

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**  
**MENCIÓN: GESTION AMBIENTAL**



**GRUPOS FUNCIONALES MICROBIANOS QUE INTERVIENEN EN LA  
FERTILIDAD DEL SUELO EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA – TINGO MARÍA**

**Tesis**

**Para optar el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**  
**MENCIÓN: GESTION AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**GUILLERMO SALES ORDOÑEZ**

**Tingo María – Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**  
**Nro. 019-UPG-FRNR-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 6:00 p.m. del lunes 5 de diciembre de 2022, reunidos de manera presencial en las instalaciones de Grados y Títulos, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“GRUPOS FUNCIONALES MICROBIANOS QUE INTERVIENEN EN LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA - TINGO MARÍA”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **GUILLERMO SALES ORDOÑEZ**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**. Acto seguido, a horas 7.40 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO  
**Presidente del Jurado**

Ing. MS.c. ROBERTO OBREGON PEÑA  
**Miembro del Jurado**

Ing. MS.c. EDILBERTO DIAZ QUINTANA  
**Miembro del Jurado**

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE  
**Asesor**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL**  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 028 - 2023 - CS-RIDUNAS**

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

**CERTIFICA QUE:**

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:


Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

|       |   |                          |  |
|-------|---|--------------------------|--|
| Tesis | X | Trabajo de investigación |  |
|-------|---|--------------------------|--|

| TÍTULO  | AUTOR                   | PORCENTAJE DE SIMILITUD          |
|---|-------------------------|----------------------------------|
| GRUPOS FUNCIONALES MICROBIANOS QUE INTERVIENEN EN LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA – TINGO MARÍA | GUILLERMO SALES ORDOÑEZ | <b>25%</b><br><b>Veinticinco</b> |

Tingo María, 08 de febrero de 2023

  
**Mg. Ing. García Villegas, Christian**  
Coordinador del Repositorio Institucional Digital (RIDUNAS)



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
OFICINA DE INVESTIGACION**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL  
GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO, INVESTIGACIÓN  
DOCENTE Y TESISISTA**

I. Datos Generales de Posgrado

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Universidad</b>               | : Universidad Nacional Agraria de la Selva.   |
| <b>Escuela de posgrado</b>       | : EPG-UNAS.   |
| <b>Posgrado</b>                  | : Maestría en Ciencias en Agroecología  |
| <b>Mención</b>                   | : Gestión Ambiental   |
| <b>Título de tesis</b>           | : Grupos Funcionales Microbianos que Intervienen en la Fertilidad del Suelo en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María             |
| <b>Autor</b>                     | : Guillermo Sales Ordoñez.  |
| <b>Asesor de tesis</b>           | : Dr. Casiano Aguirre Escalante.  |
| <b>Programa de investigación</b> | : Gestión de ambiental.   |
| <b>Línea(s) de investigación</b> | : Gestión del medio ambiente.   |
| <b>Eje Temático</b>              | : Desarrollo de indicadores de calidad ambiental.   |
| <b>Lugar de ejecución</b>        | : Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) y el laboratorio de Microbiología General de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). |
| <b>Duración</b>                  | : Inicio : Enero 2022<br>Término : Octubre 2022   |
| <b>Financiamiento</b>            | : FEDU : S/0.00<br>Propio : S/1,499.40<br>Otros : S/0.00  |

**Tingo María, Perú, mayo 2023.**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por sobre todas las cosas, guiándome, protegiéndome y fortaleciéndome cada día de mi vida.

A mis padres Francisco Sales Dávila y Gladys Esperanza Ordoñez Aguilar, por ser mi motivación incondicional para seguir adelante, por brindarme su amor infinito, confianza, apoyo permanente, y sus mejores consejos en cada paso de mi vida.

A mis hermanos, Jorge Francisco Sales Ordoñez, Luz Esther Sales Ordoñez por sus ánimos en esta etapa profesional. A mis sobrinas Francesca Avril Sales Tafur y Ivana Indira Inga Sales.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser mi fortaleza ante todas las adversidades durante el transcurso de mi vida.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, a la escuela de Post Grado de la Maestría en Ciencias en agroecología, mención Gestión Ambiental.

A los miembros del jurado Dr. Ladislao Ruiz Rengifo, Ing. MSg. Roberto Obregón Peña, Ing. MSc. Edilberto Diaz Quitana y Ing. MSg. Franklin Dionisio Montalvo.

A mi asesor Dr. Casiano Aguirre Escalante, por que hizo posible la culminación de esta investigación.

A todos mis maestros de la Maestría por toda su enseñanza brindada y de esa forma poder llevarlo a la vida profesional.

Al Ing. Richard Sias Rodriguez, por su apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto de investigación.

A mi amigo el Ing. Eric Graña Sandoval por su colaboración en el presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE

|   | Página |
|---|--------|
| I. INTRODUCCIÓN .....   | 1      |
| 1.1. Objetivo general .....   | 2      |
| 1.2. Objetivos específicos.....   | 2      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 4      |
| 2.1. Antecedentes .....   | 4      |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales .....   | 4      |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales .....  | 6      |
| 2.1.3. Antecedentes locales .....   | 7      |
| 2.2. Microorganismos funcionales del suelo .....  | 8      |
| 2.3. Abundancia de microorganismos de suelo.....  | 11     |
| 2.3.1. Microorganismos amonificadores en el suelo.....                                    | 12     |
| 2.3.2. Microorganismos celulolíticos .....  | 13     |
| 2.3.3. Microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre. ....                         | 14     |
| 2.3.4. Microorganismos Aerobios viables.....  | 16     |
| 2.3.5. Actinomicetos en el suelo .....  | 17     |
| 2.3.6. Hongos y levaduras en el suelo.....  | 18     |
| 2.4. El Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva<br>(BRUNAS). .... | 20     |
| 2.5. Propiedades fisicoquímicas del suelo.....  | 20     |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 22     |
| 3.1. Lugar de ejecución de la investigación. ....   | 22     |
| 3.1.1. Condiciones climáticas del área en estudio.....                                    | 22     |
| 3.1.2. Fisiografía del terreno .....  | 22     |
| 3.1.3. Zonas de vida del área de investigación.....                                       | 22     |
| 3.2. Población y muestra .....  | 23     |
| 3.2.1. Población.....   | 23     |
| 3.2.2. Muestra.....   | 23     |
| 3.2.3. Tipo de muestreo.....  | 23     |
| 3.3. Materiales, equipos e insumos.....   | 23     |
| 3.3.1. Materiales utilizados en el desarrollo de la investigación.....                    | 23     |
| 3.3.2. Equipos utilizados en el desarrollo de la investigación .....                      | 24     |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.3. Insumos utilizados en el desarrollo de la investigación .....  | 24 |
| 3.4. Metodología de investigación .....   | 24 |
| 3.4.1. Áreas delimitadas al azar para la toma de muestras.....  | 25 |
| 3.4.2. Tratamiento de muestra.....  | 25 |
| 3.4.2.1. Recuento de microorganismos aeróbicos viables.....   | 25 |
| 3.4.2.2. Siembra en Superficie .....  | 26 |
| 3.4.2.3. Método de siembra en Superficie.....   | 26 |
| 3.4.2.4. Siembra en medios selectivos líquidos y sólidos .....  | 26 |
| 3.4.3. Identificación de microorganismos .....  | 28 |
| 3.4.3.1. Para identificar bacterias .....   | 28 |
| 3.4.3.2. Para identificar fungí.....  | 29 |
| 3.4.3.3. Aislamiento de fungí a partir del suelo .....  | 29 |
| 3.4.3.4. Micro cultivo (para fungí).....  | 30 |
| 3.5. Variables de investigación.....  | 31 |
| 3.5.1. Variable independiente.....  | 31 |
| 3.5.2. Variable dependiente.....  | 31 |
| 3.6. Diseño experimental.....   | 31 |
| 3.6.1. Modelo estadístico para la investigación. ....   | 31 |
| 3.6.2. Esquema del análisis de varianza. ....   | 31 |
| 3.7. Coeficiente de correlación.....  | 32 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 33 |
| 4.1. Identificación de los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. ....                        | 33 |
| 4.2. Grupos funcionales microbianos encontrados a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva. ....              | 35 |
| 4.2.1. Grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva..... | 37 |
| 4.2.2. Grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva..... | 40 |



|  |    |
|--|----|
| 4.3. Correlaciones significativas entre los grupos funcionales que interviene en la fertilidad del suelo.....                      | 43 |
| 4.3.1. Correlaciones significativas entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables. ....           | 43 |
| 4.3.2. Correlaciones significativas entre el contenido de arena en del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables. .... | 44 |
| 4.3.3. Correlación significativa entre la profundidad del suelo y el número de lactobacillus.....                                  | 45 |
| 4.3.4. Correlación significativa entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos .....                     | 47 |
| 4.3.5. Correlación significativa entre la saturación de aluminio del suelo y el número de colonias de actinomicetos .....          | 48 |
| 4.3.6. Correlación significativa entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos .....                     | 50 |
| 4.3.7. Correlación significativa entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos .....                      | 52 |
| 4.3.8. Correlación significativa entre el contenido de limo del suelo y el número de baterías fijadoras de nitrógeno .....         | 53 |
| V. CONCLUSIONES .....  | 56 |
| VI. PROPUESTA A FUTURO .....   | 58 |
| VII. REFERENCIAS .....   | 59 |
| ANEXOS .....   | 69 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla   | Página |
|---|--------|
| 1. Delimitación de las zonas de muestreo. ....  | 25     |
| 2. Fuentes de variabilidad del análisis de variancia. ....  | 32     |
| 3. Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos de una parcela permanente de medición que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, según la prueba de Tukey. ....       | 34     |
| 4. Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, según la prueba de Tukey. ....                         | 36     |
| 5. Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva, según la prueba de Tukey. .... | 38     |
| 6. Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva, según la prueba de Tukey. .... | 41     |
| 7. Relación entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables. ....  | 43     |
| 8. Relación entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables. ....   | 45     |
| 9. Relación entre la profundidad del suelo y el número de Lactobacillus. ....   | 46     |
| 10. Relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos. ....  | 48     |
| 11. Relación entre la saturación de aluminio del suelo en porcentaje y el número de colonias de actinomicetos. ....   | 49     |
| 12. Relación entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos. ....  | 50     |
| 13. Relación entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos. ....   | 52     |

|  |    |
|--|----|
| 14. Relación entre el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno.....   | 54 |
| 15. Análisis de la Identificación de la abundancia los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS)..... | 69 |
| 16. Análisis los grupos funcionales microbianos encontrados a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).....   | 69 |
| 17. Análisis los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).....                                       | 69 |
| 18. Análisis los grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).....                                       | 70 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura   | Página |
|--|--------|
| 1. Cuantificación e identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. .... | 35     |
| 2. Abundancia de los grupos funcionales microbianos a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.....                    | 37     |
| 3. Abundancia de los grupos funcionales microbianos a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. ....       | 38     |
| 4. Abundancia de los grupos funcionales microbianos a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. ....       | 42     |
| 5. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables. ....  | 44     |
| 6. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables. ....   | 45     |
| 7. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de lactobacillus. ....   | 47     |
| 8. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos. ....   | 48     |
| 9. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la saturación de aluminio del suelo en porcentaje y el número de colonias de actinomicetos.....   | 49     |
| 10. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos. ....  | 51     |
| 11. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos. ....   | 53     |
| 12. Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de limo del suelo y el número de baterías fijadoras de nitrógeno. ....  | 55     |
| 13. Medición de la profundidad del suelo a 20 centímetros previo a la toma de muestra para determinar la población de los grupos funcionales microbianos.....  | 70     |

|   |    |
|---|----|
| 14. Medición de la profundidad del suelo a 10 centímetros previo a la toma de muestra para determinar la población de los grupos funcionales microbianos..... | 71 |
| 15. Georreferenciación del punto tres del área de trabajo previa a la toma de muestra de suelo.....   | 71 |
| 16. Georreferenciación del punto inicial del área de trabajo previa a la toma de muestra de suelo.....  | 72 |
| 17. Toma de muestra a 20 centímetros de profundidad en un suelo arenoso para determinar la población de los grupos funcionales microbianos. ....              | 72 |
| 18. Análisis de laboratorio para el cumplimiento de los objetivos. ....   | 73 |
| 19. Mullido de muestra de suelos para los análisis de suelo según muestra.....  | 73 |
| 20. Vista general de microorganismos encontrados en una muestra de suelo. ....  | 74 |
| 21. Vista general del micelio de hongos visto en el microscopio a partir de las muestras de suelo. ....   | 74 |
| 22. Vista general de fusarium visto en el microscopio a partir de las muestras de suelo. ....   | 75 |
| 23. Muestras de suelo llevados al laboratorio para el análisis según tratamientos. ....   | 75 |
| 24. Pesado de muestras de suelos en el laboratorio. ....  | 76 |
| 25. Insumos para el análisis de laboratorio. ....   | 76 |
| 26. Vista general de hongos y mohos.....  | 77 |
| 27. Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 1. ....   | 77 |
| 28. Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 2. ....   | 78 |
| 29. Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 3. ....   | 78 |
| 30. Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 4. ....   | 79 |
| 31. Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 5. ....   | 79 |
| 32. Vista general de los resultados del análisis de suelo de una muestra obtenida.....  | 80 |

## RESUMEN

La investigación titulada grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María, el objetivo fué determinar la abundancia de los microorganismos amonificadores, celulolíticos, fijadores de nitrógeno y nitrificadores que intervienen en la fertilidad del suelo en la reserva (BRUNAS) a dos profundidades de 10 y 20 centímetros del suelo, estas muestras fueron llevados al laboratorio para su análisis. Dado la naturaleza de los datos estos se ajustaron a un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 tratamientos y 3 repeticiones con una distribución de 15 unidades experimentales. El T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos) presento un total de  $54.17 \times 10^3$  UCF/g, el T<sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables) presento un total de  $20.33 \times 10^3$  UFC/g, el T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) presento un total de  $9.50 \times 10^3$  UFC/g, el T<sub>4</sub> (Enumeración de fungí Mohos y levaduras), con  $7.50 \times 10^3$  UFC/g, y finalmente el T<sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus) presento un total de  $0.67 \times 10^3$  UFC/g. Al efectuar el análisis de los datos entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos del suelo a dos profundidades, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación altamente significativa con Aerobios viables, lactobacillus, actinomicetos valores de Rho de Pearson de 0.87, 0.7070, -0.8740, también se encontró relaciones significativas con algunas características físico químicas del suelo como textura y saturación de aluminio.

**Palabras claves:** Microorganismos del suelo, Bosque de reserva, Fertilidad del suelo, identificación de grupos funcionales.

# **Functional Microbial Groups Which Intervene in the Fertility of the Soil of the Forest Reserve at the Universidad Nacional Agraria de la Selva in Tingo Maria**

## **Abstract**

The objective of the research entitled, “Functional Microbial Groups Which Intervene in the Fertility of the Soil of the Forest Reserve at the Universidad Nacional de la Selva in Tingo Maria,” was to determine the abundance of ammonifying, cellulolytic, nitrogen fixing, and nitrifying microorganisms that intervene in the fertility of the soil of the reserve (BRUNAS – acronym in Spanish), at two soil depths, ten and twenty centimeters; these samples were taken to the laboratory for their analysis. Given the nature of the data, it fit a completely randomized design (CRD; DCA in Spanish) with five treatments and three repetitions, with a distribution of fifteen experimental units. [Treatment] T<sub>3</sub> (enumeration of the actinomycetes) presented a total of  $54.17 \times 10^3$  UCF/g, T<sub>1</sub> (enumeration of viable aerobic microorganisms) presented a total of  $20.33 \times 10^3$  UFC/g, T<sub>5</sub> (nitrogen fixing bacteria) presented a total of  $9.50 \times 10^3$  UFC/g, T<sub>4</sub> (enumeration of fungus, mold, and yeast) had  $7.50 \times 10^3$  UFC/g, and finally, T<sub>2</sub> (enumeration of lactobacillus) presented a total of  $0.67 \times 10^3$  UFC/g. After doing an analysis of the data between the soil depth and the number of microorganisms in the soil at two depths, with a correlational analysis, it was established that a highly significant correlation exists with the viable aerobics, lactobacillus, and actinomycetes [with] Pearson’s Rho values of 0.87, 0.7070, and -0.8740. Significant relationships were found with some physicochemical characteristics of the soil, such as texture and aluminum saturation.

**Keywords:** microorganisms in the soil, reserve forest, soil fertility, identification of functional groups

## I. INTRODUCCIÓN

Los organismos microscópicos son esenciales para el funcionamiento del sistema agrícola y cumplen un papel vital en la rizosfera, es el área del suelo donde el sistema de raíces de cada planta influye en la población y también en la actividad de los microbios (Rodríguez et al., 2020 y Ortiz, 2021). Los microorganismos funcionales guardan especial importancia en el desarrollo, producción y distribución de los nutrientes a las plantas, cuyo canal de comunicación directa y concisa son sus raíces (Matsumoto et al., 2005; Torres y Lizarazo, 2006); además, contribuyen en proporcionar una cantidad considerable de bacterias; a esta práctica se le conoce como Plant Growth Promoting Rhizobacteria PGPR (Kloepper y Schroth, 1978), término que describe a los benefactores que hacen que los cultivos crezcan y prosperen.

Las bacterias conocidas como PGPRs, cumplen muchas funciones en el suelo, siendo una de ellas la liberación de fósforo inorgánico y otros nutrientes, aumenta la resistencia de las plantas al estrés, favorece la compactación de los agregados que se encuentran en el suelo, así mismo, optimiza la capacidad de distribución de nutrientes y el contenido de materia viva; además, el elemento vegetal del suelo y varios nutrientes se conservan mejor, aumenta la independencia, lo cual ayuda a reducir la unión de fertilizantes compuestos por nitrógeno y ácido fosfórico (Hayat et al., 2010), el proceso por el cual hongos y bacterias descomponen la materia orgánica, encontrándose diversidad de organismos en cada escenario de vida (Caicedo & Hinestroza, 2018).

Las bacterias están asociadas a la absorción de agua, aire y elementos que los nutren, dentro de ellas tenemos las anaerobias que sobresalen en suelos donde el humedecimiento y el compost es adecuado para su crecimiento. Se puede afirmar que las bacterias que fijan el nitrógeno abundan en la parte adyacente a las raíces, esto, debido a la liberación de compuestos orgánicos que actúan como nutrientes para las plantas (Dugan, 2004). Los microorganismos fijadores de nitrógeno cuentan con un catalizador que se encarga de reducir el nitrógeno a amoníaco. Uno de los primeros pasos que realiza el nitrógeno es la adhesión orgánica del nitrógeno, para que de esta manera pueda salir al ambiente, el cual reviste de importancia ya que es esencial para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas (Barea et al., 2005); es importante mencionar que estos microorganismos se fijan en el suelo específicamente en las raíces de las plantas, logrando un beneficio mutuo (Graham, 1999; Barea et al., 2005).

Los agentes solubilizadores de fósforo existen o tienen presencia por características como los procesos ecológicos de la tierra, los procesos físicos y químicos, por los diferentes nutrientes que posee, por el fósforo y las prácticas agrícolas; la parte donde se encuentran las



raíces es donde estos agentes solubilizantes tienen mejores condiciones (Guzmán, 2012). Caicedo & Hinestroza, (2018). La mineralización de los nutrientes es una de las tareas que ejecutan los hongos, así mismo las podemos asociar con el aumento de los nutrientes para las plantas y también en el adecuado control de organismos microscópicos patógenos (Acevedo, 2005).

En tal sentido, los fungís son predominantes en la tierra, no cuentan con raíces, la mineralización, el metabolismo de su entorno radical, la recepción de los nutrientes, la manera en la que descompone la materia orgánica; está relacionados con el carbono de la tierra y de la descomposición de la celulosa, hemicelulosas y ligninas (Jaizme & Rodríguez, 2008). Las bacterias celulolíticas; trabajan para lograr la hidrolización de la celulosa y poder convertirlo en energía, estas se pueden estar en el monte, en la tierra, compost y materia vegetal en descomposición (Gaitán & Perez, 2007). Así mismo, (Florez et al., 2016) afirma que los hongos son los principales precursores de la descomposición de la celulosa, y también ayudan en la fijaron de carbono y energía.

El precursor más importante de la pared celular es la celulosa, ya que su baja o incremento hace referencia a los cambios en la concentración que se presentan en la materia orgánica del suelo (Huallpa, 2018). Son un grupo bacteriano de Gran- positivo, nos referimos a los actinomicetos, estos pueden producir enzimas biodegradables en T° de 25° a 30° C tales como quitinasas, glucanasas, peroxidasas, con baja tolerancia a la acidez, con un pH de 7 para su reproducción, con una amplia capacidad distributiva por diversos ambientes, la mayor parte son saprofitos y degradadores de materia orgánica y trabajan reguladores de las raíces del suelo (Franco, 2009 y Ortiz, 2021).

En merito a lo sustentado anteriormente se ha identificado como problema ¿Cuáles son los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María?, y se ha propuesto los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivo general**

Determinar los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la abundancia de los microorganismos amonificadores que intervienen en la fertilidad del suelo.

- Determinar la abundancia de los microorganismos celulolíticos que intervienen en la fertilidad del suelo.
- Determinar la abundancia de los microorganismos fijadores de nitrógeno de vida silvestre que intervienen en la fertilidad del suelo.
- Determinar la abundancia de los microorganismos nitrificadores que intervienen en la fertilidad del suelo.
- Determinar el nivel de relación entre la abundancia de microorganismo y algunas características fisicoquímicas del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Rosero (2022), realizó su investigación en Ecuador, relacionada a la abundancia, actividad microbiana y su relación con los servicios que nos brinda el ecosistema asociado al suelo en un gradiente de intensidad de uso de la tierra, en la parroquia La Esperanza en la provincia de Pichinch. Tuvo un diseño observacional analítico. Obtuvo resultados importantes dentro de los cuales podemos destacar el efecto que tuvo la variación de la calidad del suelo. De la misma manera, la humedad de la tierra fue más en el Bosque Nativo, áreas que cuentan con arbustos y algunas están regenerando; estas mismas tipologías identificadas obtuvieron los valores más bajos en la densidad aparente. Finalmente, podemos afirmar que las áreas cultivables y las de plantas de eucalipto, presentan poca humedad y un elevado nivel de compactación, y son las que obtuvieron resultados menores de C.O., M.O., N y otros nutrientes esenciales para la microflora de la tierra.

Zamora (2021), desarrollo su investigación en Venezuela, artículo busco determinar la participación de los microorganismos del suelo en los procesos biogeoquímicos en una planicie de inundación en el río Mapire. Estos procesos que se desarrollan en la planicie de inundación están sujetos a complejas interacciones microbianas, asociadas principalmente a los cambios fisicoquímicos del suelo a lo largo del hidropériodo ocasionados por las diferencias espaciales a lo largo del gradiente la zona; obtuvieron que el 9.3% y el 62.2% de la varianza se da por las interacciones de ambos factores. Así mismo, observaron que los perfiles fisiológicos se modificaron de acuerdo a las variaciones de las condiciones fisicoquímicas y disponibilidad de sustratos en cada posición del gradiente. Finalmente, concluyeron que la estacionalidad afectó el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo y por tanto la estructura comunitaria fue variable en la relación espaciotemporal.

Castelblanco et al. (2020), y su equipo realizaron su investigación en Colombia, quienes buscaron separar, en base a 5 muestreos de suelo de humedales, cepas microbianas que tiene la potencialidad de generar enzimas amilolíticas y celulolíticas. Durante la investigación realizaron mediciones de halos de hidrólisis en agar almidón y agar carboximetilcelulosa. En base de azúcares reductores con la ayuda de la técnica de DNS, se estableció las unidades de medida de las enzimas (U/ml/min). Entre las generadoras de amilasas con actividades entre  $752 \pm 33$  y  $480 \pm 35$  U/ml/min a  $60^{\circ}\text{C}$  tenemos a las *Bacillus subtilis amiloliquefaciens*; así mismo trabajaron con celulasas con actividades entre  $19.11 \pm 2.3$  y  $13.82$

$\pm 2.5$  UA/ml/min a 50°C entre las que pueden destacar la *Bacillus subtilis amiloliquefaciens*, *Stenotrophomonas nitritireducens* y *Yersinia massiliensis*. Finalmente, demostraron que, con los suelos que se encuentran en los humedales, los microorganismos con capacidad de producción enzimática pueden ser rehabilitados.

