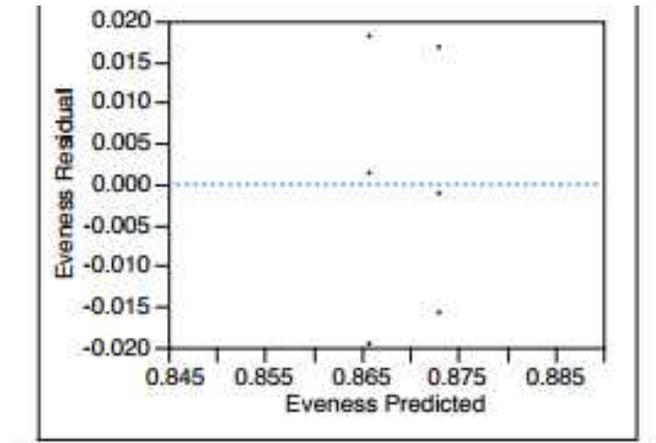
Residual by Predicted Plot

Anexo 12. Ajuste de mínimos cuadrados

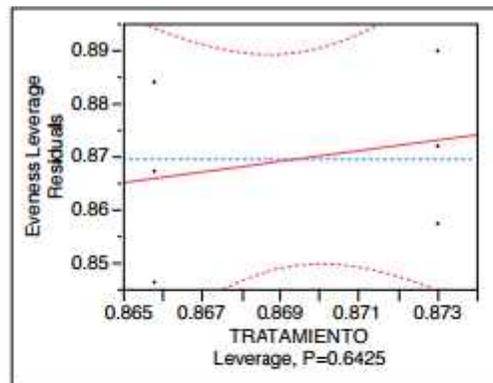
Respuesta Evenness

Modelo completo

Residual por Lote Previsto



Anexo 13. Tratamiento de Parcela de apalancamiento



Least Squares Means Table

Level	Least		
	Sq Mean	Std Error	Mean
T1	0.87301357	0.01018511	0.873014
T2	0.86579365	0.01018511	0.865794

Response Indice de Simpson

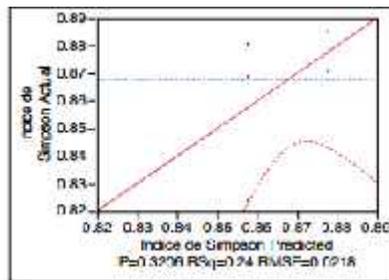
Ajustes de mínimos cuadrados

Respuesta Evenness

Respuesta Indice de Simpson

Modelo completo

Real por predicho diagrama



Summary of Fit

RSquare	0.242895
RSquare Adj	0.053619
Root Mean Square Error	0.02179
Mean of Response	0.867814
Observations (or Sum Wgts)	3

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Model	1	0.0002877	0.0002877	1.9833	0.1923
Error	4	0.00180752	0.0004519		
C. Total	5	0.00250629			0.1923

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	T Ratio	Prob > T
Intercept	0.8678139	0.008892	97.60	<0.0001*
TRATAMIENTO(T1)	0.0100728	0.008892	1.13	0.3206