Díaz & Díaz (2019) desarrolló su investigación en Colombia, quienes realizaron una evaluación microbiológica del suelo y su calidad en plantaciones de papa (*Solanum tuberosum*) quienes usaron a las poblaciones funcionales microbianas como índices. Los análisis de los recuentos microbianos, las correlaciones obtenidas y los resultados de análisis fisicoquímicos, permitieron concluir que la agricultura convencional, mediante la aplicación de fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, afectan la densidad de las poblaciones microbianas.

Martínez et al. (2018), estudiaron en Argentina, la varianza de los indicadores microbiológicos y químicos de un suelo estéril en la que se insertaron compost. El análisis de variación factorial, en relación a los niveles de significancia ocasionaron que las variables químicas y microbiológicas sufran diversos efectos. La variación temporal de las características químicas del suelo en comparación con el compost mostró una mayor variación que las microbiológicas, lo que resultó en indicadores sensibles a las prácticas agrícolas. Fueron indicadores sensibles potenciales a pesar de la dosis baja de compost aplicado, refirieron esto al contenido de nitrógeno total, P-H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y K intercambiable. Se observó mayor sensibilidad a la temperatura y la humedad que del compost, estos los resultados obtenidos con los organismos microscópicos como amonificadores y celulolíticos. Estos últimos incrementaron en la incubación, y los otros microorganismos se redujeron.

Álvarez (2018), realizó su investigación en Ecuador en el que realizó el estudio de los organismos microscópicos benéficos para ello utilizó tres pisos altitudinales de Azuay y como estos influyen en las plantaciones de fresa. Estos presentaron diversas reacciones en la tierra y por ende en el crecimiento de las plantaciones de fresa; el grupo de microbios que se obtuvo de la planta de café (*Coffea arabica* L.) que fue inoculado al 2.5% de concentración favorece el desarrollo de las raíces, y el aumento de la longitud y diámetro de las plantas; a diferencia del grupo de la planta de menta (*Mentha piperita*) e inoculado al 2.5% de concentración quien produjo que el número de hojas sea mayor. Finalmente, en cada altitudinal se observó la existencia de organismos microscópicos benéficos que son importantes para ambiente, se entiende que la presencia de éstos está relacionada directamente con las

propiedades fotoquímicas de las plantas y su crecimiento causa modificaciones en la rizósfera, por lo tanto, son importante para el crecimiento de las plantas.

Gómez & Luna (2018), en su tesis desarrollada en Colombia el cual buscó evaluar las poblaciones funcionales microbianas de los suelos que están contaminados con toxafeno en el departamento del Cesar, quienes se relaciones con grupos heterótrofos de los ciclos que se da en el carbono y el nitrógeno. Los resultados que se obtuvieron durante la época húmeda registraron los dígitos más altos en el conteo de individuos bacterianos y hongos. Finalmente, en la muestra testigo se encontraron bacterias con  $183.24 \times 10^2$  y hongos con  $96.22 \times 10^2$  las cuales se expresaron en UFC/g.

Caicedo & Hinestroza (2018), en su tesis de investigación desarrollada en Colombia, quienes evaluaron la cantidad de los grupos funcionales de microorganismos del suelo con capacidad de realizar metabolismo nitrógeno, y la solubilización del fosforo y descomposición de materia orgánica bajo cuatros sistema de manejo agroecosistémico: monocultivos convencionales de maíz y tomate. Durante el desarrollo de su investigación encontraron hallazgos importantes reflejando un intercambio en la relación de las bacterias funcionales del suelo como son las que fijan el  $N_2$  y las que solubilizan el fosforo, así mismo, obtuvieron resultados significativos en cuanto a lo esperado ya que fueron altas en el gradual, o cual evidencio a los procesos que regulan biológicamente y también uso adecuado de los nutrientes en el medioambiente.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Alvarado (2021), desarrollo su trabajo en la Región Amazonas, busco estudiar la amplia variabilidad microbiana, en la que se realizó la población que convive con las plantas y cooperan en su alimentación vegetal. La recolección de las muestras de suelo rizosférico fueron de 57 sitios de ensayo ubicados a una altitud de oscilan entre los 385 a 1677 m.s.n.m.; seguidamente se apartaron bacterias, se limpiaron y se procedieron a determinar su grupo funcional. Los suelos utilizados fueron franco-arenosa y también franco-limosa especialmente los que estaban entre los rangos de 3.30 a 8.09 de potencial de hidrogeno; se obtuvieron 235 aislamientos de bacterias nativas del rizoplano de diferentes plantas como el café, papaya, piña, yacón, yuca, arroz, cacao, entre otros; luego se escogieron 16 cultivos los cuales pertenecen a cuatro especies vegetales. La rizosfera de las plantas de café contiene el mayor número de bacterias que fijan nitrógeno; las bacterias que más destacan en la producción de ácido indol cetico son el yacón y el cacao; así mismo, y las bacterias solubilizadores de fosfatos son el café y la papaya.

Ortiz (2021), el análisis que realizó la investigación sobre grupos bacterianos y funcionales relacionados a las raíces que encontramos en la papa (*Solanum tuberosum*) específicamente en el tipo de leona blanca. Entre los resultados se puede afirmar que se logró observar las familias más importantes de las enterobacteriáceas, que fueron las xanthomonadaceas, raoultella y las *Raoultella ornithinolytica* con 34.238, 1,949 y 1097 de lecturas acumulativas respectivamente. Finalmente, concluyeron mayor presencia de la rizosfera en el cultivo de la papa a 3400 m.s.n.m. fueron las solubilizadoras de fósforo luego le siguen las Pseudomonas respectivamente. Durante el desarrollo de la investigación se encontró que T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) presentó un total de  $9.50 \times 10^3$  UFC/g, otros investigadores evidenciaron la presencia de organismos que fijan nitrógeno con  $5.89 \times 10^{11}$  de UFC \*gr<sup>-1</sup> en su muestra de suelo y  $4.94 \times 10^{11}$  de UFC \* gr<sup>-1</sup> y en la muestra de raíz, teniendo mayor presencia en la muestra de suelo, las cuales fueron superiores a las encontradas por Ortiz.

Carbajal (2019), evaluó la diversidad bacteriana de la rizósfera y no rizosférico en la planta de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) la cual fue producida en suelo fértil y degradado. Durante su investigación consiguió aislar 83 diferentes bacterianas de los dos tipos de suelo estudiados, las cuales pertenecen a *Actinobacteria*, *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria* y *Bacilli*. Así mismo, como parte de la obtención de sus resultados obtenidos en suelo fértil, se observaron a 17 variedades de bacterianas del suelo rizosférico fértil; y 26 diversidades bacterianas del suelo no rizosférico fértil. Y como parte del suelo degradado, se observó a 22 diversidades bacterianas del suelo rizosférico degradado y 17 variedades de bacterianas del suelo no rizosférico degradado. Finalmente, se registraron grupos mucho más específicos y las que se observó más población fue *Athrobacter nitroguajacolicus* los cuales son capaces de funcionar como pesticidas del suelo.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Inga (2018), en su estudio desarrollado en la Ciudad de Tingo María, el cual busca contabilizar a los organismos microscópicos en la aplicación de dos variedades de suelo en el brunas; estos son los encargados de propiciar el desarrollo de las plantas en dos situaciones diferentes de uso de suelo que se desarrollan en la ciudad. Utilizó la metodología de trabajo en gabinete y trabajo de campo; las muestras pasaron por varios análisis microbiológicos. Se obtuvieron grandes resultados, los cuales reflejaron que cuanto más sea la cantidad de microorganismos a una profundidad de 20 cm, mayor será el número de organismos microscópicos anaerobios con 903333 M.O/10g, mohos y levaduras con 90000 M.O/10g; y a una profundidad de 60 cm destacan los microorganismos aeróbicos (216667 M.O/10g de suelo).

La varianza de los microorganismos en el suelo está dada por clases de suelo y organismos microscópicos, con una variación superior de 20 cm y 60 cm en suelos de bambú. Debemos entender en base a lo obtenido que la variación que se tuvo en cuenta a los organismos se debe exclusivamente por el material orgánico que encontramos en el suelo.

Paucar (2019), en su tesis sobre la secuela del compost y el fertilizante NPK en los individuos de microbios en una plantación que se produce la planta de cacao; en el cual busca conocer a la población de los principales grupos de microorganismos los cuales pueden ser los aerobios viables los ácido lácticos los actinomicetos, los mohos y los que fijan nitrógeno; la mitad de la población de bacterias aerobias viables corresponde a una de  $10^4$  UFC/g de suelo, el número de lactobacillus es de  $10^3$  UFC/g de suelo; así mismo, la otra mitad de la población son de actinomicetos corresponde a  $10^4$  a  $10^5$  UFC/g de suelo, y los hongos entre  $10^3$  UFC/g y población de fijadora de nitrógeno entre 103 UFC/g suelo, el cual es estimado como un suelo con baja población de microorganismos.

Ríos (2019), desarrollo su investigación en base a la densidad y la variedad biológica en situaciones diferente de utilización del suelo en palo de acero en el Distrito de Monzón. Las características fisicoquímicas de los sistemas de uso de la tierra son sensitivas a los cambios en el manejo de suelos agrícolas y por ende en las características que se evalúan. Se obtuvieron resultados que reflejaron a 15 grupos taxonómicos relacionados con diferentes usos de la tierra, los taxones de Haplotaxida e Himenóptera estaban en alta densidad, los índices de diversidad de Shannon y Winner en el pasto dieron una buena biodiversidad. Finalmente es preciso indicar que la densidad aparente y la materia orgánica están relacionadas con la macrofauna edáfica del suelo, y son considerados indicadores de actividad biológica, los cuales con muy sumamente importantes para poder su conservación y la buena calidad del suelo.

## **2.2. Microorganismos funcionales del suelo**

El suelo es un recurso natural vivo y está en constante movimiento y depende de ella la producción de los alimentos. Siendo la calidad uno de los factores importantes por lo que juega un papel clave entre balance de la generación y gasto de dióxido de carbono ocasionado por los seres vivos del planeta (García de Salamone, 2011). Debemos entender que este recurso no solo es importante para la actividad agrícola ya es considerada su base, también lo es para el planeta entero ya que dependemos de ella para la existencia de la vida. Los ciclos biológicos y con ella sus etapas, desarrollan su actividad microbiana en gran parte en el suelo, así mismo, se dan las interacciones (Paul, 2007). Los cambios constantes que se dan en el suelo trae como consecuencia la actividad entre la vegetación y en otras ocasiones en otros organismos produce

el cambio en su estructura. En un hábitat, una parte clave de la calidad del suelo es la respuesta rápida de los procesos microbianos y la estructura de la comunidad a las perturbaciones físicas, químicas y biológicas. Las modificaciones relacionadas a la estructura de la comunidad microbiana en los sistemas intervenidos suelen asociarse a las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, NO o N<sub>2</sub>O) y las disminuciones del N por lixiviación (Jackson, 2003).

La gestión agrícola tradicional, el cual implica el uso constante de equipos motorizado, aumentando la degradación de los suelos y la concentración de dióxido de carbono atmosférico, por ende, forma parte de los problemas que contribuyen al calentamiento global del planeta. Se han implementado diversos mecanismos para disminuir el uso de la maquinaria y con ella se busca reducir el proceso de degradación de los suelos (Grandy & Thelen, 2006), siendo los productores argentinos los primero en adoptar esta medida y la han generalizado en su país. Sin embargo, este mecanismo no garantiza la sostenibilidad. El desarrollo de un sistema de gestión sostenible entraña grandes retos y dificultades, pues es, ciertamente necesario tener en cuenta las exigencias sociales relacionadas con la eficiencia en el uso de los recursos y el mantenimiento para un equilibrio favorables (Doran & Zeiss, (2000).

Los dos factores claves que identifican a las comunidades microbianas que habitan en el suelo en la Hiperdensidad y la hiperdiversidad. El número de microorganismos difiere entre 10<sup>7</sup> y 10<sup>9</sup> células, por gramo de suelo; a diferencia de otros datos que sugieren la posibilidad de encontrar 10<sup>4</sup> especies microbianas que son diferentes, por gramo de suelo (Torsvik & Thingstad, 2002). La diversidad biológica es un indicador que determina la resiliencia de un sistema edáfico al cambio, y proporciona un equilibrio en sus funciones (Griffiths & Ritz, 2001). Antoun & (2005), también, ofrece la obtención de microorganismos que tienen el potencial de causar el crecimiento de los mismos, promoviendo la sostenibilidad de los cultivos agrarios con el manejo de diferentes mecanismos. (Bashan, 2005; Reed & Glick, 2004).

Los argentinos en los últimos tiempos han practicado la inoculación de sus semillas en sus cultivos, más que todo en las leguminosas *Rhizobium*. Así mismo, las bacterias *Bradyrhizobium* son introducidos a los campos cultivados de soja, y esta actividad se practica en el 90% de estos cultivos, y una de las especies más utilizada es *B. japonicum*. Así es como se obtiene la simbiosis entre la bacteria y la planta. Esto permite que la siembra obtenga nitrógeno del aire a través de la fijación biológica mediante la acción de un complejo nitrogenado enzimático, el cual se encuentra solamente en algunos organismos procariotes.



Actualmente, se utilizan con mucho éxito otras bacterias provenientes del suelo que pueden ser combinados con los cultivos (García de Salamone, 2011).

Las bacterias que más se utilizan son las *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Pseudomonas*. El género *Azospirillum* ha sido objeto de numerosas investigaciones y publicaciones; ya que posee la potencialidad de colonizar endófitamente diferentes tipos de especies, propiciando que la planta crezca, se nutra y sea productiva, mediante formas como fijar el nitrógeno de forma biológica y la obtención de fitohormonas. La sostenibilidad de los cultivos agrarios se debe a la facilidad del incremento del rendimiento biológico de los cultivos agrícolas, pues en determinadas situaciones se aumenta la cantidad de materia orgánica que se agrega al suelo a través de los desechos agrícolas lo cual disminuye a utilización de fertilizantes. Es así, que la Subcomisión de Microbiología Agrícola y Ambiental realizó el uno de los primeros talleres internacionales sobre el género *Azospirillum* el cual fue desarrollado en el año 2007, en la ciudad de Córdoba, con la intención de identificar el estado de su uso y el avance en las investigaciones.

Se publicó un libro que abarca tanto la fisiología bacteriana como la respuesta agronómica (Cassán & Garcia 2008), los cuales tuvo aportes de investigaciones nacionales y extranjeros con gran experiencia en el tema. La propagación de microorganismos se logra sembrando y/o aplicando un inóculo al suelo para crear una asociación en la que se benefician la planta y el microorganismo. Los inoculantes pueden ser univalentes o polivalentes, el primero con un organismo y el otro contiene de dos a más microorganismos. Si bien existen preparados sólidos en el mercado, el negocio nacional de vacunas ha seguido la tendencia mundial de utilizar inoculantes líquidos, los cuales están formulados para mantener la sobrevivencia del microorganismo en el inóculo por un tiempo prolongado, que puede variar de 6 y 18 meses desde el momento de la preparación. El uso correcto de los productos microbiológicos implica el cumplimiento de varios criterios de calidad, que deben ser cumplidos por los fabricantes y deben ser regulados por la entidad fiscalizadora. Estos inoculantes no deben contener microorganismos no deseados o contaminantes potenciales, y las cantidades de microorganismos utilizados deben estar en nivel necesario para garantizar su eficacia.

La División de Microbiología Agrícola y Ambiental – DIMAYA, desarrolló los procedimientos interlaboratorio para implementar los protocolos de consenso ya publicados (REDCAI 2006; REDCAI 2010). Definimos a la rizosfera, como aquella parte del suelo que se deja influir por las raíces vegetales, es la zona con más relaciones entre microorganismos edáficos y los cultivos. En esto radica la importancia de conocer sobre la rizosfera, ya que

solidifica sus bases y permite lograr la sustentabilidad de los cultivos agrícolas. Es por ello que DIMAYA organizó unos de los primeros talleres internacionales sobre Rizosfera, Biodiversidad y Agricultura Sustentable (TIRBAS); se desarrolló en la Ciudad de Buenos Aires, y busco crear un debate de ideas, las cuales fueron resumidas en un compendio de ponencias tanto nacionales como internacionales las cuales representaron una actualización sobre el tema tratado (García de Salamone, 2010). Lograr y mantener la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas debe ser un objetivo constante, esforzándose por mantener la calidad y la salud del suelo en el nivel más alto posible.

Todas las partes interesadas, como los productores, científicos y políticos están comprometidos con las futuras generaciones. Y la ciencia microbiológica brinda la posibilidad de crear nueva información tanto simples como complejos y hace una valiosa contribución al desarrollo económico respetando los recursos naturales (García de Salamone, 2011). La mayoría de los microorganismos los podemos encontrar a una profundidad de 20cm, y encontramos en su mayoría anaerobios, mohos y levaduras; y a unos 60 cm destacan microorganismos aeróbicos. La diversidad de microorganismos que podemos encontrar en el suelo las podemos obtener gracias a la variedad de suelo y diversos organismos microscópicos, con una variación mayor de 20 cm y 60 cm en suelos de bambú. La variación más alta de microorganismos es básicamente por la materia orgánica que encontramos en el suelo (Inga, 2018).

### **2.3. Abundancia de microorganismos de suelo**

Los microorganismos tienen características como la abundancia la actividad y microbiológicas los cuales son utilizadas como índices de proliferación y sostén del suelo, y este hace notar que las múltiples funciones de los organismos del suelo y que algunas pueden ser sensibles para él. El indicador es una variable que resume, cuantifica, mide informa datos importantes y a hace que la situación sea más entendible (Pascual *et al.*, 1997). Son excelentes indicadores de fertilidad, ya que actúan de forma positiva a los cambios del suelo y del medio, especialmente a los efectos de los sistemas de producción nos referimos a la actividad microbiana total y la abundancia (Doran y Zeiss, 2000; Filip, 2002; Abril, 2003; Biederbeck *et al.* 2005; Van Diepeningen *et al.*, 2006). Los indicadores más sensibles en el suelo en relación a su administración de la conservación del suelo con los rasgos microbianos, lo que difiere de los rasgos químicos como el carbono y el nitrógeno orgánico (Biederbeck *et al.*, 2005).

El incremento de las diferentes variables biológicas fue notado por algunos autores, una de ellas fue el ATM, debido al uso de fertilizantes orgánicos, además, se observa

que el mencionado efecto apareció en breve y no fue continuo en el tiempo (Pascual *et al.*, 1997; Plaza *et al.*, 2004; Plaza *et al.*, 2004). La proporción de compuestos orgánicos en el sustrato incrementa el número de microorganismos especialmente en grupos que descomponen los compuestos que encontramos en el abono (Gomez *et al.*, 2006; Lejon *et al.*, 2007). Los celulolíticos, los agentes fijadores de nitrógeno, el amoníaco y los nitrificantes, son organismos microscópicos que tienen sensibilidad a las variaciones que pueda tener el suelo (Paul y Clark 1989; Torres *et al.*, 2005; Innerebner *et al.*, 2006; Abril, 2003; Biederbeck *et al.*, 2005).

Los descomponedores de la celulosa y los nitrificantes son los que oxidan el amonio que producen los microorganismos amonificadores, estamos hablando de los celulolíticos. En nuestros experimentos anteriores utilizando compost de viña y vermicomposta en zonas secas con riesgo suplementario, los microorganismos celulósicos aumentaron durante el inicio de aplicación del compost, y los microorganismos modificantes aminoraron la cantidad de individuos sin distinguir entre composta y vermicomposta (Martinez, 2011). En un campo similar cultivo con ajo, donde se evaluaron los efectos de diferentes fertilizantes orgánicos, los microorganismos nitrificantes disminuyeron y la AMT incremento (Filippini *et al.*, 2012). En cuanto a las variables químicas edáficas, un nutriente del suelo que responde a los tratamientos orgánicos es la proporción de P disponible para los cultivos. Después de 16 semanas de incubación del suelo con composta y vericomposta, el P extraíble aumento en las parcelas tratadas con vermicomposta. (Tognetti *et al.*, 2008). Los trabajos que se desarrollaron en campo con fertilizantes orgánicos que se realizaron en dos viñedos en la ciudad de Mendoza, mostraron aumentos significativos en las concentraciones de P y K en el suelo y los tejidos de las hojas después de la aplicación de los diferentes tipos de compost (Vallone *et al.*, 2007; Martinez, 2011). La actividad de cambio de acciones entre el suelo, los cultivos y la vegetación, así como la fluctuación de humedad y temperaturas del suelo, afectan la dinámica de las poblaciones microbianas, la movilización y la disponibilidad, lo que dificulta la profundización en los aspectos fundamentales del tema. Por lo tanto, se pretendió realizar la evaluación microbiología y química de los cambios en plazos cortos, en relación a la aplicación de abonos orgánicos en escenarios de incubación (Martinez & Pino 2018).

### **2.3.1. Microorganismos amonificadores en el suelo**

Los responsables de la transformación y de que el nitrógeno se encuentre en las plantas son los organismos que encontramos en el suelo, son los encargados de regular el proceso de mineralización del nitrógeno. Los responsables para el proceso de inmovilización y mineralización del suelo son las bacterias, así mismo son los que regulan el abastecimiento

de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) para la distribución en las plantas. Es importante recordar, que la mineralización tiene lugar en dos etapas: una, donde los microorganismos convierten los componentes de N orgánico en  $\text{NH}_4^+$ , y otra, en donde se sintetiza nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a partir del amonio. Los seres autótrofos transforman el nitrógeno orgánico en  $\text{NH}_4^+$ , mediante un proceso que llamamos amonificación, a diferencia de los heterótrofos que convierten el  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , en un proceso denominado nitrificación [(1)  $\text{NH}_4^+ + \text{O}_2 = \text{NO}_2^- + 4\text{H}^+$ ; (2)  $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} = \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$ ] (He y Zhang, 2014). La calidad del suelo está en relación a la cantidad de carga de microorganismos, así mismo este actúa como un gran recipiente de nutrientes para los cultivos (Abbasi et al., 2001 y 2007; Shah et al., 2010; Sabahi et al., 2010).

En un trabajo de investigación evaluaron el efecto que tiene la utilización del estiércol en el proceso de amonificación neta en el suelo, cuyos resultados reflejaron que material tenía un efecto directo sobre la variable, siendo que la amonificación total del estiércol de pollo fue de 1.11 mg  $\text{NH}_4^+$ /kg, a diferencia de los 0,56 mg  $\text{NH}_4^+$ /kg de obtenido por el estiércol del ganado y el control (sin aporte de N) y los 0.51 mg  $\text{NH}_4^+$ /kg de suelo obtenido por el estiércol de caprina (Azeez y Van Averbeke, 2010). Algunos investigadores refirieron que la relación que existe entre el carbono y el nitrógeno de las impurezas orgánicas afecta su tasa de mineralización, se entiende a que el aumento de esta relación que se da refiere una mayor disposición de carbono para el adecuado crecimiento de los microorganismos amonificadores que operan en el desarrollo de mineralización, a consecuencia de ellos el nitrógeno es consumido inmovilizándolo y por lo tanto se reduciría la mineralización neta (Azeez y Van Averbeke, 2010; Abbasi et al., 2007). La amonificación disminuye el potencial de hidrogeno que se encuentra en el suelo (Huang y Chen, 2009), porque se liberan protones ( $\text{H}^+$ ) durante el proceso de reacción. Huang y Chen (2009) descubrieron, que el potencial de hidrogeno del suelo disminuye a medida que la proporción de corrección se elevaba. Los investigadores atribuyeron que esto sucedió por el incremento de amonificación que se produce al aportan enmiendas orgánicas al suelo.

### 2.3.2. Microorganismos celulolíticos

Entre los organismos microscópicos quienes se encargan de la degeneración de celulosa encontramos a los hongos y bacterias, aeróbicos y anaeróbicos, mesófilos y termófilos que viven en diferentes hábitats (Gaitán & Pérez, 2016). Entre los individuos del reino fungí celulolíticos tenemos: *Trichoderma reesei*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Fusarium solani*, *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma koningii*, *Sporotrix sp.*,

*Alternaria sp.*, *Geotrichum sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Trametes sp.*, *Paecilomyces sp.*, *Mucor sp.*, *Cladosporium sp.*, *Bulgaria sp.*, *Chaetomium sp.*, *Helotium sp.*, *Aspergillus sp.*. Así mismo, entre las bacterias celulolíticas son las aeróbicas las más conocidas podemos mencionar a las siguientes: *Cellulomonas sp.*, *Microbispora bispora*, *Thermomonospora sp.*, *Cytophaga sp.*, *Corynebacterium sp.*, *Vibrio sp.*, *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Thermobifida sp.*. También, podemos encontrar a las bacterias anaeróbicas tales como: *Acetivibrio cellulolyticus*, *Butirivibrio sp.*, *Bacteroides cellulosolvens*, *Bacteroides succinogenes*, *Clostridium cellulovorans*, *Clostridium thermocellum*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* (Lynd, et al, 2002).