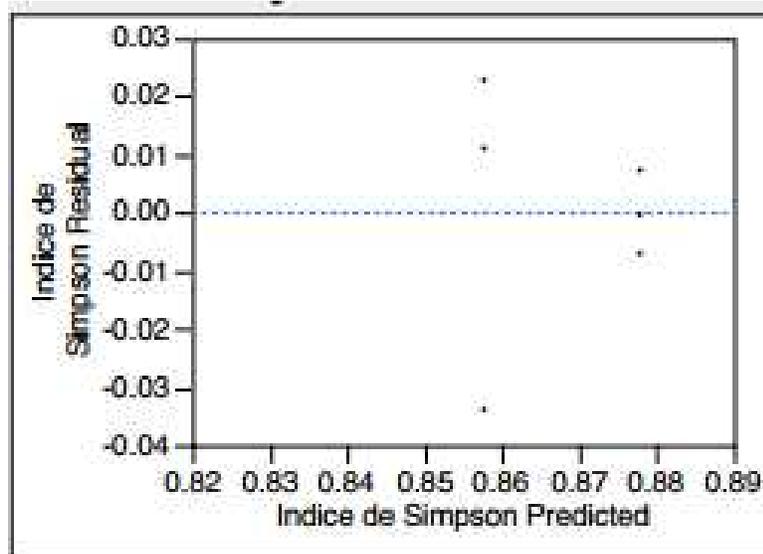
Residual by Predicted Plot

Ajustes de mínimos cuadrados

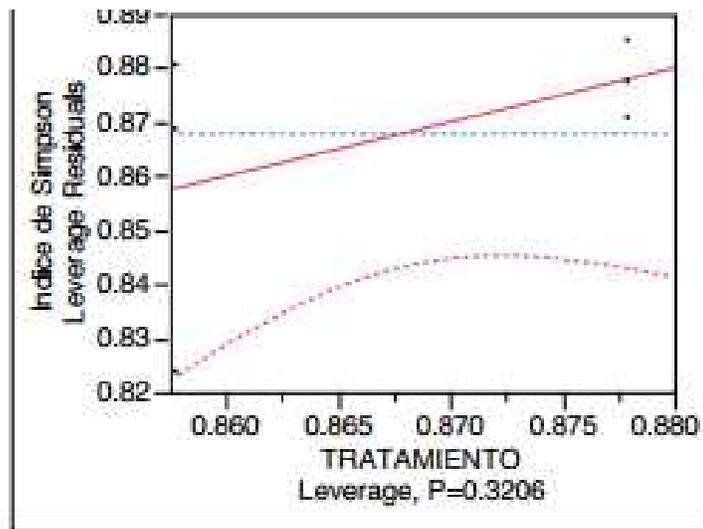
Respuesta Índice de Simpson

Modelo completo

Residual por Lote Previsto



Parcela de aplacamiento



Least Squares Means Table

	Least		
Level	Sq Mean	Std Error	Mean
T1	0.87788670	0.01257485	0.877887
T2	0.85774114	0.01257485	0.857741

Response Indice de Shannon

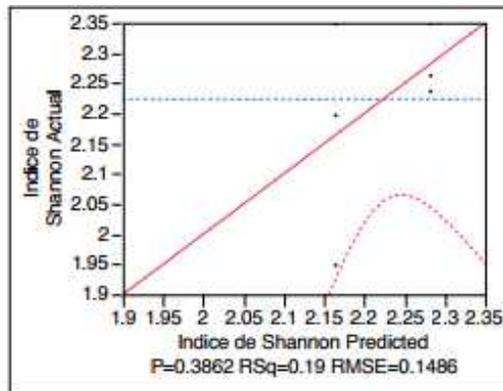
Ajustes de mínimos cuadrados

Respuesta Indice de Simpson

Respuesta Indice de Shannon

Modelo completo

Real por predicho diagrama



Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	0.02085303	0.020853	0.9445
Error	4	0.08831284	0.022078	Prob > F
C. Total	5	0.10916587		0.3862

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	2.223441	0.060661	36.65	<.0001*
TRATAMIENTO[T1]	0.0589534	0.060661	0.97	0.3862

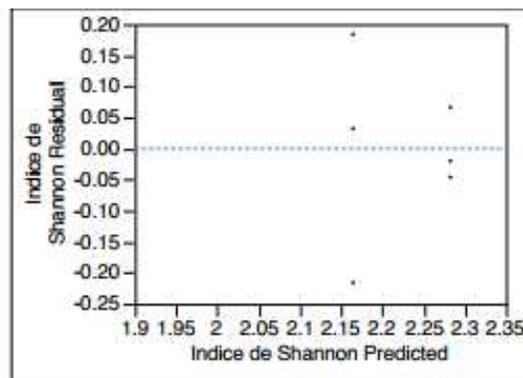
Residual by Predicted Plot

Ajustes de mínimos cuadrados

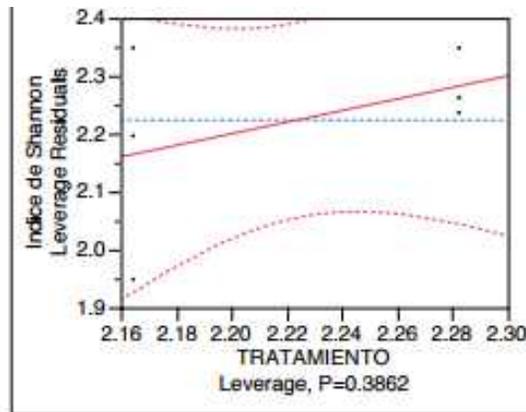
Respuesta Indice de Shannon

Modelo completo

Residual por Lote Previsto



Tratamiento de Parcela de aplacamiento



Least Squares Means Table

	Least		
Level	Sq Mean	Std Error	Mean
T1	2.2823945	0.08578697	2.28239
T2	2.1644876	0.08578697	2.16449