Las bacterias actinomicetes también tienen presencia entre las cuales podemos mencionar: *Streptomyces drozdowiczii*, *Streptomyces cellulolyticus* (Semedo, et al., 2004; Grigorevski, et al., 2005; Li, 1997), *Thermomonospora curvata*, *Thermomonospora chromogena*, *Thermomonospora alba* y *Thermomobifida fusca* (Ramírez y Cocha, 2003). Las células necesitan un potencial de hidrogeno óptimo para que puedan realizar sus funciones de forma normal y esta abarca un rango bastante amplio ya que pueden encontrarse envueltas en situaciones tanto acidas como alcalinas (Gaitán & Pérez, 2016). A diferencia de otros investigadores que lograron encontrar a las bacterias celulolíticas con  $4.45 \times 10^{11}$  de UFC \*gr<sup>-1</sup> en muestra de suelo y en la muestra de raíz fue  $4.76 \times 10^{11}$  de UFC x gr<sup>-1</sup>, obteniéndose mejores resultados en la última muestra (Ortiz, 2021).

### **2.3.3. Microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre.**

El nitrógeno y su ciclo involucra varios procedimientos realizados especialmente por los organismos microscópicos que encontramos en el suelo (Klotz & Stein, 2008). éstos permiten la transformación de diferentes compuestos nitrogenados entre sí, lo que ayuda a equilibrar el nivel de nutrientes absorbidos por las plantas. El nitrógeno es vital para la vida y es el único que tiene capacidad de transformarse químicamente en el suelo en diferentes compuestos. La interacción del compuesto en la biosfera se basa en la fijación biológica de nitrógeno (N<sub>2</sub>), la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio (Paul, 2006). El nitrógeno como gas es la forma más común de nitrógeno en la biosfera, pero la mayoría de los organismos, incluidas las plantas no pueden utilizarlo.

El nitrógeno fijado biológicamente, se da porque este compuesto inicia su ingreso por los pools biológicos del suelo, lo que resulta en la obtención de amonio. Así mismo, la fijación abiótica de nitrógeno molecular en la atmosfera también ocurre a través de una reacción de alta energía; lo que conlleva a la electrificación y disminución fotoquímica en el que

el oxígeno y también el nitrógeno se fusionan para obtener nitrato (Calderoli, 2016). La lluvia lo atrae hacia el suelo y hacia los organismos de agua en su forma de ácido nítrico. La fijación de  $N_2$  abiótico como parte de la acumulación de nitrógeno en el suelo asciende en 20 Kg N/ha/año comparado con los 100 a 200 Kg N/ha/año que provienen de la BNF (Paul, 2006). Esto refiere que la BNF es el principal proveedor de nitrógeno en los suelos, por ende, es un procedimiento extremadamente primordial para que la vida se siga manteniendo en la tierra (Vitousek & Cleveland, 2013). El nitrógeno fijado biológicamente se traduce en la disminución del nitrógeno molecular en amonio, por la enzima nitrogenasa. Esta condición de reacción enzimática conlleva un costo elevado, con 16 moléculas de trifosfato de adenosina (ATP) y por 8 electrones por molécula reducida, lo que conlleva a un procedimiento altamente regulado. El complejo de nitrogenasa está integrado por dos metaloproteínas: la dinitrogenasa está constituido por un peso molecular de aproximadamente 250 KDa, este compuesto se encuentra el sitio activo para la reducción de  $N_2$ ; y la dinitrogenasa reductasa con un promedio de 70 KDa acopla la hidrólisis de ATP a la transferencia de electrones entre los complejos proteicos. Tiene dos subunidades con códigos iguales por el gen *nifH*. Los nitrógenos normales tienen molibdeno (Mo) en los centros Fe-S de su grupo prostético, a diferencia de las nitrogenasas llamadas también "alternativas" reemplazan Mo con vanadio (V) o hierro (Fe), codificados por los genes *vnfH* y *anfH*, respectivamente (Zehr & Steward, 2003).

El proceso de la reducción biológica de nitrógeno molecular es desarrolla solamente por los procariotas. Los diazótrofos utilizan diversas formas de obtener energía una de ellas es la solar, así como de los variados componentes inorgánicos reducidos, y también de varias sustancias orgánicas. Son encabezados por organismos aerobios obligados y facultativos y organismos anaerobios obligados. La variedad metabólica que observamos hace referencia que los diazótrofos contribuyen con fijar nitrógeno en diferentes ambientes a diferentes formas de vida (Calderoli, 2016). La nitrificación realizada por organismos microscópicos refiere la transformación de amoníaco a formas de nitrógeno menos reducidas tales como el nitrito y nitrato. En lugares con elevado potencial de reducción, el amoníaco puede ser oxidado a óxidos de nitrógeno y nitrato. En 1800 se pudo aislar las Bacterias autotróficas, las cuales presentaron una ganancia de hasta 440 kJ de energía por mol de amonio ( $NH_3$ ) oxidado con nitrato como producto final. En la actualidad, se tiene conocimiento de que los organismos microscópicos tienen la capacidad de realizar el proceso de nitrificación (Zhang & Yu, 2011; Verhagen, 1992), siendo la nitrificación autotrófica el proceso de mayor importancia en los suelos (Paul, 2006).

La nitrificación autotrófica se da lugar en dos procesos y es llevado a cabo por dos grupos diferentes de bacterias: oxidantes de amoníaco y nitrito. Estas bacterias se conocen colectivamente como oxidantes de amonio o bacterias nitrificantes. Pese a ello, la oxidación de  $\text{NH}_3$  no se limita únicamente al dominio bacteriano, se han encontrado que las archeas tienen la capacidad metabólica de oxidar el amonio (Lu, & Jia, 2012; Jin & Yan, 2010). Luego, el desarrollo de la nitrificación inicia con la oxidación de amoníaco a nitrito en situaciones necesariamente aeróbicas (Calderoli, 2016). Los organismos microscópicos nitrificadores juegan un papel importante en el funcionamiento del ecosistema, puesto que la parte dominante de los nitritos provienen de la nitrificación in situ, que sigue el proceso descrito anteriormente. Aunque una pequeña parte proviene de su liberación al medio ambiente a través de las lluvias ácidas o fertilizantes. Examinar la variación de la secuencia del gen que codifica la amoA es un criterio alternativo utilizado en investigaciones ecológicas microbianas (Junier & Witzel, 2008).

La colectividad diazotrófica de los suelos no cultivados y su estructura, se pareció en ambas profundidades de suelo estudiada (0 -10 cm y 10 - 20 cm). A diferencia de los encontrados en terrenos agrícolas, además del efecto del tratamiento, se observó un cambio significativo en la composición entre las profundidades (Calderoli, 2016). Las hojas que se encontraron en la parte de bosque seco tropical en el departamento de Córdoba presentaron muchos organismos microscópicos que cuentan con la propiedad de fijación de nitrógeno, lo que destaca su concentración en el mantillo más que en las hojas (Aleán, 2020). Las cepas bacterianas fijadoras de nitrógeno desarrollan un crecimiento de la masa bacteriana en el medio selectivo Rennie modificado que no contiene nitrógeno, lo que refiere que tienen una actividad metabólica que les permite utilizar el nitrógeno atmosférico para satisfacer esta demanda. Por ello, se presenta una correlación directa entre la densidad microbiana y el nitrógeno total de los diversos tratamientos del suelo cultivado con raíces del municipio de Cumaral-Meta, los cuales explican que el 65% de la variación de este nutriente (González & Mora 2019).

#### **2.3.4. Microorganismos Aerobios viables.**

El grupo poblaciones promedio de los diversos grupos microbianos estudiados corresponde a la población de bacterias aerobias vivas  $10^4$  UFC/g, la población media de actinomicetos se ubica en rangos de  $10^4$  a  $10^5$ , la población de hongos y fijadores de nitrógeno es en promedio  $10^3$  UFC/g, no hay diferencia observada en los parámetros microbiológicos del suelo ( $p < 0.05$ ) (Florida, 2019). La correlación bilateral de Pearson en cuanto a su análisis, refleja la no existencia de una correlación significativa entre los

tratamientos y las variables microbiológicas, con la excepción de cadmio en las almendras de cacao con un 0.554 y la significancia bidireccional en 0.026, y ninguna correlación entre las variables microbiológicas y el cadmio en suelo y almendras de cacao. (Florida, 2019).

La presencia de microorganismos en el suelo varía, y sigue una tendencia de disminución del número microbiano a profundidades mayores. Una posibilidad de explicación del patrón observado es que una gran proporción de microorganismos aislados en un medio agar son heterótrofos y aeróbicos, y los compuestos de carbono y  $O_2$  disminuyen con la profundidad (Osorio, 2009). Así, la limitación de la cantidad de la población microbiana se debe a la disminución de carbono orgánico total en el interior. El potencial de hidrogeno del suelo no varió con la profundidad del perfil ( $P > 0,05$ ). En el mismo lugar de la investigación, Rodríguez et al. (2015), mostraron cambio en la disponibilidad de carbono y nitrógeno con la profundidad del perfil. Estos autores reportaron valores de contenido de carbono orgánico total (COT), de 31.4 a 54.4 g kg<sup>-1</sup> a 0 a 5 cm de profundidad y de 29.6 a 35.3 g kg<sup>-1</sup> a 5 a 20 cm de profundidad. Aunque los valores dependieron del uso y manejo del suelo (por ello los rangos), los resultados obtenidos reflejan la baja significativa del contenido de COT en relación a la profundidad.

Del mismo modo, Rodríguez et al. (2015), reconocieron valores de nitrógeno altamente mineralizable (Nan) 0 a 5 cm (entre 80.7 y 235.1 mg kg<sup>-1</sup>) y mayor de 5 a 20 cm (entre 58.5 y 117.8 mg kg<sup>-1</sup>), pero en ambas capas, el valor más alto reportado corresponde al PN. Según Rodríguez et al. (2015), el lugar de investigación coincide con el hecho de obtener más cantidad de BAMT, actinobacterias y hongos filamentosos medidas a 0-5 cm en comparación con los de 5 a 20 cm (Valle y Delfino, 2022). Los resultados mostraron que hubo variaciones en los grupos funcionales de las poblaciones entre las muestras 1 y la muestra 2 y 3 (valores de  $p \leq 0.05$ ), mientras que la cantidad de la población promedio de la muestra 1 se observó mucho menos (3.5998 log 10 UFC/g) que el valor promedio de las muestras 2 y 3 (5.7844 log 10 UFC/g y 5.6987 log 10 UFC/g, respectivamente), mientras que el valor de la muestra 4 fue levemente más que la muestra 1, pero no estadísticamente diferente de éste (Echeverry & Méndez, 2017).

### **2.3.5. Actinomicetos en el suelo**

Las investigaciones actuales se enfocan en la búsqueda de nuevos agentes antimicrobianos, más que todo los de origen en actinomicetos, debido a que producen abundantes analgésicos de forma natural y metabolitos secundarios (Oskay *et al.*, 2004; Prashith *et al.*, 2010). Los actinomicetos son bacterias Gram-positivas, cuya característica es la



formación de filamentos ramificados iguales a los hongos, son saprofitos y tienen células procarióticas; son quimioautótrofos que utilizan la respiración aeróbica o en algunos casos con la fermentación (Bergey *et al.*, 2000). Se las identifica porque no producen mucopolisacáridos, por ello en los cultivos de agar se las ve secas y no cremosas. Se las identifica por como huele a suelo húmedo, esto se da por que realiza de un proceso al que llaman "geosmina" (Omar *et al.*, 1997). Los actinomicetos se presentan en grandes cantidades y se adecuan en el ambiente, y a los cuerpos de agua, suelo y excremento de animales; son aerobios y se ubican en la superficie del suelo, y también habitan en los horizontes inferiores, en especial en tipos de suelos alcalinos (Betina, 1994).

Son los que influyen en su mayoría en aquellos productos de actinomicetos son: analgésicos, antifúngicos, productos metabolitos, enzimas extracelulares (quitinasas, peroxidases, glucanasas), inhibidores de enzimas, neurotransmisores, terpenoides, pigmentos, anticancerígenos y pesticidas entre otros; se puede observar que tienen gran capacidad metabólica y pueden degenerar la materia orgánica tanto de la vegetación como la animal, quienes generan sideróforos, sustancias que propician del crecimiento de las plantas, y son buenas en la asimilación del hierro en la fijación de nitrógeno, lo que de forma indirecta propicia el crecimiento de las plantas. El orden de los Actinomycetales incluye 63 géneros que representan más o menos el 20 a 60% de la población microbiana del suelo (Crawford *et al.*, 1993; Tokala *et al.*, 2002; Ezziyyani *et al.*, 2004; Franco-Correa *et al.*, 2010). La importancia de los organismos radica en su capacidad de como controlador biológico, la presencia endofítica de *Streptomyces* sp., pueden desempeñar un papel importante en las buenas condiciones de las plantas, porque pueden afectar el desarrollo de la vegetación, ya sea por absorción de nutrientes o también por la generación de metabolitos secundarios (Behal, 2000; Tokala *et al.*, 2002; Sánchez-Yáñez, *et al.*, 2007). Los actinomicetos pueden producir diversas clases de metabolitos, lo que los convierte en fuentes prometedoras como reguladores biológicos es por ello su gran importancia (Dávila & Flores, 2013).

### **2.3.6. Hongos y levaduras en el suelo**

El tamaño de los hongos los hace ser percibido por el ojo del hombre, en vista de ello pudo ser estudiado antes que las bacterias. En los años 1675, J. F. van Starbeck anuncio un libro sobre el reino fungi («*Theatrum Fungorium*»). En 1877 Pfeffer propuso un tema de vital importan el cual daba relevancia a la asociación de los hongos con las raíces de las plantas y la simbiosis que se generaba entre ellas, así mismo, en el año 1885 Franck acuño el término «mycorhiza» derivado de las palabras griegas mycos: hongo y rhiza para definir su

relación. Se sabe sobre seis tipos de micorrizas que difieren en sus caracteres morfológicos: arbuscular, arbutoide, ectoericoide, monotrofoide y orquideácea. Siendo las micorrizas arbusculares las que más abundan. Un rasgo morfológico común en la formación del arbusculo en las células es lo que define mejor a la simbiosis que se da entre ellas. Puesto que es el lugar específico donde se da lugar al intercambio de nutrientes entre las plantas y los hongos; el arbusculo siempre para funcional entre 2 a 4 días, posteriormente decae dejando a la célula cortical sin tocar y presta para contraer una nueva infección. Un poco más del 80% de las variedades de vegetación terrestres, el cual es un 92% de las familias, forman relaciones endosimbióticas con hongos de las MA. Esto hace que la simbiosis sea mucho más ampliamente difundida que la establecida entre los rizobios y las leguminosas. Esta simbiosis inicia con la formación de un apresorio que inicia el contacto entre la hifa fúngica y la célula epidérmica vegetal, y que es el sitio de ingreso del hongo en el hospedante. La inserción del tejido vegetal se realiza por la mezcla de mecanismos mecánicos y enzimáticos, y por la colaboración coordinada de la maquinaria del hospedante y del hongo. Las enzimas fúngicas son las que deterioran la pared celular del vegetal (exoglucanasas y endoglucanasas, celulasas, xiloglucanasas y enzimas pectinolíticas). Los hongos de las MA son individuos que remontan hace 460 millones de años, en promedio (Garg y Chandel, 2011). Los hongos por ser seres antiguos, perdieron su habilidad completar su existencia sin la ayuda de las plantas. A los hongos MA se los incluye en el phylum Glomeromycota y consisten en unos 150 aislamientos que colonizan una diversidad extensa de plantas monocotiledones y dicotiledóneas. Crean mucho micelio extraradical que es indispensable para la captación y transferencia de macronutrientes como P, N; K y de micronutrientes como Cobre, Fierro y Zinc, desde el suelo a la planta hospedante. Así mismo, mostraron habilidades para absorber nitrógeno y fosforo de la materia orgánica. Permitiendo que la planta acceda a nutrientes limitantes para su crecimiento y reproducción, y posibilitan una mejora en su hidratación, y la planta, como agradecimiento le facilita la adquisición de carbono (Correa, 2013). En base a la analogía que presenta la taxonomía microbiológica con la taxonomía de suelo se logró evidenciar a los géneros *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.*; *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Sarcina sp.*, *Pythium sp.*, *Rizhopus sp.* y *Streptomyces sp.* los cuales representan el siguiente orden Entisols, Andisols, Alfisols, Mollisols. En los suelos Entisols, Alfisols y Mollisols. *Penicillium sp.* se observó el género *Paecilomyces sp.* en suelos Entisols, Andisols, Alfisols y a *Trichoderma sp.* en suelos Andisol, Alfisol; *Verticillium sp.* en Andisoles, Entisoles, se observó la presencia del género *Torula sp.* en suelo alfisol y molisol (Rocha, 2022).

#### **2.4. El Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS).**

La Universidad Nacional Agraria de la Selva, tiene a su disposición el Bosque Reservado, quien es considerado un bosque típico de Selva Alta y conjuntamente con el Parque Nacional de Tingo María, pertenecen a la provincia de Leoncio Prado y presenta poca intervención del hombre, fue creada bajo la Resolución N° 1502 – UNASTM, un 31 de diciembre en el 1971, es considerada un área intangible con el objetivo de preservar los recursos que posee dentro de las que poder resaltar su flora, fauna, suelos, agua y su gran diversidad biológica. En la actualidad está a cargo de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS y es un gran aporte ya que es considerado un laboratorio vivo para diferentes estudios que puedan desarrollar tanto docentes como alumnos de esta universidad. Este bosque tiene un cultivo de *Cedrelinga cateniformis* (“tornillo”) y es la más vieja en toso Sudamérica, que fue sembrada en los años 50 por el Ing. José Burgos Lizarzaburu (Burgos, 1955), se la conoce como la base a la entrada de fajas; en 1 hectárea se establecieron 108 plantones de tornillo y 108 ejemplares de caoba. Las plantas de caoba no lograron crecer y lamentablemente se extinguieron en tercer año (Burgos, 1955). En la actualidad los árboles que lograron crecer tienen 88 cm de DAP con un incremento medio anual de 1,69. En relación a su altura comercial se encuentran en promedio 19.55 m con un incremento medio anual de 0.37 m y en altura total alcanzan los 30.3 m en promedio.

#### **2.5. Propiedades fisicoquímicas del suelo**

Para analizar el aspecto físico del suelo, se puede realizar lo siguiente:

- La densidad aparente ( $D_a$ ): se comprobó utilizando el método del cilindro de volumen conocido ( $98.17\text{cm}^3$ ) siendo  $D_a = M_{ss}/V_c$ , donde  $M_{ss}$  = masa de suelo seco (g) a  $105^\circ\text{C}$  por 24hr y  $V_c$  = volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ ).
- La densidad real ( $D_r$ ): se comprobó utilizando el método del picnómetro.
- Porosidad total ( $P_t$ ) del suelo, por la relación entre  $D_a$  y  $D_r$ :  $P_t = (1 - (D_a/D_r)) \times 100$
- Textura (Bouyoucos)
- Estabilidad de agregados (yoder modificado)
- Macro y microporosidad (curvas de retención de humedad).

En cuanto al análisis químico, se puede realizar lo siguiente:

- Concentración de hidrogeniones (potenciómetro, relación 1:1 P/V); acidez y Al intercambiable (KCL 1N); MO (Walkley-Black, combustión en húmedo);
- Fósforo disponible (P, Bray II);
- Potasio (K)

- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Sodio (Na) (acetato de amonio 1M a pH 7)
- Azufre (S)
- Boro (B) (Fosfato monocálcico)
- y los elementos que se encuentran en menores (Cu, Mn, Fe, Zn; Olsen modificado)
- Conductividad eléctrica (conductímetro).

Finalmente, las propiedades fisicoquímicas fueron determinadas utilizando la metodología propuesta por IGAC (2006), realizándose este en el laboratorio (Contreras & Tamara, 2020).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución de la investigación.**

El estudio se desarrolló en las áreas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - BRUNAS, siendo este un bosque perteneciente a la Selva Alta, se fundó con la Resolución N° 1502 – UNASTM, un 31 de diciembre del 71, es una zona de gran importancia en cuanto a su conservar por poseer gran biodiversidad. En el podemos encontrar plantaciones de tornillo muy antigua a nivel de América (Burgos, 1955). En la actualidad es dirigido por la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS y es considerado un área con gran valor científico (Tuesta & Meza, 2012).

##### **3.1.1. Condiciones climáticas del área en estudio.**

La pluviometría del área es elevada, con una precipitación media anual de 3428.8 mm, las lluvias son más concurrentes en los meses de septiembre y abril y logran alcanzar su punto más alto en enero con una precipitación media mensual de 483.6 mm, así mismo tiene un índice de humedad relativa del 87% y anual presenta una temperatura media de 24°C (Puerta, 2007). Estos datos son corroborados por otros autores (Tuesta & Meza, 2012).

##### **3.1.2. Fisiografía del terreno**

El área de estudio presenta pisos altitudinales entre los 667 hasta los 1092 m.s.n.m., así mismo se identificaron tres unidades fisiográficas tales como la colina baja con una prolongación aproximada de 22.91 hectáreas, luego le sigue la colina alta con 150.74 hectáreas, finalmente tenemos a la zona montañosa con 43.57 hectáreas. En relación a la pendiente un 70.74% del área total del BRUNAS está constituida por pendientes cuyos valores superan al 25%, lo que refiere que se ubica a un área exclusivamente de protección (Puerta, 2007). Estos datos son corroborados por otros autores (Tuesta & Meza, 2012).

##### **3.1.3. Zonas de vida del área de investigación**

De acuerdo al tipo de zonas de vida o las conformaciones de las plantas a nivel mundial y el diagrama bioclimático de Holdridge (1967), el BRUNAS se ubica dentro de la formación vegetal bosque muy húmedo Pre-montano tropical así mismo, corresponde a Rupa Rupa o Selva Alta, de acuerdo a los establecido por las regiones naturales del Perú según (SENAMHI, 2015).

## **3.2. Población y muestra**

### **3.2.1. Población**

La población en estudio está constituida por todos los grupos funcionales microbianos en los suelos de sotobosque en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **3.2.2. Muestra**

- Estuvo conformada por muestras del bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

- Una muestra simple para microorganismos amonificadores.

- Una muestra simple para microorganismos celulolíticos.

- Una muestra simple para microorganismos fijadores de nitrógeno de vida silvestre.

- Una muestra simple para microorganismos nitrificadores.

### **3.2.3. Tipo de muestreo**

El muestreo realizado para la obtención de las muestras y con ello determinar la abundancia de los microorganismos amonificadores, celulolíticos, fijadores de nitrógeno de vida silvestre y nitrificadores, los cuales intervienen en la fertilidad del suelo fue aleatoria, para ello se tomaron tres muestras por cada abundancia de microorganismos a dos profundidades de 10 y 20 centímetros del suelo, posteriormente, dichas muestras fueron analizadas en un laboratorio.

## **3.3. Materiales, equipos e insumos**

### **3.3.1. Materiales utilizados en el desarrollo de la investigación.**

Los materiales necesarios para el desarrollo de esta investigación fueron los siguientes:

- Reglas.

- Machetes.

- Tablero.

- Pala plana.

- Bolsa.

- Mapa de la zona de estudio

- Cápsulas Petri de 90 a 100 mm.

- Tubos durkam de 15 a 80 mm.

- Matraz, placas Petri, probetas de 250 ml y fiolas de 150 ml.

- Tubos de ensayo de 5 a 150 mm.
- Pipetas de 1 a 5 ml.
- Gradillas de diferentes tamaños
- Asa de colle
- Láminas
- Laminillas

### **3.3.2. Equipos utilizados en el desarrollo de la investigación**

- GPS Garmin modelo 76, para delimitación y georreferenciación.
- Estufa para secado de las muestras de suelo.
- Equipos de análisis microbiológico para la cuantificación de microorganismos.
- Cámara fotográfica.
- Balanza gramera.
- Balanza semianalítica.

### **3.3.3. Insumos utilizados en el desarrollo de la investigación**

- Peptona.
- Cristal violeta.
- Agar plate Count y
- Agar saboraud.
- Safranina
- Acetona.
- Yoduro de potasio.
- Alcohol 96° y
- Alcohol puro.
- Otros.