Response Riqueza de morfotipos

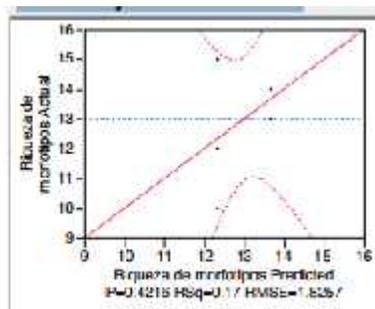
Ajustes de mínimos cuadrados

Respuesta Indice de Shannon

Respuesta Riqueza de morfotipos

Modelo completo

Real por predicho diagrama



Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Model	1	2.666667	2.66667	0.8000	
Error	4	13.333333	3.33333		0.4216
C. Total	5	16.000000			

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	13	0.745356	17.44	<.0001*
TRATAMIENTO[T1]	0.6666667	0.745356	0.89	0.4216

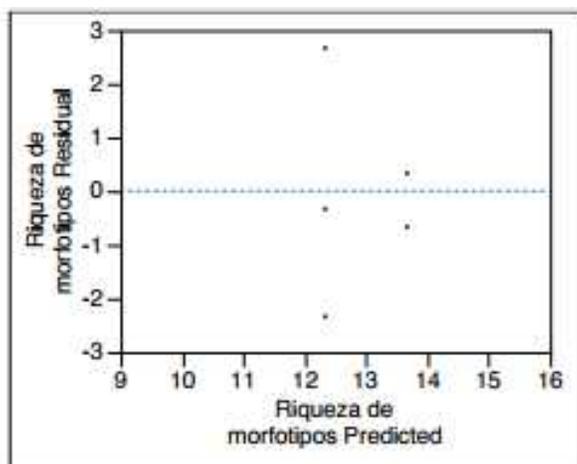
Residual by Predicted Plot

Ajustes de mínimos cuadrados

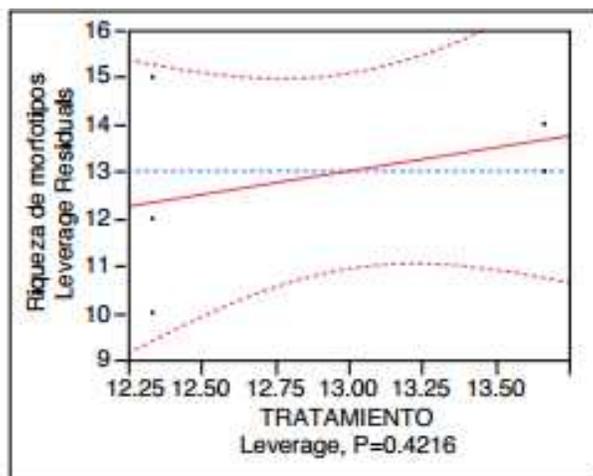
Respuesta Riqueza de morfotipos

Modelo completo

Residual por Lote Previsto



Tratamiento por parcela de aplacamiento

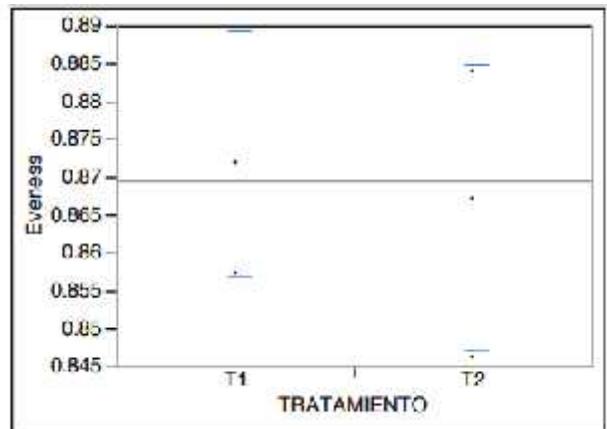


Least Squares Means Table

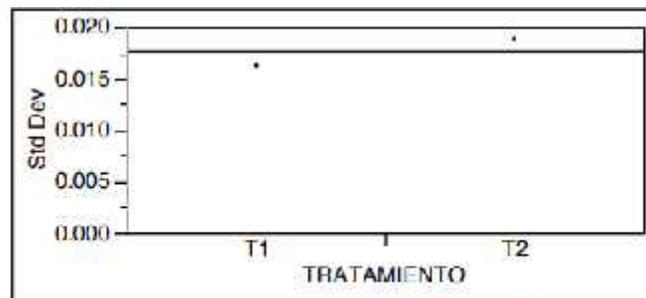
	Least		
Level	Sq Mean	Std Error	Mean
T1	13.666667	1.0540926	13.6667
T2	12.333333	1.0540926	12.3333

Ajustar Y por Grupo X

Análisis unidireccional de la uniformidad por TRATAMIENTO



Prueba que las Variaciones son Iguales



Level	Count	Std Dev	MeanAbsDif to Mean	MeanAbsDif to Median
T1	3	0.0162946	0.0112134	0.0157125
T2	3	0.0188919	0.0130285	0.0181658

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[.5]	0.0750	1	4	0.7977
Brown-Forsythe	1.9275	1	4	0.2373
Levene	0.0552	1	4	0.8259
Bartlett	0.0349	1	.	0.8519
F Test 2-sided	1.3442	2	2	0.8532

Warning: Small sample sizes. Use Caution.

Welch's Test

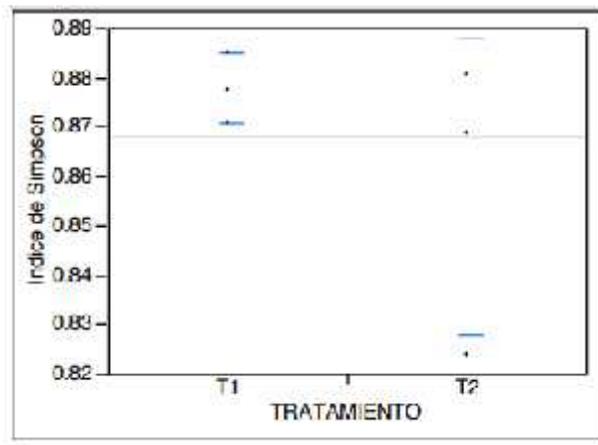
Prueba de Welch

Advertencia: Pequeños tamaños de muestra. Con precaución.

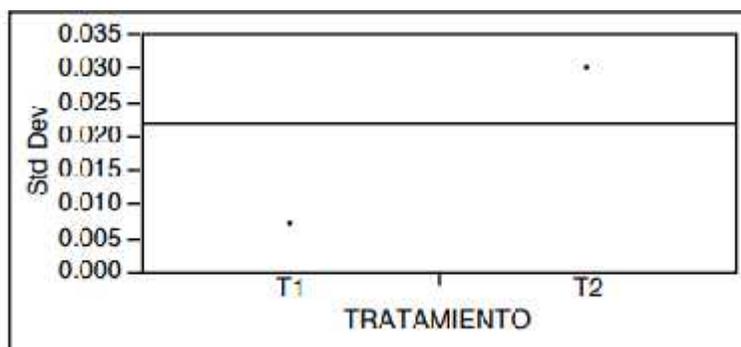
Prueba Welch Anova significa igual, lo que permite a los desarrolladores de Std no Igual

F Ratio	DFNum	DFDen	Prob > F
0.2512	1	3.9156	0.6431
t Test			
0.5012			

Análisis unidireccional de Índice de Simpson por TRATAMIENTO



Prueba que las Variaciones son Iguales



Level	Count	Std Dev	MeanAbsDif to Mean	MeanAbsDif to Median
T1	2	0.008		
T2	2	0.030		

Prueba que las Variaciones son Iguales

Level	Count	Std Dev	MeanAbsDif to Mean	MeanAbsDif to Median
T1	3	0.0071514	0.0048755	0.0069776
T2	3	0.0299603	0.0226116	0.0228589

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[.5]	1.5759	1	4	0.2777
Brown-Forsythe	2.0604	1	4	0.2245
Levene	8.4567	1	4	0.0639
Bartlett	2.5435	1	.	0.1108
F Test 2-sided	17.5515	2	2	0.1078

Warning: Small sample sizes. Use Caution.