## **3.4. Metodología de investigación**

La investigación se ejecutó en dos etapas; la primera etapa consistió en identificar las áreas de muestreo de campo, para ello se tuvo que proceder con la referenciación de áreas de estudio; seguidamente se realizó la identificación y finalmente se hizo la obtención de suelo a dos profundidades. La segunda etapa correspondió al trabajo en gabinete y el análisis de laboratorio de microbiología general de la Universidad Nacional Agraria de la Selva-Tingo María, donde se cuantifico la población de microorganismos que intervienen en la fertilidad del suelo.

### 3.4.1. Áreas delimitadas al azar para la toma de muestras

Las áreas tomadas al azar se ubicaron en el sector de Tingo María, Distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado en el Departamento de Huánuco y fueron las siguientes:

**Tabla 1.** Delimitación de las zonas de muestreo.

| N° | Profundidad | Latitud   | Longitud    | Altitud | Lugar  |
|----|-------------|-----------|-------------|---------|--------|
| 1  | 10          | 39°06'51" | 89°70'68.8" | 733     | BRUNAS |
| 2  | 20          | 39°06'51" | 89°70'68.8" | 733     | BRUNAS |
| 3  | 10          | 39°11'82" | 89°70'49"   | 774     | BRUNAS |
| 4  | 20          | 39°11'82" | 89°70'49"   | 774     | BRUNAS |
| 5  | 10          | 39°13'36" | 89°70'39.7" | 852     | BRUNAS |
| 6  | 20          | 39°13'36" | 89°70'39.7" | 852     | BRUNAS |

Las muestras de suelo obtenidas fueron llevados al laboratorio de microbiología y suelo, lugar donde se determinó los principales grupos funcionales y las características fisicoquímicas de cada muestra de suelo tomada, de acuerdo al manual de suelos (Sánchez, 2015).

### 3.4.2. Tratamiento de muestra

Una vez realizado el proceso de secado bajo sombra, se procedió a remover las muestras para un secado más eficiente, luego se realizó el tamizado, seguido del molido y el tamizado, finalizando con el pesaje de las muestras, para luego realizar los procedimientos que se detallan a continuación:

#### 3.4.2.1. Recuento de microorganismos aeróbicos viables

Se procedió con el pesado de 10 gramos de la muestra de suelo, posteriormente se lleva a un matraz con una solución de 90 ml de Caldo Peptonado Manitol al 0.1%, donde se realizó la dilución  $10^{(-1)}$ , luego se sacó 1 ml de inóculo y se llevó a un tubo con caldo peptonado con 9 ml, que va ser la dilución  $10^{(-2)}$ . De igual modo para la dilución  $10^{(-3)}$ ,  $10^{(-4)}$ ,  $10^{(-5)}$  y  $10^{(-6)}$  de la última dilución se sacó un inóculo de 1 ml se aplicó el método de siembra por profundidad y se llevó en una placa esterilizada vacía por duplicado adicionando el agar platy count + manitol al 1% se homogenizó 5 veces a la derecha y 5 veces a la izquierda y se formó el número 8 y se dejó solidificar para incubar a temperatura ambiente de 24 – 48



horas para proceder con la contabilidad de las colonias mediante el equipo de conteo. Para este conteo se debe utilizar la formula siguiente:

$$\frac{\text{mol}}{\text{g}} \text{ de muestra} = \# \text{ de colonias} * \text{inoculo de siembra} * \text{el factor de dilucon}$$

Los resultados fueron expresados en unidades ufc/ml o ufc/g. Las placas duplicadas se contaron y se obtuvo el promedio de las dos placas y se aplicó la formula. El recuento de colonias debería estar en un rango de 30 a 300 colonias por caja Petri.

#### **3.4.2.2. Siembra en Superficie**

El proceso se realiza con la ayuda de un asa, se inició con la siembra de un inoculo de 0.25 ml y se siembra por estrías en una placa en superficie de agar platy count + manitol o en medio 77 se incubaba a temperatura ambiente por 24 a 48 horas y se observa los resultados de células crecidas.

#### **3.4.2.3. Método de siembra en Superficie**

El proceso de recuento en medio líquido, se aplicó el método del número más probable (NMP) se saca 10 ml de la muestra y se llevaron a un matraz de 90 ml de caldo peptonado al 0.1% que va ser la dilución  $10^{(-1)}$  luego 1 ml para la dilución  $10^{(-2)}$  hasta  $10^{(-3)}$  por cada dilución se trabajó con 3 tubos con 9 ml de caldo brilla con su tubito de DURHAM, incubador a  $37^{\circ}\text{C}$  con su tubito de DURHAM 24 – 48 horas se procedió con el monitoreo de gas en los tubitos DURHAM cada 24 horas se determina el índice NMP de la tabla y se calculó el NMP por 100 ml con la formula.

$$\frac{\text{NMP}}{100 \text{ ml}} = (\text{Indice NMP (tabla)} * \text{dilucion intermedia}) / 100$$

#### **3.4.2.4. Siembra en medios selectivos líquidos y sólidos**

##### **a. Amonificadores**

Se procedió con la separación de 10 gr de suelo que se utilizó como muestra, para luego ser llevado a un matraz con 90 ml de caldo thortons filtrar, luego es diluido a una concentración de  $10^{(-1)}$  luego se sacó 1 ml, para ser llevado a un tubo con 9 ml del caldo thortons para la dilución  $10^{(-2)}$  hasta los  $10^{(-9)}$  incubador a temperatura  $28 - 30^{\circ}\text{C}$ , durante 7 días se agregó de 2 a 3 gotas de reactivo de Nessler en cada tubo y se contó los tubos positivos, los cuales presentaron una coloración ocre por la presencia del amonio. Los resultados fueron compados con la tabla Mc Grady para tres tubos.

##### **b. Celulolíticos**

Se procedió con la separación de 10 gr de suelo de la muestra, para posteriormente se trasladó a un matraz con 90 ml de caldo carboxi metilcelulosa, filtrar,

sacar 1 ml y elevar en un tubo con 9 ml de caldo carboximetil celulosa se diluyo a una concentración  $10^{(-2)}$  hasta  $10^{(-9)}$  incubar a temperatura de 28 a 30°C durante 15 días luego se procede a contabilizar los tubos que presentaron colonias positivas sobre el papel o alteraciones del mismo verificar los resultados en la tabla de Mc Grady.

### c. Fijadores de nitrógeno de vida libre

Se pesaron 10 gr de suelo desecado o húmedo y se llevó a un matraz con 90 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL luego fue diluido a una concentración de  $10^{(-1)}$ , filtro la primera dilución se sacó 1 ml de la primera dilución se llevaron a un tubo con 9 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL que fue diluido  $10^{(-2)}$  igual para la dilución  $10^{(-3)}$  luego de la última dilución por el método de profundidad con el medio AGAR G Y C incubar a temperatura 37 °C de 24 a 48 horas se procedió con el conteo de las poblaciones colonizadas, para ellos se utilizó la fórmula de numeración de microorganismos por gramo.

#### Formula:

M.O/gr de muestra= Número de colonias\*inoculo de siembra\*el factor de dilución.

### d. Nitrificadores

Se pesó 10 gr de muestra y posteriormente colocarlo a un matraz con 90 ml de caldo de DMA (Latosa Manitol Agar) se filtraron a una dilución  $10^{(-1)}$  se sacó 1 ml se llevaron a un tubo con 9 ml de caldo DMA para la dilución  $10^{(-2)}$  hasta  $10^{(-4)}$  sembraron por triplicado cada dilución de la dilución 4 - 3 - 2 en los tubos conteniendo en medio liquido selectivo con sulfato de amonio encubaron a 28 a 30°C durante 21 días luego agregar 0.1 ml de ácido sulfúrico concentrado y unas gotas de fenilamina sulfúrica en cada tubo. Se contaron los tubos positivos color azul por presencia de nitrato y se observaron en la tabla Mc Grady.

### e. Enumeración de Actinomicetos

Se pesaron 10 gr de suelo desecado o húmedo se llevaron a un matraz con 90 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL luego se diluyeron a  $10^{(-1)}$ , se filtró la primera dilución se saca 1 ml de la primera dilución se llevaron a un tubo con 9 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL luego se diluyo a  $10^{(-2)}$  igual para la dilución  $10^{(-3)}$  luego de la última dilución se sembraron un 1 ml de inoculo de la última dilución por el proceso de profundidad con el medio AGAR ACTINOMICETOS incubaron a temperatura ambiente de 3 a 5 días se realizó el recuento de colonia aplicando la formula respectiva de enumeración de microorganismos por gramo.

#### Formula:

M.O/gr de muestra=# de colonias\*inoculo de siembra\*el factor de dilución.

#### **f. Enumeración de lactobacillus**

Se pesó 10 gr de muestra de suelo desecado o húmedo para luego colocarlo en un matraz con 90 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL luego se diluyo a una concentración de  $10^{(-1)}$ , filtrar la primera dilución se saca 1 ml de la primera dilución se llevaron a un tubo con 9 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL luego se diluyo a una concentración de  $10^{(-2)}$  después se diluyo  $10^{(-3)}$  luego de la última dilución por el método de profundidad con el medio AGAR ROGOSA se incubaron a temperatura 37 °C de 24 a 48 horas, finalmente se procedió con el conteo de las colonias, para ello se utilizó la fórmula de enumeración de microorganismos por gramo.

#### **Formula:**

M.O/g de muestra = Número de colonias\*(inoculo de siembra) \*(el factor de dilución).

#### **3.4.3. Identificación de microorganismos**

Para la identificación de microorganismos se realizaron los siguientes procedimientos:

##### **3.4.3.1. Para identificar bacterias**

La muestra que se dio como resultado a 10 ml para luego ser colocado en un matraz de 90 ml de CALDO PEPTONADO al 1% o CALDO BHI (caldo cerebro-corazón), luego se llevó a incubar a una temperatura de 37 C°/ 24 a 48 horas luego se sembraron en los medios de cultivo AGAR MANITOL SALADO, AGAR M77, AGAR CLEED, AGAR MACCONKY. Se incubo EL M77 a temperatura ambiente de 24 a 48 horas y el AGAR MACCONKY, CLEED, MANITOL SALADO a 37 °c / 24 - 48 horas.

Luego se verificaron los resultados por placa de las colonias diferentes y hacer la diferenciación bioquímica de las colonias crecidas en los diferentes medios de cultivo. Los medios que se utilizaron para la diferenciación bioquímica fueron el caldo indol, agar sim, el caldo rojo de metilo, el caldo voges poskauer el agar tsi, el agar lia, caldo malonato el agar urea y el citrato de simons.

Se realizo la siembra en los diferentes medios de cultivo cada uno con su propio método, los caldos se sembraron por enjuague, los picos de flauta se sembraron por puntura y estría y los tubos inclinados por estrías, columna por puntura luego se incubaron a temperatura de 37 C°/ 24 a 48 horas.

Luego se verificaron los resultados para la prueba índole se adicionaron de 2 a 3 gotas de reactivo de KOVAC, para la prueba de ROJO DE METILO se

adicionan 2 a 3 gotas del reactivo de ROJO DE METILO. Para el proceso de la prueba VOGES POSKAUER se adicionaron de 2 a 3 gotas de reactivo de KOH al 4% + ALFA NAPHTOL.

Para los resultados se verificaron con la tabla de diferenciación bioquímica.

#### **3.4.3.2. Para identificar fungí**

Se pesó 10 gramos de la muestra de suelo, para luego ser trasladado a un matraz con 90 ml de CALDO PEPTONADO MANITOL al 0.1% luego se diluyo a una concentración de  $10^{(-1)}$  y se sacó 1 ml de inculo se llevaron a un tubo con CALDO PEPTONADO MANITOL con 9 ml que va ser la dilución  $10^{(-2)}$  de igual modo para la dilución  $10^{(-3)}$  de la última dilución se sacó un inculo de 1 ml se aplicó el método de siembra por profundidad se llevó en una placa esterilizada vacía por duplicado adiciono el AGAR SABORAUD GLUCOSADO al 4% + antibiótico (CEFTRAXONA 1gr) se homogenizo 5 veces a la derecha 5 veces a la izquierda y se forma el número 8 y se deja solidificar se incubaron a temperatura ambiente de 3 a 8 días se debe proceder con la contabilidad de las poblaciones de colonias, para ellos se utilizó la fórmula que se presenta a continuación:

$$\text{M.O/gr de muestra} = \text{Número de colonias} * \text{inculo de siembra} * \text{el factor de dilución}$$

El resultado se expresó en ufc/ml o ufc/g.

Las placas duplicadas se contaron y se sacó el promedio de las dos placas y se aplicó la formula.

El recuento de colonias se mantuvo en un rango de 30 – 300 colonias por muestra.

#### **3.4.3.3. Aislamiento de fungí a partir del suelo**

Se procedió a pesar 10 kg de muestra de suelo seco tamizado se colocaron los 10 kg en un matraz con 90 ml con caldo peptona manitol o caldo Wright agito para homogenizar la muestra, filtrar la dilución  $10^{(-1)}$ , se realizó otras diluciones hasta  $10^{(-4)}$  en tubos con 9 ml de caldo peptona o Wright de la última dilución ( $10^{(-4)}$ ), sembraron por disseminación en superficie un inculo de 0.25 ml o por estria con asa de siembra, en placas con medio de saburaud glucosado 4% + antibiotico, (ceftrioxona 1g).

Se incubaron a 30 °C por 48 a 5 días:

- Se observo el desarrollo de colonias fúngicas, se anotaron las características más resaltantes, conservaron las placas con desarrollo fúngico en refrigeración.

- Para la identificación se realizó la técnica de microcultivo de las colonias crecidas en el aislamiento.

#### **3.4.3.4. Micro cultivo (para fungí).**

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Una placa Petri contenido: constan de un soporte de porta y un cubreobjeto, los cuales deben estar esterilizados (placa de microcultivo) en el cual se trabajará el cultivo primario del hongo que se aisló de una muestra de suelo, se debe elegir una colonia para cada placa de microcultivo.

- Placa Petri con medio agar sabraud: contiene glucosado 4% se dividió en cubitos de 20 x 20 x10, los cubos de forma individual son colocados sobre la porta dentro de la placa de microcultivo, es importante indicar que el grosor del medio que se debe colocar en la placa no debe ser mayor de 10 mm, luego se procede a la elección de la población de hongo a utilizar, con el apoyo de una herramienta llamada anza micológica, agarrar un inculo de la misma y transportar sobre el cubito del medio de sabraud que se ha colocado sobre la porta en el interior de la placa de micro cultivos.

- Se procede a colocar el cobre sobre el cubito de agar, luego colocar al interior de la placa un algodón húmedo, posteriormente la placa de microcultivo debe ser llevada a incubación a temperatura ambiente por un tiempo de 3 a 8 días. El proceso debe ser monitoreado de forma diaria, ya que se debe revisar la humedad del algodón. Al finalizar el proceso de incubación se debe retirar cuidadosamente con una pinza el cobre de la placa de microcultivo para luego ser colocada sobre una porta de vidrio esterilizado en el que se colocaron con antelación 2 a 3 gotas de azul de amman, y con papel absorber se procedió a retirar el colorante excedente; luego se procede a cerrar los costados con bálsamo de canada o esmalte de uña transparente.

Luego se procedió con la eliminación del cubito de medio sabraud con la ayuda de una solución sulfocromica, o con agua y lejía, luego se debe quitar la porta de la placa de microcultivo y agregarle 2 – α 3 de azul de amman, luego se agregó cobre limpio y sin grasa con ayuda del papel secante, con el objetivo de retirar el colorante en exceso, luego se cierra los costados con bálsamo de Canadá diluido o con esmalte de uña transparente.

- Finalmente, se procedió con la observación de la laminas selladas en el microscopio con objetivo de 40x, 10x y la especie de fungí identificado se compararon con la bibliográfica.

### 3.5. Variables de investigación

#### 3.5.1. Variable independiente

Estuvo formada por muestras tomadas del suelo a dos diferentes profundidades de un bosque primario.

$Y_1$  = Muestras de suelo a 10 centímetros de profundidad.

$Y_2$  = Muestras de suelo a 20 centímetros de profundidad.

#### 3.5.2. Variable dependiente.

Estuvo conformada por los microorganismos que se encuentran en el suelo en el área en estudio.

$X_1$  = Cuantificación de abundancia de los microorganismos amonificadores, celulolíticos, fijadores de nitrógeno de vida silvestre y nitrificadores que intervienen en la fertilidad del suelo a 10 centímetros de suelo.

$X_2$  = Cuantificación de abundancia de los microorganismos amonificadores, celulolíticos, fijadores de nitrógeno de vida silvestre y nitrificadores que intervienen en la fertilidad del suelo a 10 centímetros de suelo.

### 3.6. Diseño experimental.

Dado la naturaleza de los datos estos se ajustaron a un diseño completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos y 3 repeticiones con una distribución de 15 unidades experimentales. Se eligió tomar muestras a dos profundidades del suelo el modelo se describe a continuación:

#### 3.6.1. Modelo estadístico para la investigación.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima medida repetida.

$\mu$  = Media poblacional.

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental o residual.

#### 3.6.2. Esquema del análisis de varianza.

En la siguiente tabla se describe de forma precisa el análisis de varianza y sus fuentes de variabilidad.

**Tabla 2.** Fuentes de variabilidad del análisis de variancia.

| Fuente de Variación | Grados de Libertad |
|---------------------|--------------------|
| Tratamientos        | 4                  |
| Error               | 10                 |
| Total               | 14                 |

### 3.7. Coeficiente de correlación

Para la correlación se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, ya que este mide el grado de relación que existe generalmente entre dos variables aleatorias. Es importante saber que no es recomendable identificar correlación con dependencia causal, puesto que, si existe o encuentra una igualdad formal entre ambos conceptos, no puede deducirse de esto que sean análogos (Joe, 1997; Pita, 1996); efectivamente es posible que haya una alta correlación entre dos acontecimientos y que, sin embargo, no exista entre ellos relación de causa o efecto; por ejemplo, cuando dos acontecimientos tienen alguna causa común, pueden resultar altamente asociados y no necesariamente son el uno causa del otro. Cabe recordar que el coeficiente fluctúa entre  $-1 \leq \rho \leq 1$  (Restrepo & González, 2007).

El coeficiente de correlación de Pearson es la media geométrica entre las pendientes de los modelos de regresión lineal simple  $Y/X$ ,  $X/Y$  así (Restrepo & González, 2007):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$$

Cuando una variable es dicotómica y la otra continua, el coeficiente de correlación de Pearson es igual al biseral puntual, si ambas variables son dicotómicas, Pearson es igual al coeficiente phi ( $\phi$ ) (Restrepo & González, 2007).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Identificación de los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Al realizar el análisis de los datos relacionados a los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, tal como se observa en la Tabla 15, se pudo determinar que existen diferencias significativas entre los diferentes grupos funcionales, donde se presentó un coeficiente de variabilidad de 14.71%, estos datos nos indican que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre los diferentes grupos funcionales de microorganismos, asimismo el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9882$ , este valor nos indica que el 98.82% de los valores encontrados en las variables estudiadas son explicadas como efecto directo de los tratamientos estudiados y el 1.18% de los datos está afectado por otros factores que no pudieron ser controlados por el investigador. Otros autores al realizar un análisis de sus datos con respecto a esta variable encontró diferencias altamente significativas entre las variables en estudio con un coeficiente de variabilidad de 14.71 mientras otros autores al estudiar la diversidad funcional microbiana y biogeoquímica en la planicie de inundación del río Mapire las condiciones fisicoquímicas del suelo, la zona explicó el 9.3% de la varianza y el 62.2% de la varianza se explica por la interacción de ambos factores (Zamora, 2021).

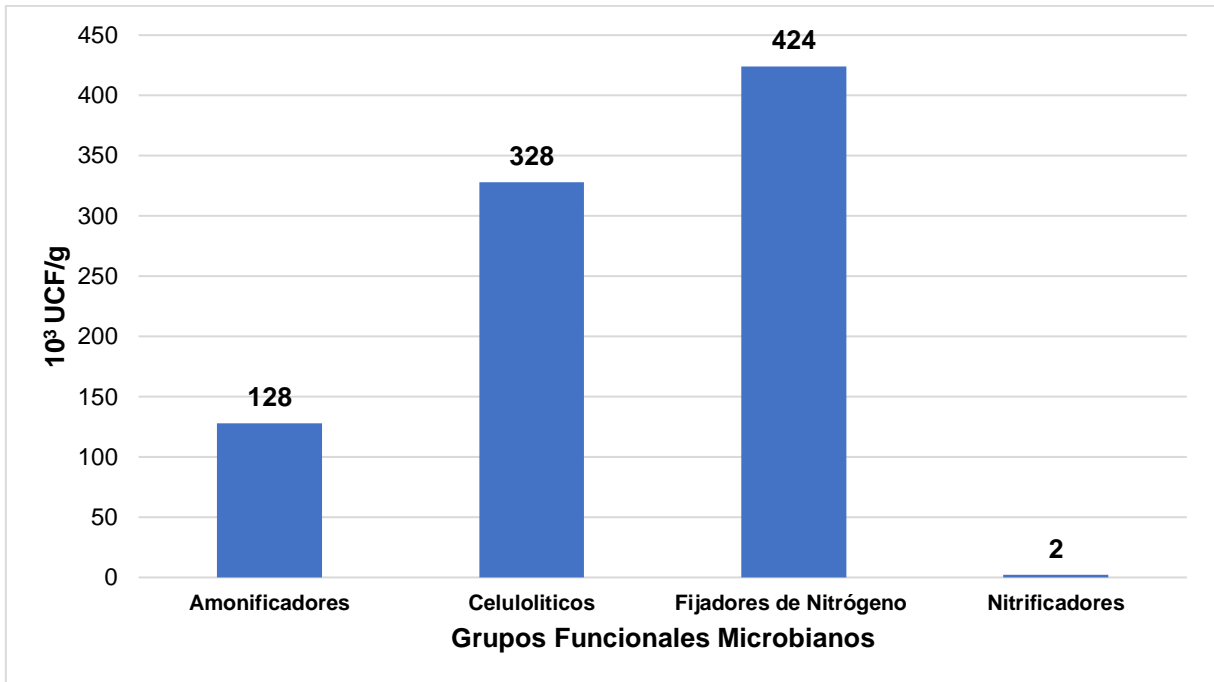
En cuanto a la identificación de la abundancia de los Grupos Funcionales Microbianos fertilizantes de Parcela permanente de medición en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La Selva (BRUNAS). Se pudo determinar que existe una alta presencia del número probable de organismos microscópicos que fijan el nitrógeno de vida libre con una población total de  $424.00 \times 10^3$  UFC/g unidades formadoras de colonias por gramo de suelo, seguido del número total de microorganismos celulolíticos con un total de  $328.00 \times 10^3$  UFC/g, los microorganismos amonificadores encontrados en promedio durante la investigación fue de  $128.00 \times 10^3$  UFC/g y finalmente el número total de microorganismos nitrificadores encontrados fue de  $2.00 \times 10^3$  UFC/g unidades formadoras de colonias por gramo de suelo.



**Tabla 3.** Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos de una parcela permanente de medición que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, según la prueba de Tukey.

| <b>Grupos funcionales</b>  | <b>Conteo de UFC/g</b>         | <b>Significancia</b> |
|--|--------------------------------|----------------------|
| Número más probable de microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre. | 424.00 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | a                    |
| Número más probable de microorganismos celulolíticos.                        | 328.00 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | b                    |
| Número más probable de microorganismos amonificadores.                       | 128.00 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | c                    |
| Número más probable de microorganismos nitrificadores.                       | 2.00 x 10 <sup>3</sup> UFC/g   | d                    |

Algunos autores encontraron niveles muchos más en muestras de suelos donde se registraron en épocas de lluvias resultados bastante elevados en el conteo de bacterias y hongos. Así mis, en su muestra testigo se obtuvieron bacterianas y fúngicas (expresadas en UFC/g de suelo) de  $183.24 \times 10^2$  y  $96.22 \times 10^2$  (Gómez & Luna, 2018), estos niveles pueden ser bajos al momento de realizar los análisis de los recuentos microbianos, ya que las correlaciones obtenidas y los resultados de análisis fisicoquímicos ayudan a concluir que la agricultura convencional, mediante el empleo de fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, pueden afectar la densidad de las poblaciones microbianas (Díaz & Díaz, 2019).