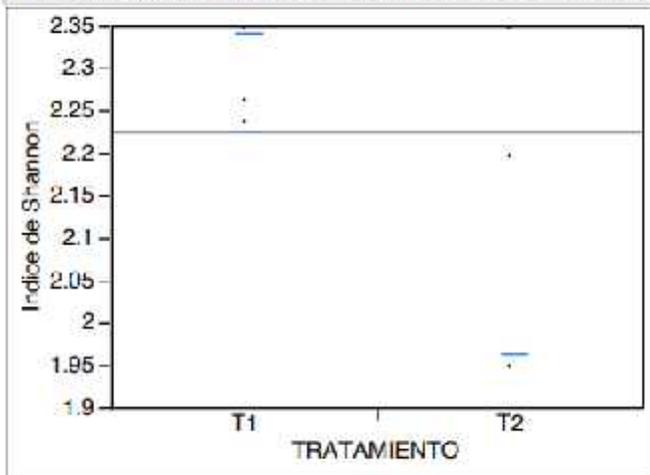
Welch's Test

Welch Anova testing Means Equal, allowing Std Devs Not Equal

F Ratio	DFNum	DFDen	Prob > F
1.2833	1	2.2272	0.3645

t Test
1.1328

Oneway Analysis of Indice de Shannon By TRATAMIENTO

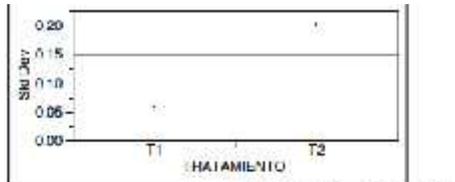


Tests that the Variances are Equal

Ajustar Y por Grupo X

Análisis unidireccional de Índice de Simpson por TRATAMIENTO

Prueba que las Variaciones son Iguales



Level	Count	Std Dev	Mean/AbsDif to Mean	Mean/AbsDif to Median
T1	3	0.0586643	0.0439518	0.0450098
T2	3	0.2018094	0.1459486	0.1335337

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[5]	1.4805	1	4	0.2906
Brown-Forsythe	13.3308	1	4	0.0017*
Levene	2.9476	1	4	0.1611
Bartlett	1.9997	1	1	0.1573
F Test 2-sided	11.8744	2	2	0.1553

Warning: Small sample sizes. Use Caution.

Welch's Test

Welch Anova testing Means Equal, allowing Std Devs Not Equal

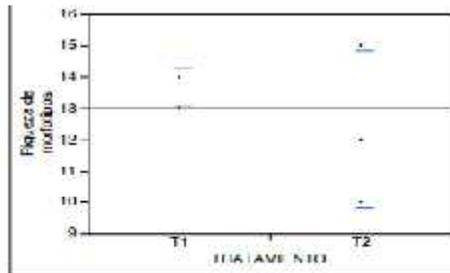
F Ratio	DFNum	DFDen	Prob > F
0.9446	1	2.3345	0.4208

t Test

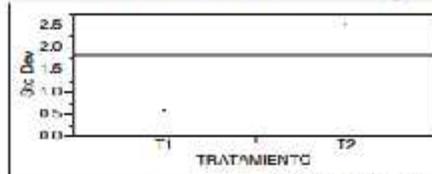
0.9719

Oneway Analysis of Riqueza de morfotipos By TRATAMIENTO

Anexo 17. Ajustar Y por Grupo X análisis unidireccional de Riqueza de morfotipos Por TRATAMIENTO



Tests that the Variances are Equal



Level	Count	Std Dev	Mean/AbsDif to Mean	Mean/AbsDif to Median
T1	3	0.577350	0.444444	0.333333
T2	3	2.516511	1.777778	2.333333

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[5]	1.5912	1	4	0.2757
Brown-Forsythe	18.0000	1	4	0.0132*
Levene	5.2727	1	4	0.1447
Bartlett	2.6572	1	1	0.1031
F Test 2-sided	19.0000	2	2	0.1000

Warning: Small sample sizes. Use Caution.