**Figura 1.** Cuantificación e identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

#### **4.2. Grupos funcionales microbianos encontrados a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva.**

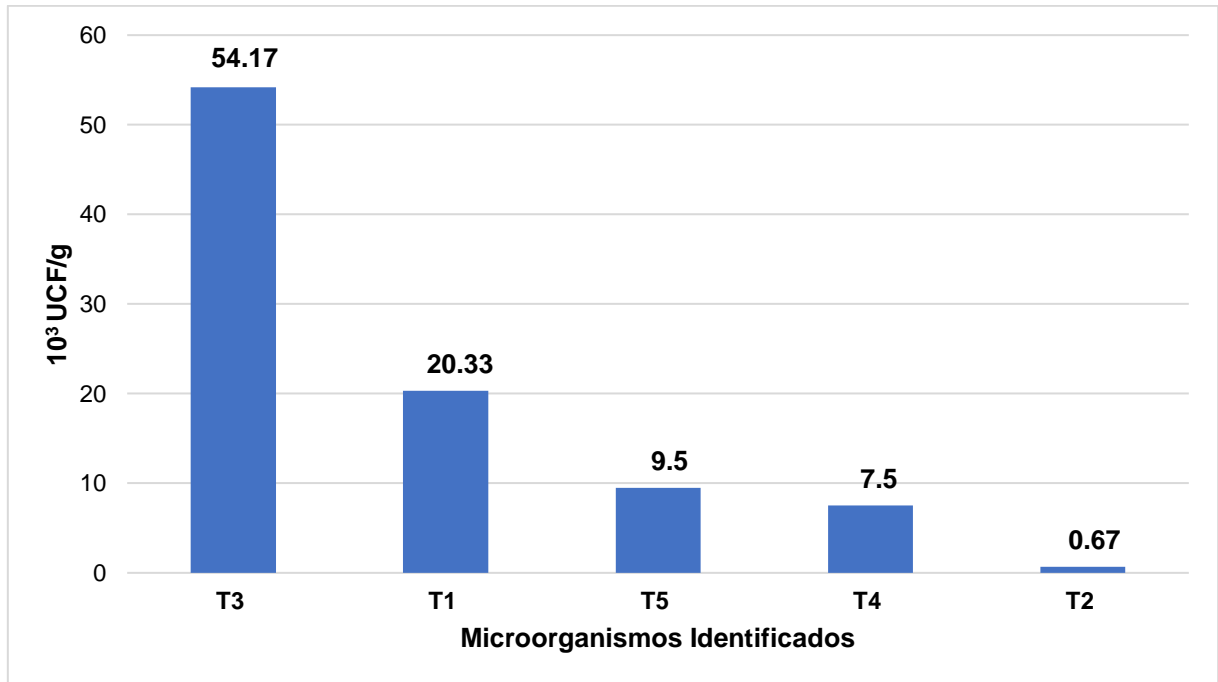
Al efectuar el análisis de los datos relacionados a los grupos funcionales microbianos a dos profundidades en el bosque BRUNAS, tal como se observa en la Tabla 16, se pudo determinar la presencia de variaciones significativas entre los grupos, donde se presentó un coeficiente de variabilidad de 5.21%, estos datos nos indican que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre los diferentes grupos funcionales de microorganismos, asimismo el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9329$ , este valor nos indica que el 93.29% de los valores encontrados en las variables estudiadas son explicadas como efecto directo de los tratamientos estudiados y el 6.79% de los datos está afectado por otros factores que no pudieron ser controlados por el investigador.

**Tabla 4.** Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, según la prueba de Tukey.

| Tratamiento   | Conteo en UCF/g               | Significancia |
|---|-------------------------------|---------------|
| T <sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos).                    | 54.17 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | a             |
| T <sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables). | 20.33 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | b             |
| T <sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno).                | 9.50 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | bc            |
| T <sub>4</sub> (Enumeración de fungí mohos y levaduras).          | 7.50 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | bc            |
| T <sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus).                    | 0.67 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | c             |

Al identificar la abundancia de los grupos funcionales microbianos a dos profundidades en el BRUNAS, el T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos) se determinó un total de 54.17 x 10<sup>3</sup> UCF/g unidades formadoras de colonias, el T<sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables) presento un total de 20.33 x 10<sup>3</sup> UFC/g, el T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) presento un total de 9.50 x 10<sup>3</sup> UFC/g, presentando diferencias altamente significativas con el T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos) y significativas con el T<sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables), mientras el T<sub>4</sub> (Enumeración de fungí Mohos y levaduras), con 7.50 x 10<sup>3</sup> UFC/g no presento diferencias significativas con el T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno), y finalmente el T<sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus) presento un total de 0.67 x 10<sup>3</sup> UFC/g unidades formadoras de colonias por gramo de suelo durante las evaluaciones realizadas.

En el municipio de Palmira, se realizaron estudios en 4 cultivos en relación a los grupos funciones de los organismos microscópicos, registrándose grandes cantidades de bacterias totales. Mientras que las bacterias funcionales presentaron una relación inversa; las cuáles fueron significativamente altas en el gradual, el cual refleja un proceso biológico regulado, así como la adecuada utilización de los nutrientes (Caicedo & Hinestroza, 2018). Encontraron tamaños diferentes de en relación a los agentes funcionales lo cuales se evidenciaron en el muestreo 1, 2 y 3, lográndose ver que el valor medio en relación al tamaño poblacional, del muestreo 1, es más bajo que del muestreo 2 y 3, finalmente, el muestreo 4 mostro resultados un poco más altos que el muestreo 1 (Echeverry & Méndez, 2017).



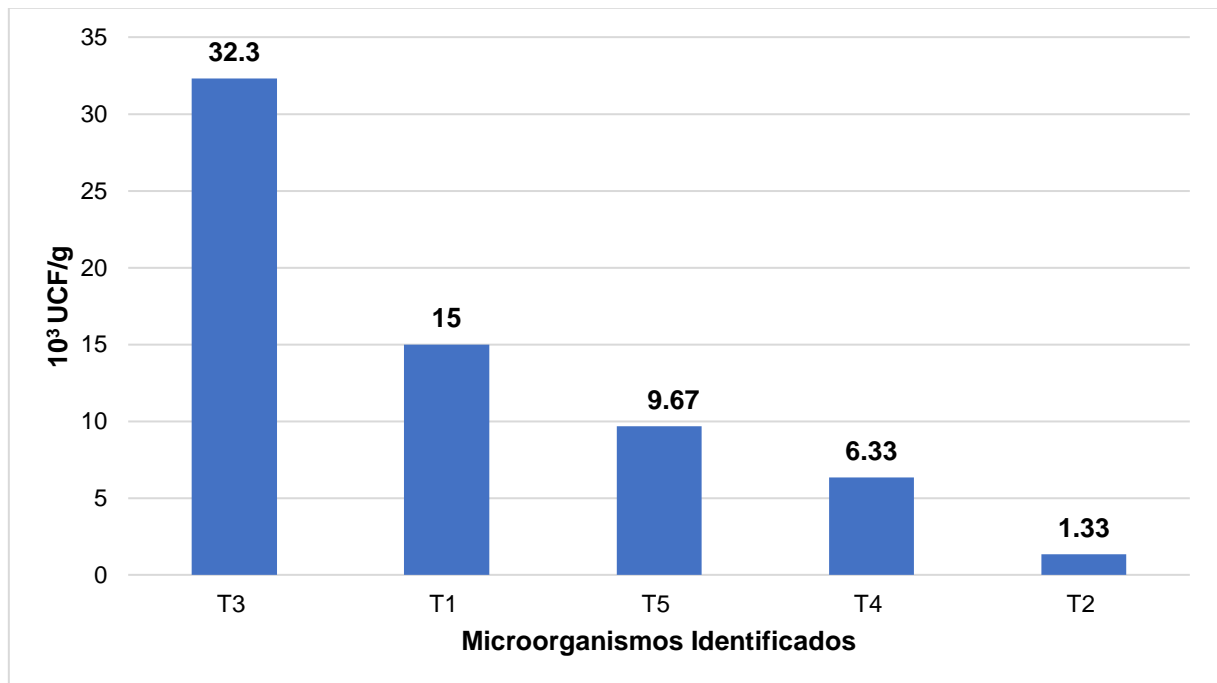
**Figura 2.** Abundancia de los grupos funcionales microbianos a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

#### **4.2.1. Grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva**

Durante el desarrollo de los objetos del presente trabajo de investigación se pudo determinar que los datos relacionados a los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad en el BRUNAS, tal como se observa en la Tabla 17, existe una diferencia significativa entre los grupos funcionales, donde se presentó un coeficiente de variabilidad de 9.09%, estos datos nos indican que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre los diferentes grupos funcionales de microorganismos, asimismo el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.6739$ , este valor nos indica que el 67.39% de los valores encontrados en las variables estudiadas son explicadas como efecto directo de los tratamientos estudiados y el 32.61% de los datos está afectado por otros factores que no pudieron ser controlados por el investigador.

**Tabla 5.** Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva, según la prueba de Tukey

| Tratamiento   | Conteo en UFC/g               | Significancia |
|---|-------------------------------|---------------|
| T <sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos).                    | 32.30 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | a             |
| T <sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables). | 15.00 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | ab            |
| T <sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno).                | 9.67 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | ab            |
| T <sub>4</sub> (Enumeración de fungí mohos y levaduras).          | 6.33 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | b             |
| T <sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus).                    | 1.33 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | b             |



**Figura 3.** Abundancia de los grupos funcionales microbianos a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Al realizar un muestreo en el BRUNAS a 10 centímetros de profundidad se pudo determinar que el T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos) presento un total de 32.30 x 10<sup>3</sup> UFC/g siendo este el promedio más alto de unidades formadoras de colonias, en relación a los demás tratamientos y presento diferencias altamente significativas, según la prueba de Tukey,

seguido del T<sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables) con un total de  $15.00 \times 10^3$  UFC/g, el T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) presento un total de  $9.67 \times 10^3$  UFC/g, no presentando diferencias significativas los dos tratamientos mencionados anteriormente mencionados, el T<sub>4</sub> (Enumeración de fungí Mohos y levaduras) y el T<sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus) presentaron promedios con  $6.33 \times 10^3$  UFC/g y  $1.33 \times 10^3$  UFC/g no presentaron diferencias significativas según la prueba de promedios de Tukey.

La población media de bacterias aerobias viables es equivalente a una población de 104 UFC/g de suelo, los lactobacillus están en el rango de 103 UFC/g de suelo, la población media de actinomicetos se encuentra en un rango de 104 a 105 UFC/g de suelo, los fungi en un rango de 103 UFC/g y la población de fijadores de nitrógeno en un rango de 103 UFC/g suelo. Considerado como suelos con baja población de microorganismos (Paucar, 2019). El T<sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus) presento un total de  $0.67 \times 10^3$  UFC/g unidades formadoras de colonias. Mientras otros autores encontraron presencia de Bacterias celulolíticas con  $4.45 \times 10^{11}$  de UFC \*gr<sup>-1</sup> en muestra de suelo y  $4.76 \times 10^{11}$  de UFC x gr<sup>-1</sup> en muestra de raíz, teniendo mayor presencia en la muestra de raíz, encontraron presencia de Actinomicetos con  $7.37 \times 10^7$  de colonias \*gr<sup>-1</sup> en muestra de suelo y  $1.62 \times 10^7$  de colonias \* gr<sup>-1</sup> en muestra de raíz (Ortiz, 2021). Realizo un estudio en el cual identifico Se determinaron cinco cepas celulolíticas, las cuales tenían la capacidad de producir celulasas con actividades enzimáticas. Demostrándose que con la muestra de la tierra de los humedales se puede encontrar organismos microscópicos con capacidades enzimáticas (Castelblanco et al., 2020). (Gómez & Luna, 2018), las muestras de suelo reflejaron en la época de lluvias datos altos en cuando a la población bacteriana y fungí (expresadas en UFC/g de suelo) de  $183.24 \times 10^2$  y  $96.22 \times 10^2$  respectivamente. En la zona de las raíces de café reflejaron una alta capacidad de fijar nitrógeno, esto gracias a la gran cantidad de bacterias fijadoras, a diferencia de otros cultivos como el cacao y el yacón quienes posean bacterias con alto contenido de ácido indol acético, y el café y papaya (Alvarado, 2021). Durante la investigación se encontró que T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) presento un total de  $9.50 \times 10^3$  UFC/g, otros investigadores encontraron presencia de Fijadores de nitrógeno con  $5.89 \times 10^{11}$  de UFC \*gr<sup>-1</sup> en muestra de suelo y  $4.94 \times 10^{11}$  de UFC \* gr<sup>-1</sup> en muestra de raíz (Ortiz, 2021). Dentro de la identificación de bacterias se encontró a 22 tipos bacterias del suelo rizosférico degradado, 17 bacterias de suelo no rizosférico degradado. Así mismo, observaron a la especie *Athrobacter nitroguajacolicus* (Carbajal, 2019). Una relación valida es que a mayor cantidad de organismos microscópicos a una distancia de

20 cm más será la cantidad de organismos microscópicos anaerobios, hongos y levaduras; y a una distancia de 60 cm de encontraremos los organismos microscópicos aeróbicos (Inga, 2018).

La población media de actinomicetos se encuentra en un rango de  $10^4$  a  $10^5$  UFC/g de suelo, los fungi en un rango de  $10^3$  UFC/g y la población de fijadores de nitrógeno en un rango de 103 UFC/g suelo. Considerado como suelos con baja población de microorganismos (Paucar, 2019).

#### **4.2.2. Grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.**

Durante el desarrollo de los objetos del presente trabajo de investigación se pudo determinar que los datos relacionados a los grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad en el BRUNAS, tal como se observa en la Tabla 18, se pudo determinar que existen diferencias significativas entre los diferentes grupos funcionales, donde se presentó un coeficiente de variabilidad de 7.39%, estos datos nos indican que el índice de dispersión es adecuado para efectuar comparaciones entre los diferentes grupos funcionales de microorganismos, asimismo el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9535$ , este valor nos indica que el 95.35% de los valores encontrados en las variables estudiadas son explicadas como efecto directo de los tratamientos estudiados y el 4.65% de los datos está afectado por otros factores que no pudieron ser controlados por el investigador.

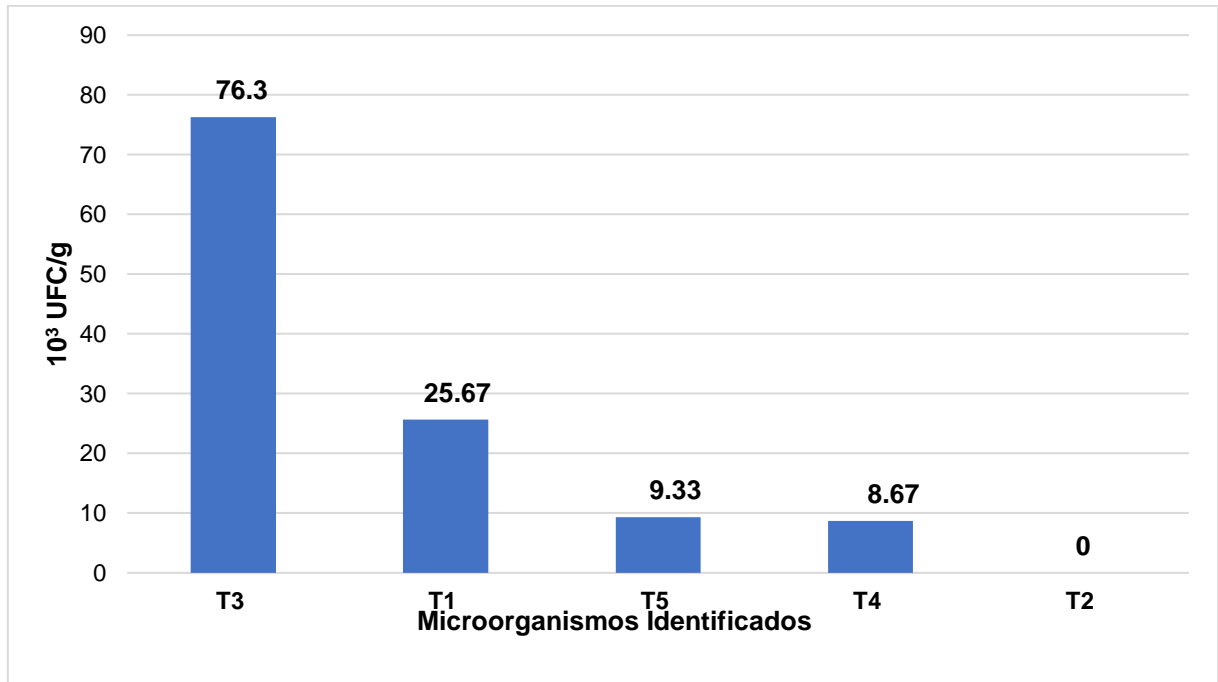
Los datos relacionados a la identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad en el BRUNAS. Se determinó que el T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos) presentó el mayor promedio de  $76.30 \times 10^3$  UFC/g presentando diferencias significativas con los demás tratamientos en estudio, seguido del T<sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables) con un promedio de  $25.67 \times 10^3$  UFC/g, mientras el T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) y el T<sub>4</sub> (Enumeración de fungí Mohos y levaduras) presentaron promedios de  $9.33 \times 10^3$  UFC/g y  $8.67 \times 10^3$  UFC/g no presentaron diferencias significativas según la prueba de promedios de Tukey, en cuanto al T<sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus) no se encontraron unidades formadoras de colonias en las tres muestras evaluadas. La mayoría de los organismos microscópicos fueron encontrados en el suelo de 20 cm, en mayor cantidad los anaerobios (903333 m.o/10g de suelo), mohos y levaduras (90000 m.o/10g de suelo); y los organismos microscópicos aeróbicos fueron encontrados a 60 cm de profundidad (216667 m.o/10g de suelo).

La varianza de los organismos microscópicos está en relación a los microorganismos y al tipo de suelo, notándose una diferencia de estos que guardan relación a la profundidad muestreada. Siendo una de los factores más importantes de esta variación el abono que se puede encontrar (Inga, 2018). La hojarasca encontrada en el fragmento de bosque seco tropical en el departamento de Córdoba que son capaces de propiciar la fijación de nitrógeno, resaltando mayor concentración de estos en el mantillo en comparación con la hojarasca (Aleán, 2020).

**Tabla 6.** Identificación de la abundancia de los grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva, según la prueba de Tukey

| Tratamiento   | Conteo en UFC/g               | Significancia |
|---|-------------------------------|---------------|
| T <sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos).                    | 76.30 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | a             |
| T <sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables). | 25.67 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | b             |
| T <sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno).                | 9.33 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | bc            |
| T <sub>4</sub> (Enumeración de fungí mohos y levaduras).          | 8.67 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | bc            |
| T <sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus).                    | 0.00 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | c             |





**Figura 4.** Abundancia de los grupos funcionales microbianos a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Durante la investigación se encontró que T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno) presentó un total de  $9.50 \times 10^3$  UFC/g, otros investigadores encontraron presencia de Fijadores de nitrógeno con  $5.89 \times 10^{11}$  de UFC \* gr<sup>-1</sup> en muestra de suelo y  $4.94 \times 10^{11}$  de UFC \* gr<sup>-1</sup> en muestra de raíz, teniendo mayor presencia en la muestra de suelo y que fueron superiores a las encontradas por (Ortiz, 2021). En relación al T<sub>4</sub> (Enumeración de fungí Mohos y levaduras), se encontraron el siguiente número de unidades formadoras de colonias con  $7.50 \times 10^3$  UFC/g, los géneros *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp.; *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Sarcina* sp., *Pythium* sp., *Rizhopus* sp. y *Streptomyces* sp. presentes en los órdenes de suelos Entisols, Andisols, Alfisols, Mollisols. El género *Paecilomyces* sp. se encontró en suelos Entisols, Alfisols y Mollisols. *Penicillium* sp. en suelos Entisols, Andisols, Alfisols y a *Trichoderma* sp. en suelos Andisol, Alfisol; *Verticillium* sp. en Andisoles, Entisoles, al género *Torula* sp. en suelo alfisol y molisol; estas están relacionadas a la forma de los organismos microscópicos y a la estructura del suelo (Rocha, 2022).

### 4.3. Correlaciones significativas entre los grupos funcionales que interviene en la fertilidad del suelo.

#### 4.3.1. Correlaciones significativas entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables.

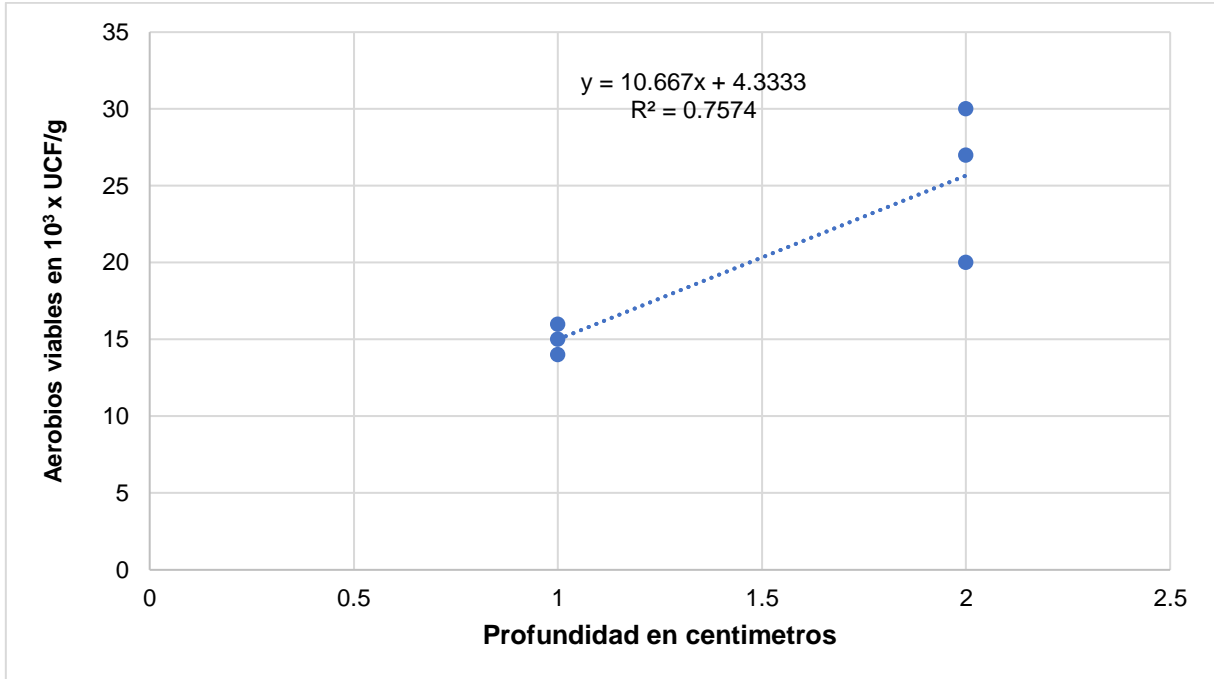
Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.7574$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 75.74% de los tratamientos estudiados, mientras un 24.26% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el gráfico representado por el modelo matemático  $y = 10.667x + 4.3333$ .

Al efectuar el análisis de los datos entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables a dos profundidades, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa, con un índice de correlación de Pearson de 0.87, y una significancia de 0.024, estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables, a mayor profundidad existirá un mayor cantidad de individuos que forman colonias.

**Tabla 7.** Relación entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables.

| <b>Nivel de relación</b> |                              | <b>Aerobios viables</b>    |        |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------|--------|
| <b>Rho de Pearson</b>    | <b>Profundidad del suelo</b> | Coeficiente de correlación | 0.87** |
|                          |                              | Sig. (bilateral)           | 0.024  |
|                          |                              | N                          | 6      |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).



**Figura 5.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la profundidad del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables.

#### **4.3.2. Correlaciones significativas entre el contenido de arena en del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables.**

Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.7129$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 71.29% de los tratamientos estudiados, mientras un 28.71% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el grafico representado por el modelo matemático  $y = 0.4397x - 3.7779$ .