Welch's Test

Prueba que las Variaciones son Iguales

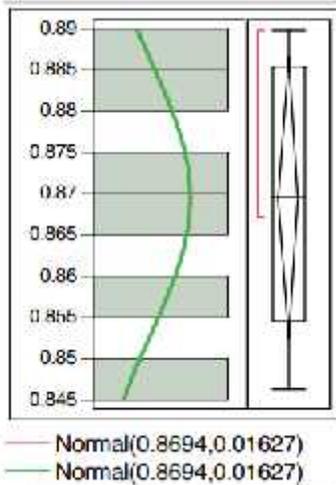
Advertencia: Pequeños tamaños de muestra. Con precaución.

Prueba de Welch

Prueba Welch Anova significa igual, lo que permite a los desarrolladores de Std no es igual.

Distribuciones

Igualdad



Quantiles

100.0%	maximum	0.88983
99.5%		0.88983
97.5%		0.88903
90.0%		0.88983
75.0%	quantile	0.88543
50.0%	median	0.88054
25.0%	quantile	0.85454
10.0%		0.84625
2.5%		0.84625
0.5%		0.84625
0.0%	minimum	0.84625

Moments

Mean	0.8694038
Std Dev	0.0162567
Std Err Mean	0.006409
Upper 95% Mean	0.884745
Lower 95% Mean	0.8523327
N	6

Fitted Normal

Parameter Estimates

Distribuciones de Igualdad

Equipado Normal

Quantiles

100.0%	maximum	0.8852
99.5%		0.8852
97.5%		0.8852
90.0%		0.8852
75.0%	quartile	0.88175
50.0%	median	0.87423
25.0%	quartile	0.85756
10.0%		0.82382
2.5%		0.82382
0.5%		0.82382
0.0%	minimum	0.82382

Moments

Mean	0.8676139
Std Dev	0.0223668
Std Err Mean	0.0091409
Upper 95% Mean	0.8913095
Lower 95% Mean	0.8448183
N	6

Fitted Normal

Parameter Estimates

Type	Parameter	Estimate	Lower 95%	Upper 95%
Location	μ	0.8678133	0.8443183	0.8913095
Dispersion	σ	0.0223668	0.0139753	0.054911

-2log(Likelihood) = -29.5630791308223

Goodness-of-Fit Test

Shapiro-Wilk W Test

W	Prob<W
0.750217	0.0200*

Parameter Estimates

Type	Parameter	Estimate	Lower 95%	Upper 95%
Location	μ	0.8694036	0.8523327	0.8864745
Dispersion	σ	0.0162667	0.0101538	0.0398959

-2log(Likelihood) = -33.3963560918677

Goodness-of-Fit Test

Shapiro-Wilk W Test

W	Prob<W
0.975424	0.9267

Note: Ho = The data is from the Normal distribution. Small p-values reject Ho.

Fitted Normal

Parameter Estimates

Type	Parameter	Estimate	Lower 95%	Upper 95%
Location	μ	0.8694036	0.8523327	0.8864745
Dispersion	σ	0.0162667	0.0101538	0.0398959

-2log(Likelihood) = -33.3963560918677

Goodness-of-Fit Test

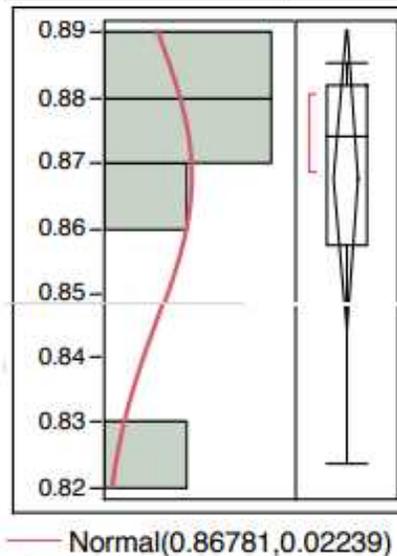
Shapiro-Wilk W Test

W	Prob<W
0.975424	0.9267

Note: Ho = The data is from the Normal distribution. Small p-values reject Ho.