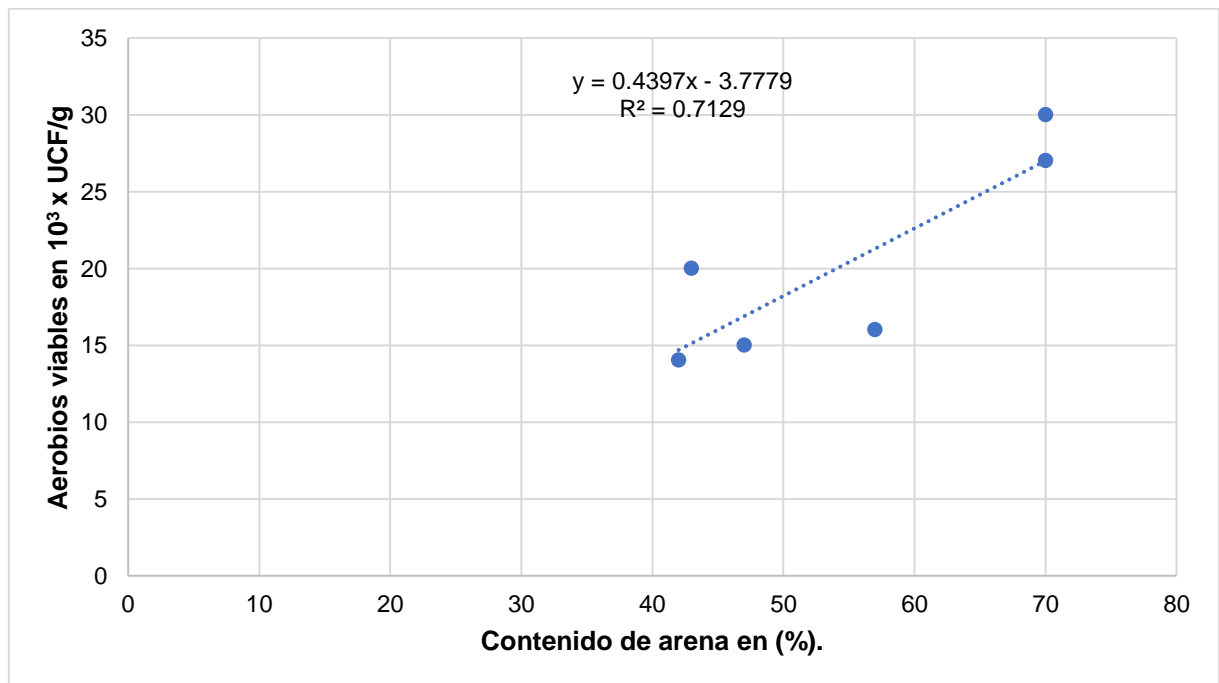
Al efectuar el análisis de los datos entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa con un índice de correlación de Pearson de 0.844, y una significancia de 0.034, estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables, a mayor contenido de arena en porcentaje existirá un mayor número de unidades formadoras de

colonias aerobios viables. En la realización de un análisis de correlación bilateral otros autores no encontrón correlación significativa entre sus variables, pero en relación al cadmio de cacao con un 0.554 y una 0.026 en cuanto a su significancia bilateral (Florida, 2019).

**Tabla 8.** Relación entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables.

| Nivel de relación |                           | Aerobios viables            |          |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|
| Rho de Pearson    | Contenido de arena en (%) | Coefficiente de correlación | 0.8440** |
|                   |                           | Sig. (bilateral)            | 0.034    |
|                   |                           | N                           | 6        |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).



**Figura 6.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de arena del suelo y el número de microorganismos Aerobios viables.

**4.3.3. Correlación significativa entre la profundidad del suelo y el número de lactobacillus.**

Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre la profundidad del suelo y el número de lactobacillus, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.50$  entre ambas variables, este último indicador

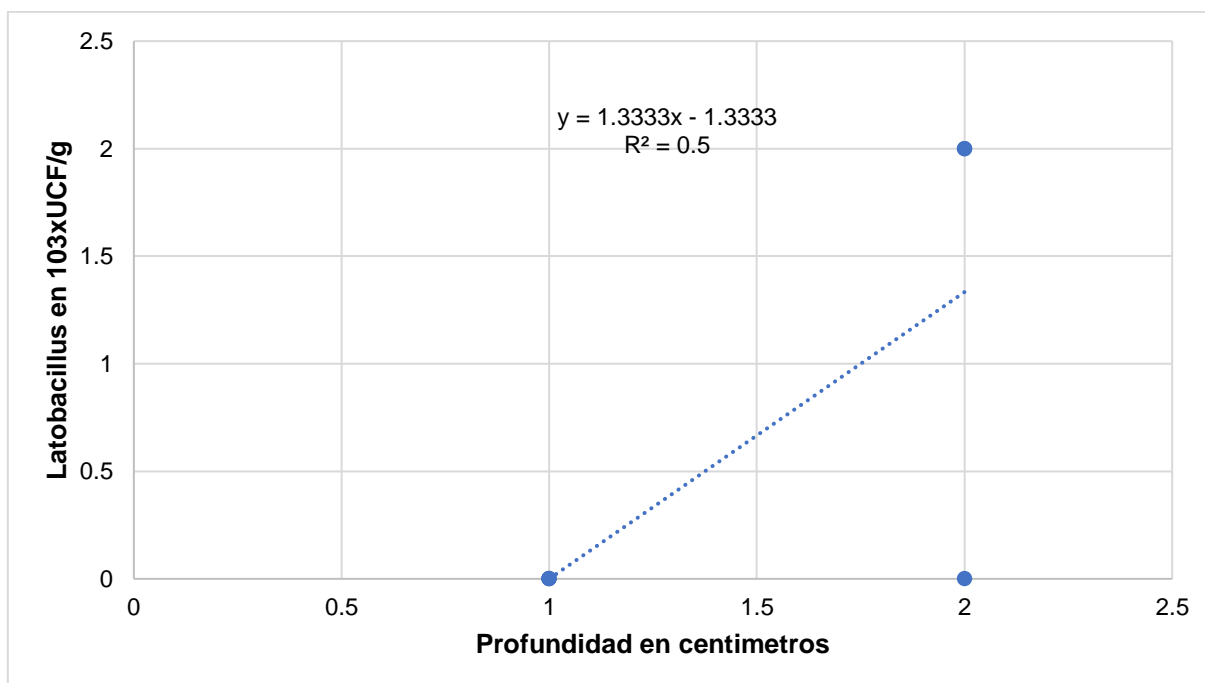
estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 50.00% de los tratamientos estudiados, mientras un 50.00% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el grafico representado por el modelo matemático  $y = 1.3333x - 1.3333$ .

**Tabla 9.** Relación entre la profundidad del suelo y el número de Lactobacillus.

| <b>Nivel de relación</b> |                              | <b>Lactobacillus</b>        |          |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------|
| <b>Rho de Pearson</b>    | <b>Profundidad del suelo</b> | Coefficiente de correlación | 0.7070** |
|                          |                              | Sig. (bilateral)            | 0.016    |
|                          |                              | N                           | 6        |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Al efectuar el análisis de los datos entre la profundidad del suelo y el número de Lactobacillus, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa con un índice de correlación de Pearson de 0.7070, y una significancia de 0.016, estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa entre la profundidad del suelo y el número de Lactobacillus, a mayor profundidad de toma de muestras del suelo existirá un mayor número de unidades formadoras de colonias de lactobacillus.



**Figura 7.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de lactobacillus.

#### 4.3.4. Correlación significativa entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos

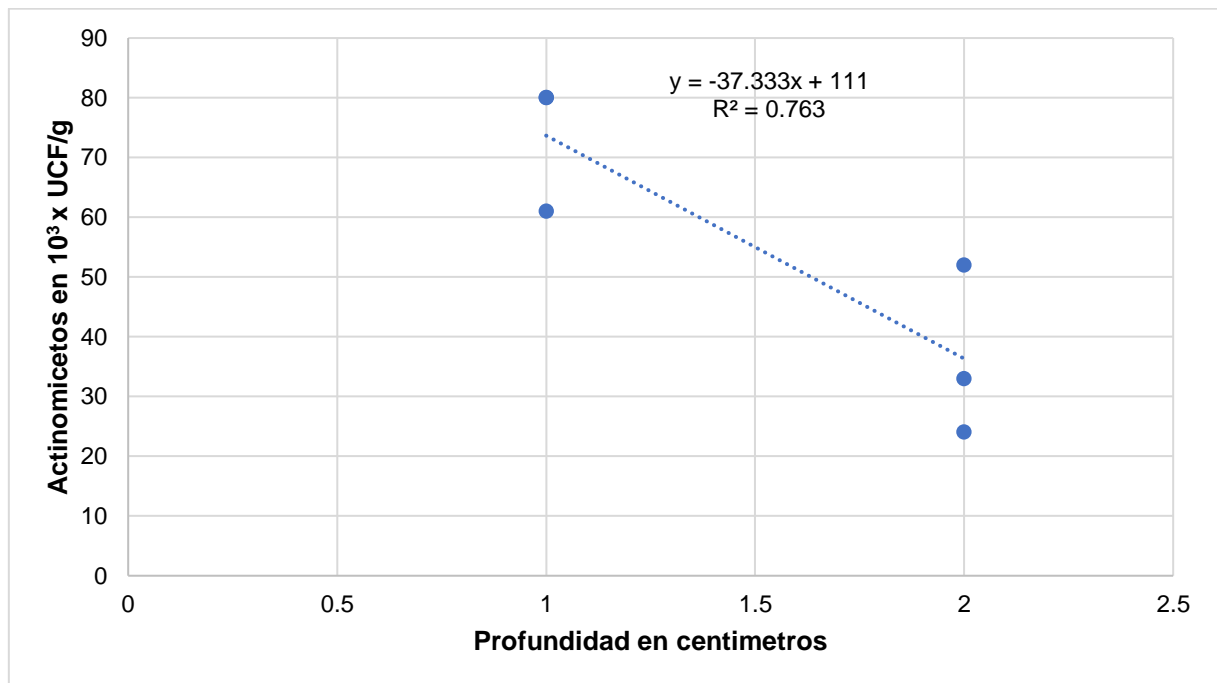
Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.7630$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 76.30% de los tratamientos estudiados, mientras un 23.70% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el gráfico representado por el modelo matemático  $y = -37.333x + 111$ .

Al efectuar el análisis de los datos entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación negativa significativa e inversa con un índice de correlación de Pearson de  $-0.8740$ , y una significancia de  $0.023$ , estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa e inversa entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos, a mayor profundidad de toma de muestras del suelo existirá un menor número de unidades formadoras de colonias de actinomicetos.

**Tabla 10.** Relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos.

| Nivel de relación |                       | Actinomicetoss              |           |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|
| Rho de Pearson    | Profundidad del suelo | Coefficiente de correlación | -0.8740** |
|                   |                       | Sig. (bilateral)            | 0.023     |
|                   |                       | N                           | 6         |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

**Figura 8.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos.

#### 4.3.5. Correlación significativa entre la saturación de aluminio del suelo y el número de colonias de actinomicetos

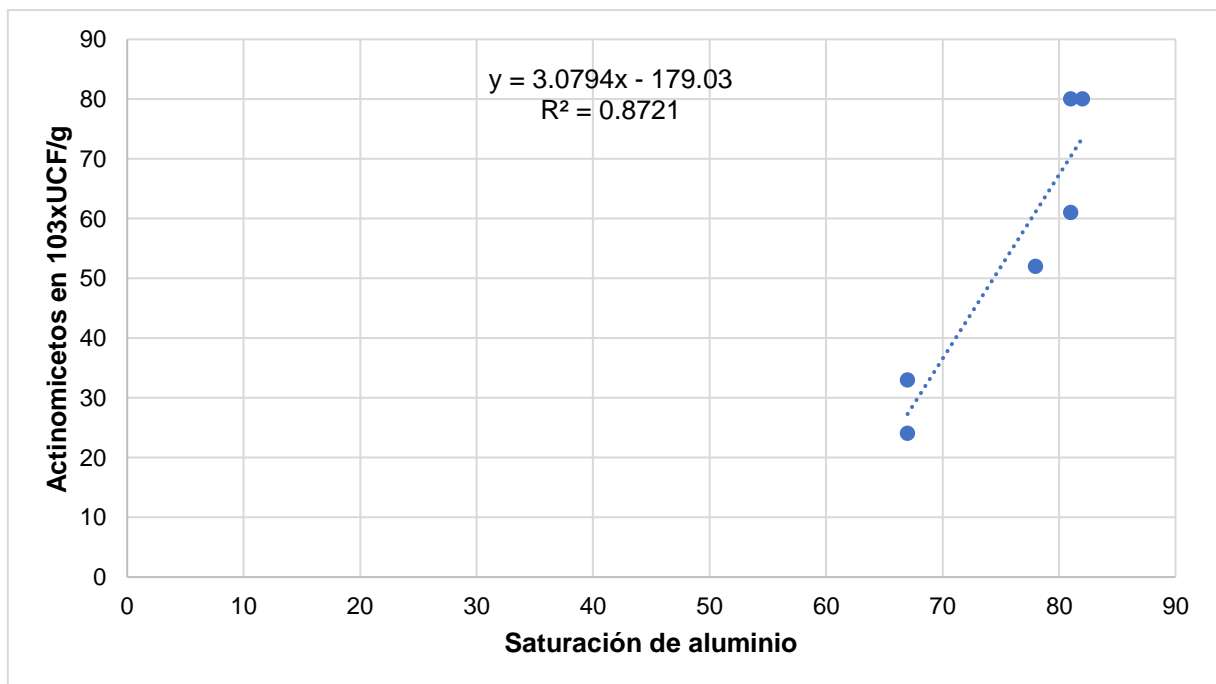
Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre la profundidad del suelo y el número de colonias de actinomicetos, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.8721$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 87.21% de los tratamientos estudiados, mientras un 12.79% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el gráfico representado por el modelo matemático  $y = 3.0794x - 179.03$ .

**Tabla 11.** Relación entre la saturación de aluminio del suelo en porcentaje y el número de colonias de actinomicetos.

| Nivel de relación |                                | Actinomicetos               |          |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| Rho de Pearson    | Saturación de aluminio en (%). | Coefficiente de correlación | 0.9340** |
|                   |                                | Sig. (bilateral)            | 0.006    |
|                   |                                | N                           | 6        |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Al efectuar el análisis de los datos entre la saturación de aluminio del suelo en porcentaje y el número de colonias de actinomicetos, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa con un índice de correlación de Pearson de 0.9340, y una significancia de 0.006, estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa con la saturación de aluminio del suelo en porcentaje y el número de colonias de actinomicetos, a saturación de aluminio existirá un mayor número de unidades formadoras de colonias de actinomicetos.



**Figura 9.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre la saturación de aluminio del suelo en porcentaje y el número de colonias de actinomicetos.



#### 4.3.6. Correlación significativa entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos

Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.6461$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 64.61% de los tratamientos estudiados, mientras un 35.39% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el gráfico representado por el modelo matemático  $y = -0.1462x + 15.519$ .

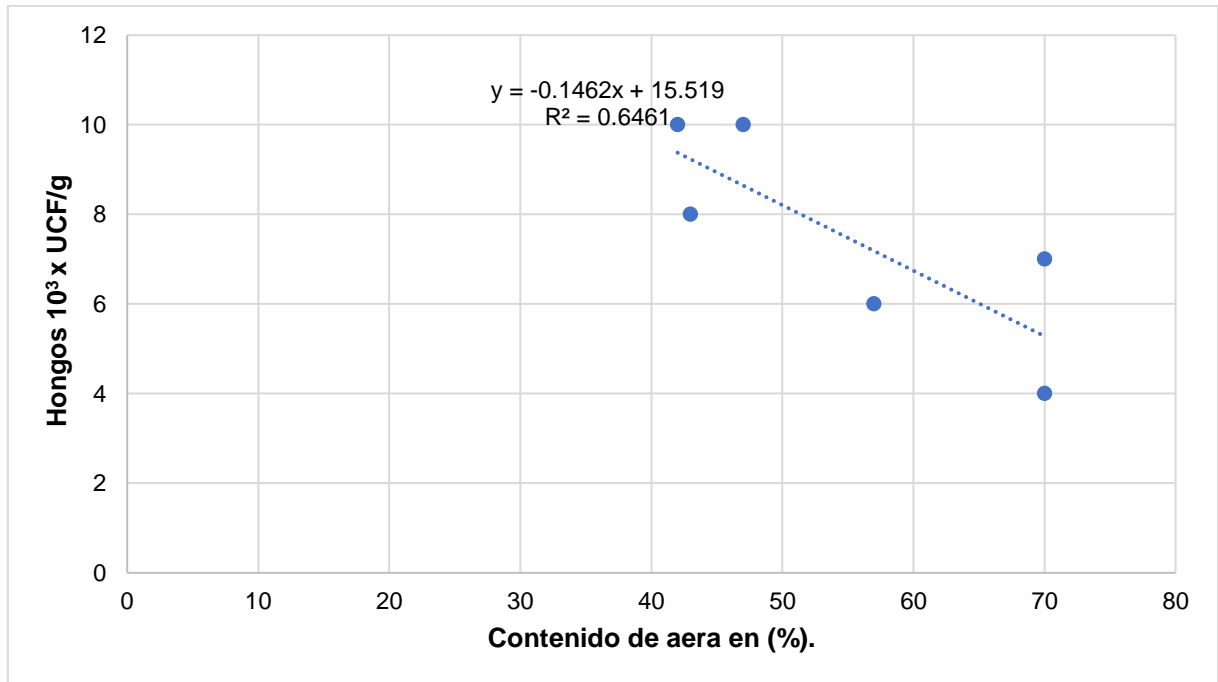
Al efectuar el análisis de los datos entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa e inversa con un índice de correlación de Pearson de  $-0.804$ , y una significancia de  $0.048$ , estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa e inversa con el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos, a mayor contenido de arena existirá un menor número de unidades formadoras de colonias de hongo.

Se identificaron a Zigomycota y Basidiomycota cada uno con dos especies y Ascomycota con 40 especies; 15 fungí filamentosos a nivel de género. Los 29 restantes se consideraron como no tipificadas; la relación con la arena en interacciones de las variables % Arena y UFC's tuvo un coeficiente de correlación de Pearson de  $-0.56$ , el cual indica que ambas variables no tienen relación ( $UFC's = 50560 + 143\% \text{ Arena}$ ) y estadísticamente no es significativa ( $r^2 = 8.6\%$ ;  $p > 0.05$ ) (Pacasa & Serrano, 2017).

**Tabla 12.** Relación entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos.

|                |                            | Nivel de relación |    | Hongoss       |
|----------------|----------------------------|-------------------|----|---------------|
| Rho de Pearson | Contenido de arena en (%). | Coefficiente      | de | $-0.804^{**}$ |
|                |                            | correlación       |    |               |
|                |                            | Sig. (bilateral)  |    | $0.048$       |
|                |                            | N                 |    | $6$           |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).



**Figura 10.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de arena del suelo y el número de colonias de hongos.

#### 4.3.7. Correlación significativa entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos

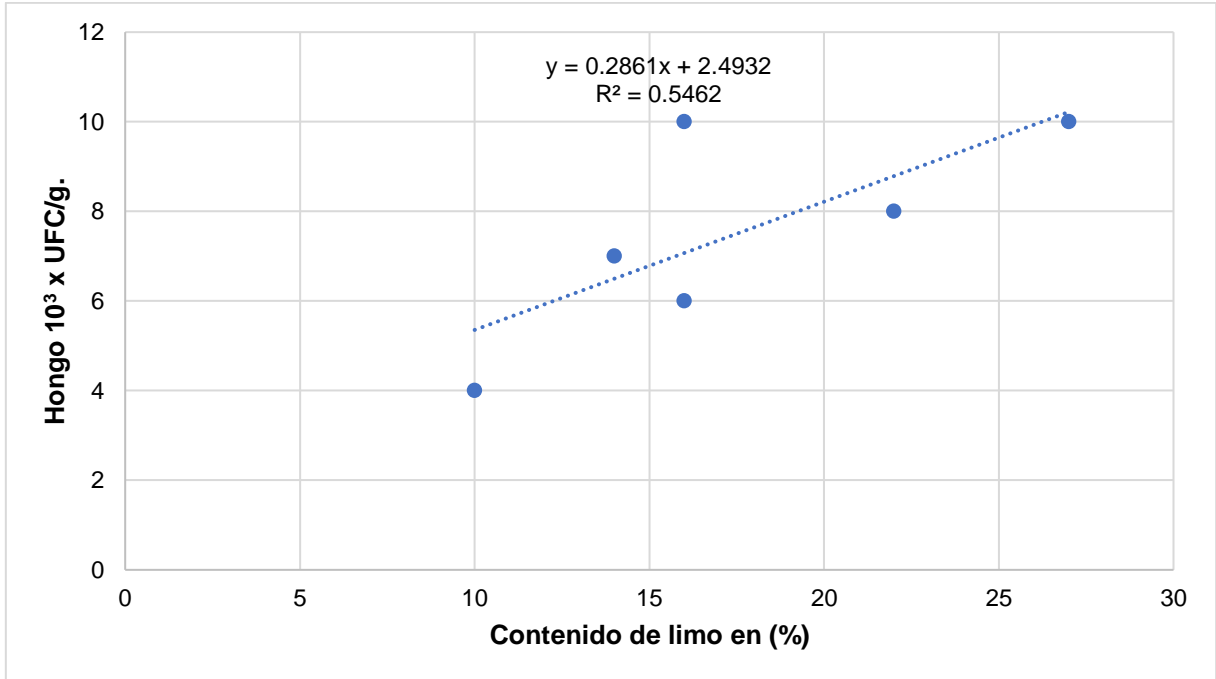
Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.5462$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 54.62% de los tratamientos estudiados, mientras un 45.38% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el gráfico representado por el modelo matemático  $y = 0.2861x + 2.4932$ .

**Tabla 13.** Relación entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos.

|                       |                                  | Nivel de relación          | Hongos  |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|---------|
| <b>Rho de Pearson</b> | <b>Contenido de limo en (%).</b> | Coeficiente de correlación | 0.739** |
|                       |                                  | Sig. (bilateral)           | 0.003   |
|                       |                                  | N                          | 6       |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Al efectuar el análisis de los datos entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa con un índice de correlación de Pearson de 0.7390, y una significancia de 0.003, estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa con el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos, a mayor contenido de limo mayor número de colonias de hongos.



**Figura 11.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de limo del suelo y el número de colonias de hongos.

#### 4.3.8. Correlación significativa entre el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno

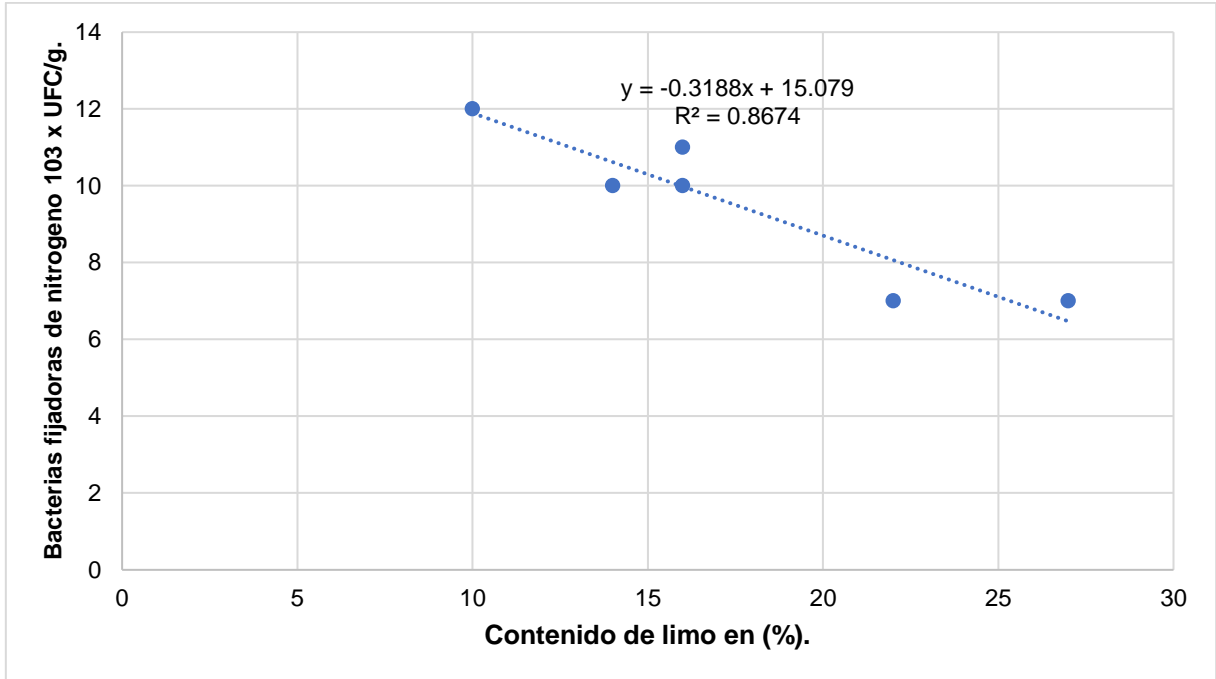
Al efectuar el análisis de los datos de dispersión del nivel de correlación y relación entre el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno, se determinó que existe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.8674$  entre ambas variables, este último indicador estadístico nos indica que el valor de la variable respuesta es explicado por el 86.74% de los tratamientos estudiados, mientras un 13.26% de los datos no presenta una relación y son afectados por otros factores que no son manejados directamente por el investigador, tal como se observa en el gráfico representado por el modelo matemático  $y = 0.2861x + 2.4932$ .

**Tabla 14.** Relación entre el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno.

| <b>Nivel de relación</b> |                                  | <b>Baterías fijadoras de nitrógeno</b> |
|--------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Rho de Pearson</b>    | <b>Contenido de limo en (%).</b> | -0.9310**                              |
|                          |                                  | 0.007                                  |
|                          |                                  | 6                                      |

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Al efectuar el análisis de los datos entre el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno, a un análisis correlacionar, se estableció que existe una correlación significativa e inversa con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.9310, y una significancia de 0.007, estos datos nos indican que existe una relación altamente significativa e inversa con el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno, a mayor contenido de limo existirá un menor número de unidades formadoras de colonias de bacterias fijadoras de nitrógeno. Los organismos bacterianos que tienen la capacidad de fijar nitrógeno y por ende al presentar desarrollo bacteriano bajo el Rennie modificado libre de nitrógeno, refiere que tiene tareas metabólicas que le da la capacidad de utilizar el nitrógeno atmosférico para suplir esta necesidad, por lo tanto, se genera una correlación directa entre la densidad microbiana y el nitrógeno total de los diferentes tratamientos para la tierra de piedemonte llanero del municipio de Cumaral-Meta, siendo esta responsable del 65% de la variabilidad de este nutriente (González & Mora 2019). Obtuvo resultados identificando una relación inversa para bacterias que funcionan en el suelo, las cuáles fueron significativamente altas en el guadual, lo cual refiere la regularidad de la actividad biológica y el adecuado manejo de los nutrientes que se encuentran en la naturaleza (Caicedo & Hinestroza, 2018)



**Figura 12.** Gráfico de dispersión del nivel de relación entre el contenido de limo del suelo y el número de bacterias fijadoras de nitrógeno.

## V. CONCLUSIONES

Se determinó y cuantificó los grupos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La Selva (BRUNAS), donde el T<sub>5</sub> (microorganismos fijadores de nitrógeno), presentaron una mayor abundancia con  $424.00 \times 10^3$  UFC/g, seguido de los microorganismos Celulolíticos con  $328.00 \times 10^3$  UFC/g, amonificadores con  $128.00 \times 10^3$  UFC/g y nitrificadores con  $2.00 \times 10^3$  UFC/g.

En cuanto a la abundancia del T<sub>1</sub> (Enumeración de microorganismos Aerobios viables), que intervienen en la fertilidad del suelo a diez y veinte centímetros de profundidad, se pudo determinar que a mayor profundidad existe una mayor población aerobios viables con un promedio de  $25.67 \times 10^3$  UFC/g, solo siendo superado por el T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos), quien presento un promedio del  $76.30 \times 10^3$  UFC/g, en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

En relación al T<sub>2</sub> (Enumeración de lactobacillus), que intervienen en la fertilidad del suelo a diez y veinte centímetros de profundidad, se pudo determinar que no existe presencia de unidades de colonias formadoras a 20 centímetros con un promedio de 0.00 UFC/g, mientras que a 10 centímetros se encontró un nivel bajo a moderado con un promedio de  $1.33 \times 10^3$  UFC/g de este microorganismo, siendo este tratamientos el que presento la menor población de microorganismos en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, según la prueba de promedio de Tukey.

Los datos relacionados al T<sub>3</sub> (Enumeración de actinomicetos), que intervienen en la fertilidad del suelo a diez y veinte centímetros de profundidad, se pudo determinar que existe una alta presencia de unidades de colonias formadoras a 10 centímetros con un promedio de  $32.30 \times 10^3$  UFC/g, mientras a 20 centímetros se encontró un promedio de  $76.30 \times 10^3$  UFC/g de este microorganismo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, siendo este el microrganismo con mayor presencia según la prueba de Tukey.

En relación a la enumeración de la abundancia del T<sub>4</sub> (Enumeración de fungí mohos y levaduras) y el T<sub>5</sub> (Bacterias fijadoras de nitrógeno), que intervienen en la fertilidad del suelo a diez y veinte centímetros de profundidad, se pudo determinar que existe una mayor presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno a 10 centímetros con un promedio de  $9.67 \times 10^3$  UFC/g, mientras a 20 centímetros se encontró un nivel moderado de hongos y levaduras con un promedio de  $8.67 \times 10^3$  UFC/g por muestra tomada en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, según la prueba de Tukey.

En cuanto al nivel de relación entre la abundancia de los grupos funcionales y las características físico químicas del suelo, se pudo determinar que existe correlaciones significativas, altamente significativas e inversas entre la profundidad de la toma de muestra y el número de colonias formadoras, aerobios viables, actinomicetos, en relación a las características físicas y químicas del suelo se encontró relación con el contenido de arena, saturación de aluminio en porcentaje y el contenido de limo con un índice de correlación de Pearson de 0.87, 0.707, 0.9340 y correlaciones significativas e inversas con un índice de correlación de Pearson de -0.804 y -0.9310.



## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

El bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva es un área y centro de investigación necesario para el desarrollo de la región y el país, las poblaciones de microorganismos que se encuentran son muy variable y en los últimos años el cambio climático a generado una presión significativa en las poblaciones de estos microorganismos debido a los cambios en las características edafoclimáticas que se correlacionan con los diferentes factores socioeconómicos que a corto y mediano plazo generan una mayor presión social en esta área.

Como una propuesta a corto, mediano y largo plazo se ha propuesto seguir realizando estudios interdisciplinarios e interinstitucionales en este lugar haciendo énfasis en la interrelación de estos microorganismos pero haciendo evaluaciones a 10, 20, 30, 40 y 50 centímetros de profundidad ya que se ha determinado la presencia de diferentes grupos funcionales de microorganismos a diferentes profundidades e incluso si existe presencia de monocultivos y/o agroforestería estos van a presentar variaciones en sus poblaciones ya que las condiciones e interacciones son completamente diferentes.

La información que se obtenga es relevante para los profesionales de las ciencias agrarias, forestales, ambientales y biológicas ya que permitirá tener un mejor entendimiento de la dinámica de los microorganismos funcionales del suelo, bosque y condiciones climatológicas en el tiempo, permitiendo a los profesionales presentar planes de manejo integrados con mucha mas información relevante para la correcta toma de decisiones, teniendo en consideración a las poblaciones de los grupos de microorganismos funcionales microbianos que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), utilizando diferentes técnicas de identificación y cuantificación de microorganismos para determinar de forma más exacta las poblaciones presentes en este tipo de ecosistema y su importancia en el desarrollo sostenible de las diferentes actividades productivas del hombre.

## VII. REFERENCIAS

- Abbasi, M. K., Shah, Z., & Adams, W. A. (2001). Mineralization and nitrification potentials of grassland soils at shallow depth during laboratory incubation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(5), 497-502.
- Abril, A. (2003). ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología austral*, 13(2), 195-204.
- Aleán Flórez, J. M. (2020). Diversidad de bacterias con capacidad fijadora de nitrógeno asociadas a la hojarasca en un fragmento de bosque seco tropical Montería-Córdoba.
- Alvarado Ibáñez, J. C. (2021). Bacterias con potencial biofertilizante asociadas a la rizosfera de cultivos vegetales de importancia económica en la región Amazonas.
- Álvarez Vera, M. S. (2018). Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay–Ecuador y su influencia en el cultivo de fresa.
- Antoun, H., & Prévost, D. (2005). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In *PGPR: biocontrol and biofertilization* (pp. 1-38). Springer, Dordrecht.
- Azeez, J. O., & Van Averbek, W. (2010). Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource technology*, 101(14), 5645-5651.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcon, R., & Azcon-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 56(417), 1761-1778.
- Bashan Y, de-Bashan LE. (2005). Bacteria/Plant growth-promotion. In: Hillel D, editor. *Encyclopedia of soils in the environment*. Oxford, UK, Elsevier, 2005, Volume 1, p. 103-15.
- Běhal, V. (2000). Bioactive products from *Streptomyces*.
- Bergey, J.; Hendriks, D. and Holt, J. (2000). *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Sneathy Stanley, J. T. (Eds.). Ed. The Williams and Wilkins Co. Philadelphia. 787 p.
- Betina, V. (1994). Microbial metabolites affecting plant growth and metabolism. Bioactive secondary metabolite of microorganism, 192-208.
- Biederbeck, V. O., Zentner, R. P., & Campbell, C. A. (2005). Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(10), 1775-1784.

- Burgos, J. (1955). Posibilidades de la repoblación natural y semiartificial del tornillo *Cedrelinga cateniformis* Ducke, en Tingo María. Boletín Trimestral de la Estación Experimental Agrícola de Tingo María.
- Caicedo Cuero, H., & Hinestroza Vásquez, J. C. (2018). Abundancia de grupos funcionales de microorganismos del suelo bajo cuatro sistemas de manejo agroecosistémico del municipio de Palmira (Valle del Cauca).
- Calderoli, P. A. (2016). Análisis de las poblaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno del suelo aplicando procedimientos metagenómicos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Carbajal Cuadros, L. N. (2019). DIVERSIDAD BACTERIANA DE LA RIZÓSFERA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) CULTIVADA EN SUELO FERTIL Y DEGRADADO.
- Cassán, F. D., & Garcia de Salamone, I. (2008). *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología.
- Castelblanco, E. M. S., Martín, J. P. H., Morales, S. M. B., & Rodríguez, J. P. M. (2020). Aislamiento e identificación de microorganismos potencialmente amilolíticos y celulolíticos de suelos de humedales de Bogotá. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), 36-44.
- Contreras-Santos, J. L., Martinez-Atencia, J., Cadena-Torres, J., Novoa-Yanez, R. S., & Tamara-Morelos, R. (2020). Una evaluación de las propiedades fisicoquímicas de suelo en sistema productivo de maíz-algodón y arroz en el Valle del Sinú en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2).
- Correa, O. (2013). Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal. Aportes de la microbiología a la producción de los cultivos. Editorial de la Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina, 1-11.
- Crawford, D. L., Lynch, J. M., Whipps, J. M., & Ousley, M. A. (1993). Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a fungal root pathogen. *Applied and environmental microbiology*, 59(11), 3899-3905.
- Dávila Medina, M. D., Gallegos Morales, G., Hernández Castillo, F. D., Ochoa Fuente, Y. M., & Flores Olivas, A. (2013). Antagonistic actinomycetes against phytopathogenic fungi of agricultural importance. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(8), 1187-1196.

- Díaz Ramírez, M. A., & Díaz Marín, J. E. (2019). Evaluación microbilogica de la calidad del suelo en cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando como indicadores grupos funcionales microbianos.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, 15(1), 3-11.
- Dugan. (2004.). Biodiversidad de Hongos: Inventario y Métodos de Monitoreo, Mueller, GM, GF Bills, y MS Foster eds., Elsevier Academic Press, Amsterdam. Amsterdam.
- Echeverry Hernández, S., & Méndez Puentes, C. A. (2017). Estudio exploratorio de la microbiota edáfico en el Centro de Investigación y Educación Ambiental La Tribuna, Neiva-Huila Exploratory study of the edaphic microbiota at the La Tribuna Environmental Education and.
- Ezziyyani, M., Sánchez, C. P., Requena, M. E., Rubio, L., & Castillo, M. E. C. (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei*–Ziyani–, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. In *Anales de Biología* (No. 26, pp. 61-68). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Filip, Z. (2002). International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 169-174.
- Filippini, M. F., Abril, A., Cony, M. A., Noe, L., Venier, M., Cónsoli, D., & Vallone, R. C. (2012). Effects of organic amendment application on soil quality and garlic yield in central-western Argentina. *Bentham Open*.
- Florez, P. A., Castillo Guerra, D. A., & Viteri Rosero, S. E. (2016). Capacidad y diversidad de bacterias celulolíticas aisladas de tres hábitats tropicales en Boyacá, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(4), 362-367.
- Florida Rofner, N., Paucar García, H. J., Jacobo Salinas, S. S., Escobar Mamani, F., & Torres García, J. (2019). Efecto de compost y NPK sobre los niveles de microorganismos y cadmio en suelo y almendra de cacao. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4), 264-273.
- Franco-Correa, M. (2009). Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. *Revista Peruana de Biología*, 16(2), 239-242.
- Franco-Correa, M., Quintana, A., Duque, C., Suarez, C., Rodríguez, M. X., & Barea, J. M. (2010). Evaluation of actinomycete strains for key traits related with plant growth promotion and mycorrhiza helping activities. *Applied Soil Ecology*, 45(3), 209-217.

- Gaitán Bohórquez, D. M., & Pérez Pérez, L. I. (2016). Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*).
- Gaitán, D., & Pérez, L. (2007). Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana, 29-30.
- García de Salamone IE, Cassan FD. (2010). Taller Internacional sobre Rizosfera, Biodiversidad y Agricultura Sustentable. Buenos Aires, Argentina, Asociación Argentina de Microbiología, 2010.
- García de Salamone, I. E. (2011). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista argentina de microbiología*, 43(1), 1-3.
- Garg, N., & Chandel, S. (2011). Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. In *Sustainable agriculture volume 2* (pp. 907-930). Springer, Dordrecht.
- Gomez, E., Ferreras, L., & Toresani, S. (2006). Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresource technology*, 97(13), 1484-1489.
- Gómez-Reyes, J. A., & Luna-Fontalvo, J. A. (2018). Grupos funcionales microbianos en suelos contaminados con toxafeno en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Luna Azul*, (47), 98-113.
- González Martínez, C. C., & Mora Alonso, N. X. (2019). Evaluación del potencial de crecimiento de bacterias diazotróficas en un suelo del piedemonte llanero contaminado artificialmente con diésel.
- Graham, P. H. (1999). Biological dinitrogen fixation: symbiotic. p. 322-368. In: Sylvia, D.; Fuhrmann J.; Hartel, P. and Zuberer, D., eds. *Principles and applications of soil microbiology*. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall. 550 p.
- Grandy, A. S., Robertson, G. P., & Thelen, K. D. (2006). Do productivity and environmental trade-offs justify periodically cultivating no-till cropping systems?. *Agronomy Journal*, 98(6), 1377-1383.
- Griffiths, B. S., Bonkowski, M., Roy, J., & Ritz, K. (2001). Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts. *Applied Soil Ecology*, 16(1), 49-61.
- Grigorevski, A., Nascimento, R., Bonb, E., & Coelho, R. (2005). *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production usin Diana Gaitán. Liliana Pérez.

- Guzmán Estrada, E. A. (2012). Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo a partir de cuatro suelos de la provincia de Chimborazo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Hayat et al. (2010). la promoción del suelo, entre ellas, ayudan a solubilizar fosfato mineral y otros nutrientes, aumentan la resistencia de la ... reducción de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos. Recuperado: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/36956/46411](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/36956/46411).
- He, Z., & Zhang, H. (Eds.). (2014). Applied manure and nutrient chemistry for sustainable agriculture and environment. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Huallpa Aro, R. (2018). Universidad Nacional Del Altiplano Tesis. Factores Que Influyen En El Inicio De Relaciones Sexuales En Los Adolescentes De La Institución Educativa Secundaria Independencia Nacional Puno, 2017, 113. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8494>.
- Huang, C. C., & Chen, Z. S. (2009). Carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge compost in soils with a different initial pH. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55(5), 715-724.
- Inga Auccapiña, K. (2018). Variabilidad de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en dos sistemas de uso de suelo en Tingo María.
- Innerebner, G., Knapp, B., Vasara, T., Romantschuk, M., & Insam, H. (2006). Traceability of ammonia-oxidizing bacteria in compost-treated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5), 1092-1100.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos, sexta edición. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá. 648p.
- Jackson, L. E., Calderon, F. J., Steenwerth, K. L., Scow, K. M., & Rolston, D. E. (2003). Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. *Geoderma*, 114(3-4), 305-317.
- Jaizme-Vega, M. D. C., & Rodríguez-Romero, A. S. (2008). Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrícicos y bacterias izosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología*, Vol 3,(2008).
- Jin, T., Zhang, T., & Yan, Q. (2010). Characterization and quantification of ammonia-oxidizing archaea (AOA) and bacteria (AOB) in a nitrogen-removing reactor using T-RFLP and qPCR. *Applied microbiology and biotechnology*, 87(3), 1167-1176.
- Joe, H. (1997). Multivariate models and multivariate dependence concepts. CRC press.

- Junier, P., Kim, O. S., Molina, V., Limburg, P., Junier, T., Imhoff, J. F., & Witzel, K. P. (2008). Comparative in silico analysis of PCR primers suited for diagnostics and cloning of ammonia monooxygenase genes from ammonia-oxidizing bacteria. *FEMS microbiology ecology*, 64(1), 141-152.
- Kaleem Abbasi, M., Hina, M., Khalique, A., & Razaq Khan, S. (2007). Mineralization of three organic manures used as nitrogen source in a soil incubated under laboratory conditions. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(13-14), 1691-1711.
- Kloepper, J. W., Schroth, M. N., & Miller, T. D. (1980). Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology*, 70(11), 1078-1082.
- Klotz, M. G., & Stein, L. Y. (2008). Nitrifier genomics and evolution of the nitrogen cycle. *FEMS microbiology letters*, 278(2), 146-156.
- Lejon, D. P., Sebastia, J., Lamy, I., Chaussod, R., & Ranjard, L. (2007). Relationships between soil organic status and microbial community density and genetic structure in two agricultural soils submitted to various types of organic management. *Microbial ecology*, 53(4), 650-663.
- Li, X. (1997). *Streptomyces cellulolyticus* sp. nov., a new cellulolytic member of the genus *Streptomyces*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 47(2), 443-445.
- Lu, L., Han, W., Zhang, J., Wu, Y., Wang, B., Lin, X., ... & Jia, Z. (2012). Nitrification of archaeal ammonia oxidizers in acid soils is supported by hydrolysis of urea. *The ISME Journal*, 6(10), 1978-1984.
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews*, 66(3), 506-577.
- Martínez, L. (2011). Efecto de aplicación de abonos orgánicos sobre las características físicoquímicas y microbiológicas de suelos bajo cultivo de vid en Mendoza. Universidad de Buenos Aires.
- Martinez, L. E., Vallone, R. C., & Pino, M. M. (2018). Variación temporal de indicadores microbiológicos y químicos de suelo árido regadío incubado con abonos orgánicos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(2), 39-47.
- Matsumoto, L. S., Martines, A. M., Avanzi, M. A., Albino, U. B., Brasil, C. B., Saridakis, D. P., ... & Andrade, G. (2005). Interactions among functional groups in the cycling of,

- carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees. *Applied Soil Ecology*, 28(1), 57-65.
- Monsalve-C, O. I., Gutiérrez-D, J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200-209.
- Omar, N. B., Merroun, M. L., Peñalver, J. M. A., & Muñoz, M. T. G. (1997). Comparative heavy metal biosorption study of brewery yeast and *Myxococcus xanthus* biomass. *Chemosphere*, 35(10), 2277-2283.
- Ortiz Fierro, A. M. (2021). Análisis de consorcios bacterianos y grupos funcionales asociados a la rizosfera de la papa (*Solanum tuberosum*), Var. leona blanca en el piso altitudinal a 3400 msnm. Cotopaxi 2021 (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Oskay, A. M., Üsame, T., & Cem, A. (2004). Antibacterial activity of some actinomycetes isolated from farming soils of Turkey. *African journal of Biotechnology*, 3(9), 441-446.
- Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.). *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola* (pp. 43-71). Colombia: Canifé-FNC.
- Pacasa-Quisbert, F., Loza-Murguía, M. G., Bonifacio-Flores, A., VINO-NINA, L., & Serrano-Canaviri, T. (2017). Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K iphak iphani, Comunidad Choquenaira-Viacha. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 2-25.
- Pascual, J. A., García, C., Hernández, T., & Ayuso, M. (1997). Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biology and Fertility of soils*, 24(4), 429-434.
- Paucar García, H. J. (2019). Efecto del compost y NPK en la población de grupos microbianos y en la producción de cacao (*Theobroma Cacao* L.), en Padre Abad-Ucayali, 2018.
- Paul, E. A. (2006). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Google eBook).
- Paul, E. A. (2007). Soil microbiology, ecology, and biochemistry in perspective. In *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (pp. 3-24). Academic Press.
- Paul, E. A., & Clark, F. E. (1989). Occurrences and distribution of soil organics. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, San Diego, 81-84.
- Pita, F. S. (1996). Correlación frente a la Causalidad. *Jano*, 4, 59-260.



- Plaza, C., Hernandez, D., Garcia-Gil, J. C., & Polo, A. (2004). Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10), 1577-1585.
- Prashith, K.; Shobha, K. S. and Onkarappa, R. 2010. Fascinating diversity and potent biological activities of Actinomycete metabolites. *J. Pharmacy Res.* 3:250-6.
- Ramírez, P., & Cocha, J. M. (2003). Degradación enzimática de celulosa por actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica. *Revista peruana de biología*, 10(1), 67-77.
- Red de Control de Calidad de Inoculantes. (2006). Control de Calidad de Inoculantes en Leguminosas. Documento de Procedimientos N° 1. Subcomisión de Microbiología Agrícola y Ambiental (SMAYA), Asociación Argentina de Microbiología, 2006. Buenos Aires, Argentina.
- Red de Control de Calidad de Inoculantes. (2010). Control de Calidad de Inoculantes que contienen *Azospirillum*. Documento de Procedimientos No 2. División de Microbiología Agrícola y Ambiental (DIMAYA), Asociación Argentina de Microbiología, 2010. Buenos Aires, Argentina.
- Reed, E., & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, 86(1), 1-25.
- Restrepo, L. F., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183-192.
- Ríos Velásquez, E. A. (2019). Densidad y diversidad biológica en sistemas de uso del suelo en palo de acero, Distrito de Monzón.
- Rocha Matus, A. B., & Torrez Martinez, A. A. (2022). Microbiología funcional en diez agroecosistemas con diferentes ordenes de suelo y manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional, Nicaragua, 2021 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
- Rodríguez, S., Videla, C., Zamuner, E. C., Picone, L. I., Pose, N. N., & Maceira, N. O. (2015). Cambios en propiedades químicas de un suelo Molisol de la Región Pampeana argentina con diferente historia de manejo. *Chil. J. Agric. Anim. Sci*, 31, 137-148.
- Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., & Clarenc Aarland, R. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 333–345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>

- Rosero Gómez, C. A. (2022). Abundancia, actividad microbiana y su relación con los servicios ecosistémicos asociados al suelo en un gradiente de intensidad de uso de la tierra, en la parroquia La Esperanza, provincia de Pichincha–Ecuador (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Sabahi, H., Veisi, H., Soufizadeh, S., & Asilan, K. S. (2010). Effect of fertilization systems on soil microbial biomass and mineral nitrogen during Canola (*Brassica napus* L.) development stages. *Communications in soil science and plant analysis*, 41(14), 1665-1673.
- Sánchez Rodríguez, M. (2015). Análisis físico químico de suelos. Tingo María.
- Sánchez-Yáñez, J. M., Villegas, M. J., & Márquez, B. L. (2007). El papel de los actinomicetos en la agricultura. Laboratorio de Microbiología Ambiental. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas. Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Monografía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Semêdo, L. T. A. S., Gomes, R. C., Linhares, A. A., Duarte, G. F., Nascimento, R. P., Rosado, A. S., ... & Coelho, R. R. R. (2004). *Streptomyces drozdowiczii* sp. nov., a novel cellulolytic streptomycete from soil in Brazil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(4), 1323-1328.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2015), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Recuperado en noviembre del 2021: Lima, Perú.
- Shah, Z., Ahmad, S. R., & Rahman, H. U. (2010). Soil microbial biomass and activities as influenced by green manure legumes and N fertilizer in rice-wheat system. *Pak. J. Bot*, 42(4), 2589-2598.
- Tognetti, C., Mazzarino, M. J., & Laos, F. (2008). Compost of municipal organic waste: Effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2290-2296.
- Tokala, R. K., Strap, J. L., Jung, C. M., Crawford, D. L., Salove, M. H., Deobald, L. A., ... & Morra, M. J. (2002). Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and environmental microbiology*, 68(5), 2161-2171.
- Torres, M. V., & Lizarazo, L. M. (2006). Evaluación de grupos funcionales (ciclo del C, N, P) y actividad de la fosfatasa ácida en dos suelos agrícolas del departamento de Boyacá (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 317-325.