Anexo 19. Distribuciones de Índice de Simpson

Índice de Simpson

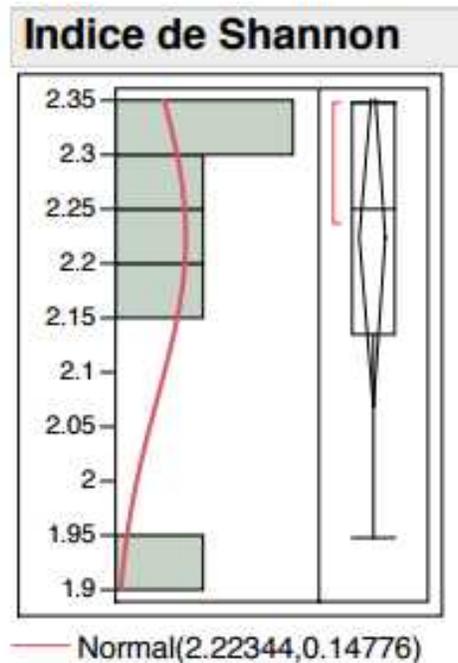


Equipado Normal

Prueba de bondad de ajuste

Nota: H_0 = Los datos son de la distribución Normal. Pequeños evalúes Rechazar H_0 .

Anexo 20. índice de Shannon



Quantiles

100.0%	maximum	2.34834
99.5%		2.34834
97.5%		2.34834
90.0%		2.34834
75.0%	quartile	2.34833
50.0%	median	2.24940
25.0%	quartile	2.13456
10.0%		1.94856
2.5%		1.94856
0.5%		1.94856
0.0%	minimum	1.94856

Moments

Mean	2.223441
Std Dev	0.1477605
Std Err Mean	0.060323
Upper 95% Mean	2.1787062
Lower 95% Mean	2.0681759
N	5

Fitted Normal

Parameter Estimates

Type	Parameter	Estimate	Lower 95%	Upper 95%
Location	μ	2.223441	2.0683759	2.3785062
Dispersion	σ	0.1477605	0.0922333	0.3623995

-2log(Likelihood) = -6.9186858373879

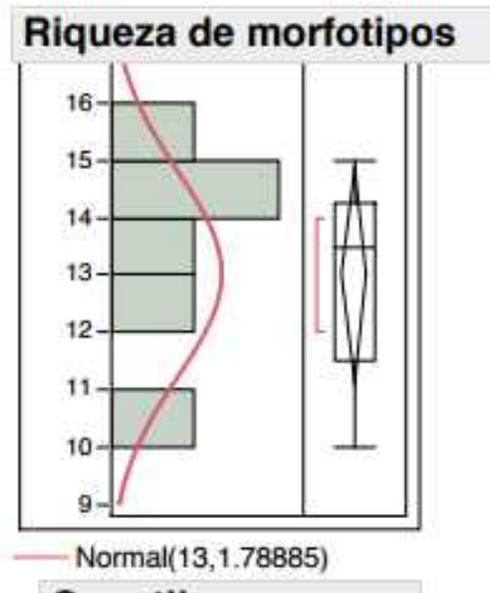
Goodness-of-Fit Test

Shapiro-Wilk W Test

W	Prob<W
0.635176	0.1168

Nota: H_0 = Los datos son de la distribución Normal. Pequeños valores de p
Rechazar H_0 .

Anexo 21. Riqueza de morfotipos



Quantiles

100.0%	maximum	15
99.5%		15
97.5%		15
90.0%		15
75.0%	quartile	14.25
50.0%	median	13.5
25.0%	quartile	11.5
10.0%		10
2.5%		10
0.5%		10
0.0%	minimum	10

Moments

Mean		13
Std Dev		1.7888544
Std Err Mean		0.7302967
Upper 95% Mean		14.877288
Lower 95% Mean		11.122712
N		6

Fitted Normal

Parameter Estimates

Type	Parameter	Estimate	Lower 95%	Upper 95%
Location	μ	13	11.122712	14.877288

Parameter Estimates

Type	Parameter	Estimate	Lower 95%	Upper 95%
	Dispersion σ	1.7888544	1.1166172	4.3873693

-2log(Likelihood) = 23.0061672572902

Goodness-of-Fit Test

Shapiro-Wilk W Test

W	Prob<W
0.933414	0.6067

Note: Ho = The data is from the Normal distribution. Small p-values reject Ho.