- Torres, P.; Abril, A.; Bucher, E. 2005. Microbial succession in litter decomposition in the semi-arid chaco woodland. *Soil Biol. Biochem.* 37 (1): 49-54.
- Torsvik, V., Øvreås, L., & Thingstad, T. F. (2002). Prokaryotic diversity--magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science*, 296(5570), 1064-1066.
- Valle, F. M., Castellari, C., Andreoli, Y., Delfino, A. D., & Picone, L. (2022). Microbiota edáfico cultivable según usos del suelo en el sudeste bonaerense. *Agronomía & Ambiente*, 42(1).
- Vallone, R. C., Vila, H. F., Martinez, L. E., Filippini de Zuluaga, M. F., Cony, M., & Abril, A. (2008). Efectos de la aplicación de compost y vermicompost sobre la producción y crecimiento vegetativo en vid. In Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 21. 2008 05 13-16, 13-16 de mayo de 2008. Potrero de los Funes, San Luis. AR.
- van Diepeningen, A. D., de Vos, O. J., Korthals, G. W., & van Bruggen, A. H. (2006). Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. *Applied soil ecology*, 31(1-2), 120-135.
- Verhagen, H. Duyts, and H. J. Laanbroek, (1992). "Competition for Ammonium between Nitrifying and Heterotrophic Bacteria in Continuously Percolated Soil Columns," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 58, no. 10, pp. 3303–3311, Oct. 1992
- Vitousek, P. M., Menge, D. N., Reed, S. C., & Cleveland, C. C. (2013). Biological nitrogen fixation: rates, patterns and ecological controls in terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130119.
- Wadsworth, F. 2000. Producción forestal para América Tropical. IUFRO-SPDC Textbook Proyecto N° 3 U.S. Dpet. Af. Agriculture. Forest Service. Washington, DC. 563 pp.
- Zamora-Figueroa, A., Malaver, N., & Hernández-Valencia, I. (2021). DIVERSIDAD FUNCIONAL MICROBIANA Y BIOGEOQUÍMICA EN LA PLANICIE DE INUNDACIÓN DEL RÍO MAPIRE (ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA). *ACTA BIOLOGICA VENEZUELICA*, 41, 1.
- Zehr, J. P., Jenkins, B. D., Short, S. M., & Steward, G. F. (2003). Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. *Environmental microbiology*, 5(7), 539-554.
- Zhang, J., Wu, P., Hao, B., & Yu, Z. (2011). Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by the bacterium *Pseudomonas stutzeri* YZN-001. *Bioresource technology*, 102(21), 9866-9869.

## ANEXOS

**Tabla 15.** Análisis de la Identificación de la abundancia los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).

| <b>F. V</b>         | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>FC</b> | <b>Pr&gt;F</b> |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 3         | 327801    | 109267    | 505.87    | 0.000          |
| <b>Error</b>        | 8         | 1728      | 216       |           |                |
| <b>Total</b>        | 11        | 329529    |           |           |                |

R<sup>2</sup> = 98.82; C.V. = 0.1471

**Tabla 16.** Análisis los grupos funcionales microbianos encontrados a dos profundidades que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).

| <b>F. V</b>         | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>FC</b> | <b>Pr&gt;F</b> |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 4         | 5386.4    | 1346.61   | 49.69     | 0.001          |
| <b>Error</b>        | 10        | 271.0     | 27.10     |           |                |
| <b>Total</b>        | 14        | 5657.4    |           |           |                |

R<sup>2</sup> = 93.29; C.V. = 0.0521

**Tabla 17.** Análisis los grupos funcionales microbianos encontrados a 10 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).

| <b>F. V</b>         | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>FC</b> | <b>Pr&gt;F</b> |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 4         | 1708.3    | 427.07    | 5.17      | 0.016          |
| <b>Error</b>        | 10        | 826.7     | 82.67     |           |                |
| <b>Total</b>        | 14        | 2534.9    |           |           |                |

R<sup>2</sup> = 67.39; C.V. = 0.09092

**Tabla 18.** Análisis los grupos funcionales microbianos encontrados a 20 centímetros de profundidad que intervienen en la fertilidad del suelo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria De La selva (BRUNAS).

| <b>F. V</b>         | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>FC</b> | <b>Pr&gt;F</b> |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 4         | 11198.9   | 2799.73   | 51.28     | 0.007          |
| <b>Error</b>        | 10        | 546.0     | 54.60     |           |                |
| <b>Total</b>        | 14        | 11744.9   |           |           |                |

$R^2 = 95.35$ ; C.V. = 0.0739



**Figura 13.** Medición de la profundidad del suelo a 20 centímetros previo a la toma de muestra para determinar la población de los grupos funcionales microbianos.





**Figura 14.** Medición de la profundidad del suelo a 10 centímetros previo a la toma de muestra para determinar la población de los grupos funcionales microbianos.



**Figura 15.** Georreferenciación del punto tres del área de trabajo previa a la toma de muestra de suelo.





**Figura 16.** Georreferenciación del punto inicial del área de trabajo previa a la toma de muestra de suelo.



**Figura 17.** Toma de muestra a 20 centímetros de profundidad en un suelo arenoso para determinar la población de los grupos funcionales microbianos.

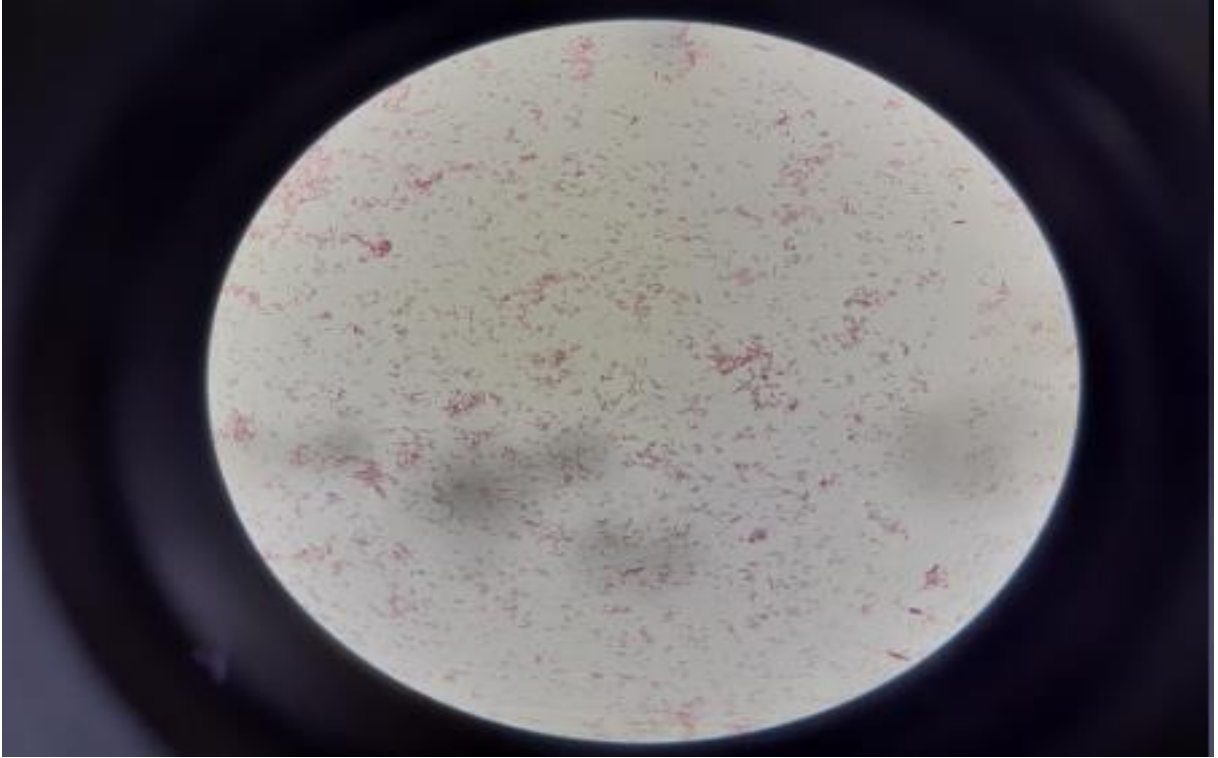


**Figura 18.** Análisis de laboratorio para el cumplimiento de los objetivos.

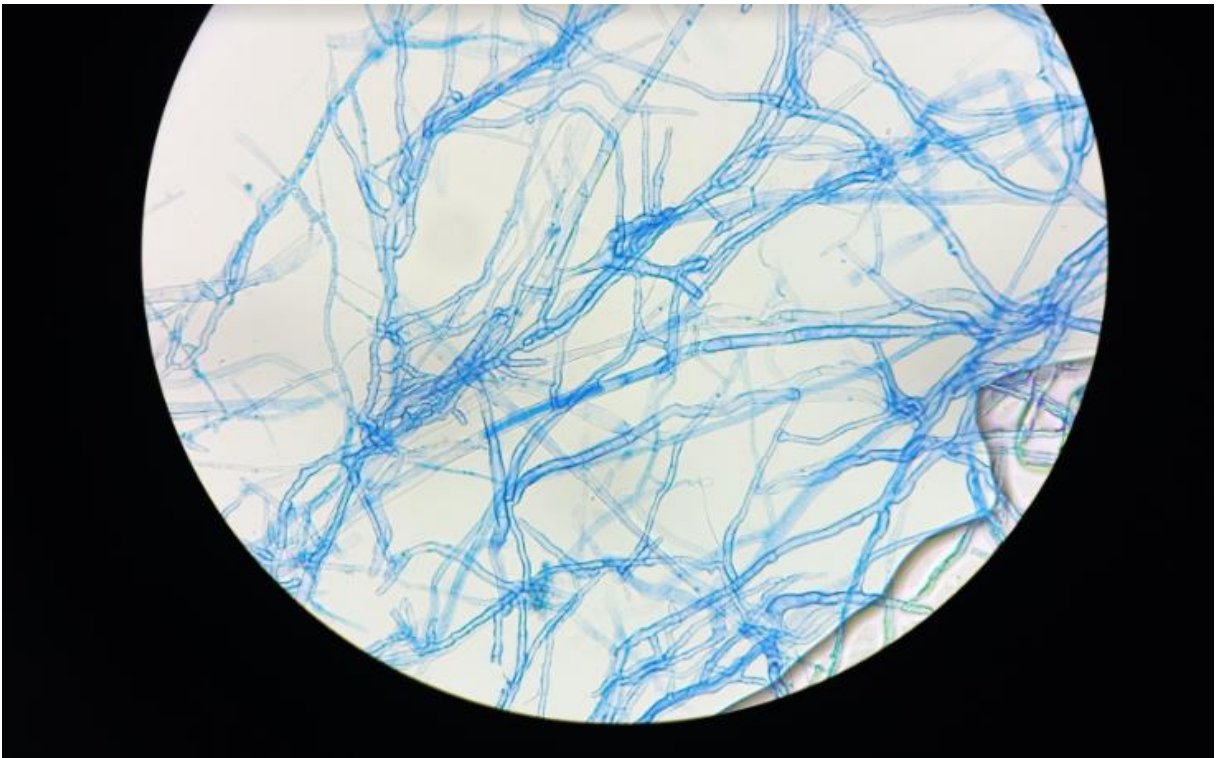


**Figura 19.** Mullido de muestra de suelos para los análisis de suelo según muestra.

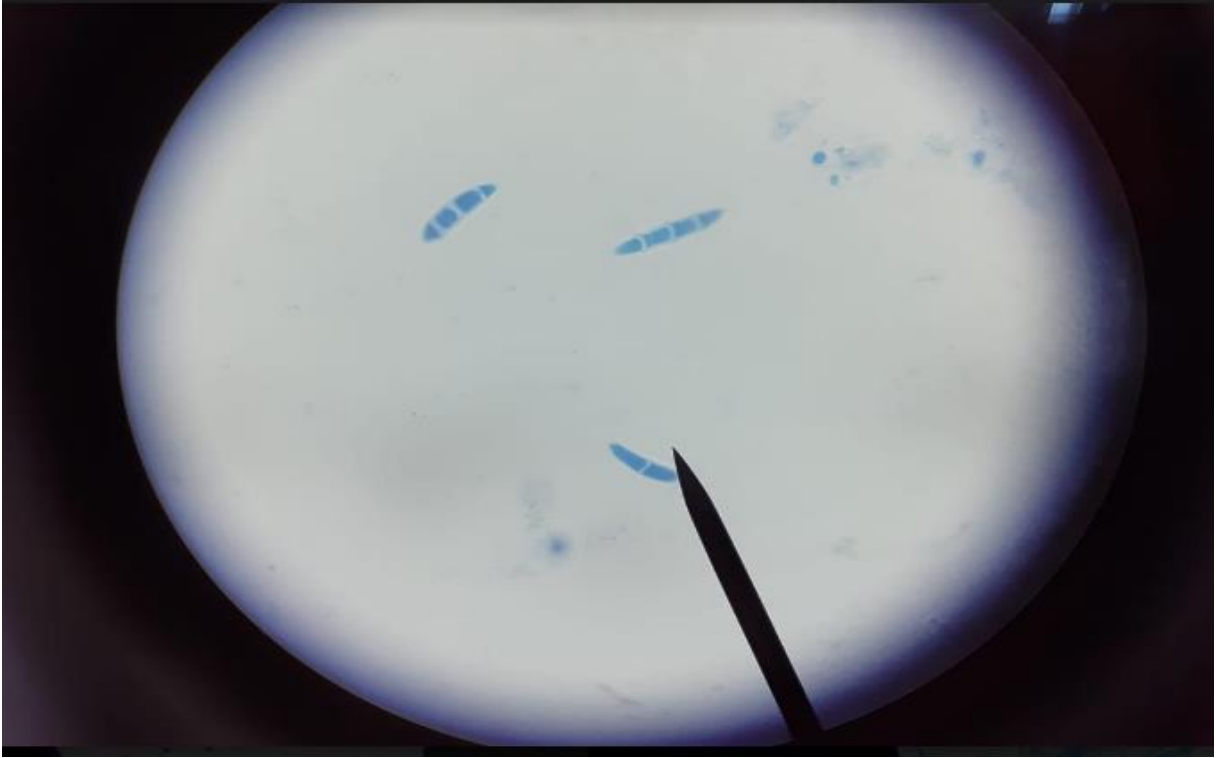




**Figura 20.** Vista general de microorganismos encontrados en una muestra de suelo.



**Figura 21.** Vista general del micelio de hongos visto en el microscopio a partir de las muestras de suelo.



**Figura 22.** Vista general de fusarium visto en el microscopio a partir de las muestras de suelo.



**Figura 23.** Muestras de suelo llevados al laboratorio para el análisis según tratamientos.

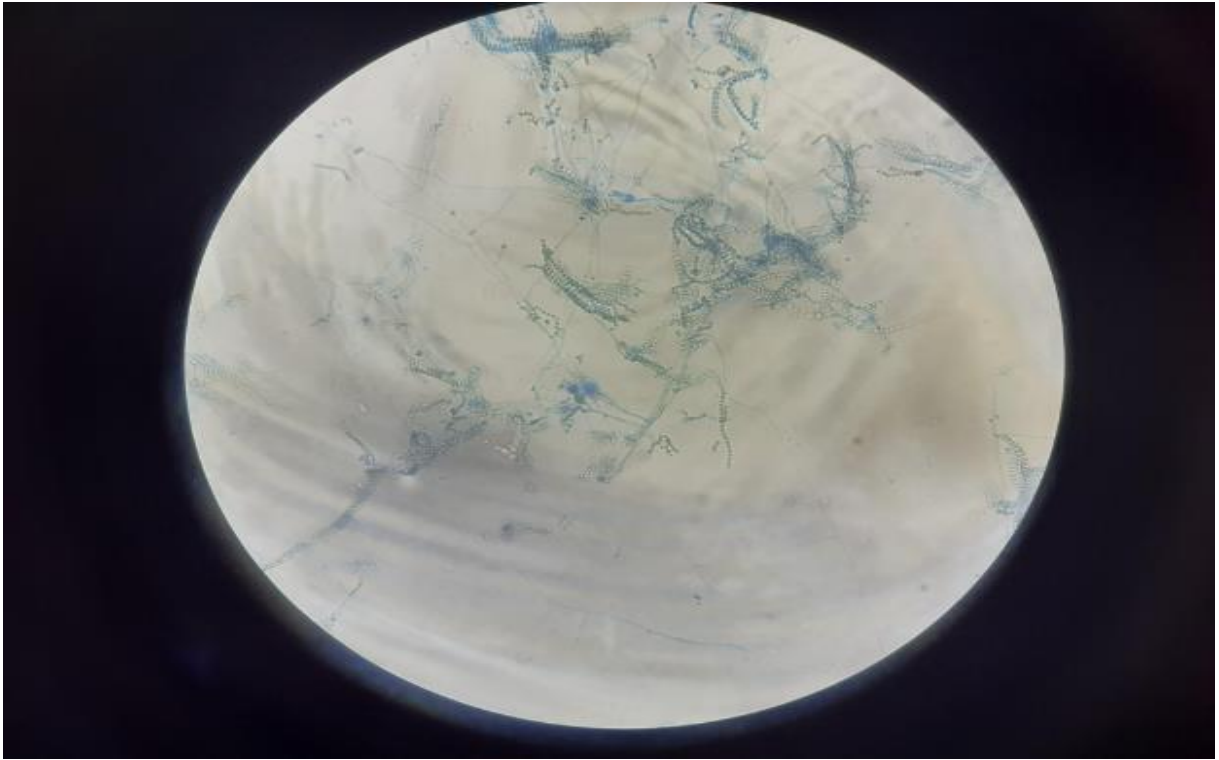


**Figura 24.** Pesado de muestras de suelos en el laboratorio.




**Figura 25.** Insumos para el análisis de laboratorio.





**Figura 26.** Vista general de hongos y mohos.


 Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Laboratorio de Microbiología General**  
 Tingo María

---

**SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO**

Recibo N° : 001- 0640522

**Muestra 03** : Suelo P2 10 cm parte media.  
**Procedencia** : UNAS – Tingo María  
**Atención a** : Sales Ordoñez Guillermo  
**Fecha recepción** : 23 de diciembre de 2021  
**Análisis solicitados:**

- Enumeración Microorganismos Aerobios Viables
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)
- Enumeración de Actinomicetos
- Enumeración de Lactobacillus
- Investigación de bacterias fijadoras de nitrógeno


**RESULTADOS:**

| Determinación                                     | Resultados                   | Valor referencial             |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| - Enumeración de microorganismos Aerobios Viables | : 35 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | 3 - 7 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Lactobacillus                    | : Ausencia                   | 2 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Actinomicetos                    | : 11 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | 2 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)        | : 10 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | 1 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Bacterias fijadoras de Nitrógeno                | : 11 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | Presencia                     |

**CONCLUSIONES:**

La muestra analizada presenta un número alto de microorganismos aerobios viables (heterotróficos), y un número moderado de actinomicetos, fungi (mohos y levaduras) y bacterias fijadoras de nitrógeno.

**Figura 27.** Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 1.



Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Laboratorio de Microbiología General**  
Tingo María

---

**SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO**  
Recibo N° : 001- 0640522

**Muestra 04** : Suelo P2 20 cm parte media.  
**Procedencia** : UNAS – Tingo María  
**Atención a** : Sales Ordoñez Guillermo  
**Fecha recepción** : 23 de diciembre de 2021  
**Análisis solicitados:**

- Enumeración Microorganismos Aerobios Viables
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)
- Enumeración de Actinomicetos
- Enumeración de Lactobacillus
- Investigación de bacterias fijadoras de nitrógeno


**RESULTADOS:**

| Determinación                                     | Resultados                   | Valor referencial             |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| - Enumeración de microorganismos Aerobios Viables | : 14 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | 3 - 7 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Lactobacillus                    | : Ausencia                   | 2 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Actinomicetos                    | : 13 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | 2 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)        | : 7 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | 1 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Bacterias fijadoras de Nitrógeno                | : 10 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | Presencia                     |

**CONCLUSIONES:**

La muestra analizada presenta un número moderado de microorganismos aerobios viables (heterotróficos), actinomicetos, fungi (mohos y levaduras) y bacterias fijadoras de nitrógeno.

**Figura 28.** Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 2.



Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Laboratorio de Microbiología General**  
Tingo María

---

**SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO**  
Recibo N° : 001- 0640522

**Muestra 05** : Suelo P3 10 cm parte alta.  
**Procedencia** : UNAS – Tingo María  
**Atención a** : Sales Ordoñez Guillermo  
**Fecha recepción** : 23 de diciembre de 2021  
**Análisis solicitados:**

- Enumeración Microorganismos Aerobios Viables
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)
- Enumeración de Actinomicetos
- Enumeración de Lactobacillus
- Investigación de bacterias fijadoras de nitrógeno

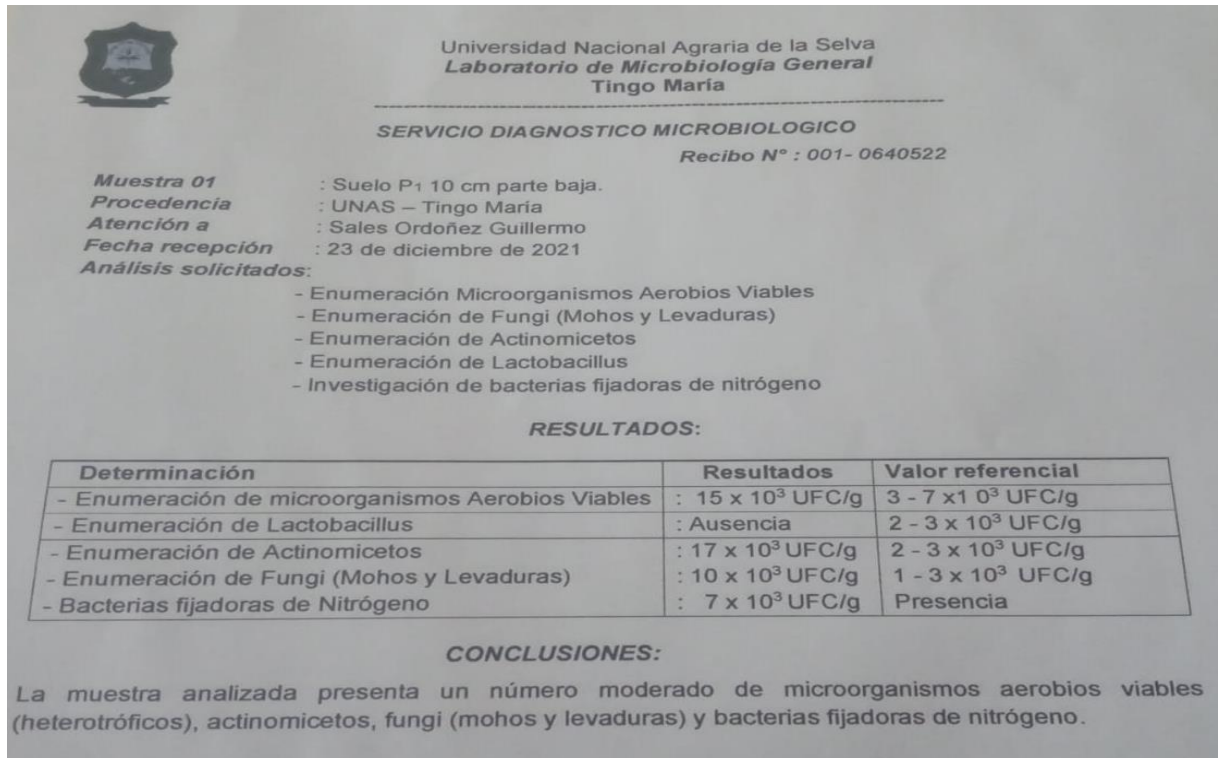
**RESULTADOS:**

| Determinación                                     | Resultados                    | Valor referencial             |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| - Enumeración de microorganismos Aerobios Viables | : 27 x 10 <sup>3</sup> UFC/g  | 3 - 7 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Lactobacillus                    | : Ausencia                    | 2 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Actinomicetos                    | : 180 x 10 <sup>3</sup> UFC/g | 2 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)        | : 6 x 10 <sup>3</sup> UFC/g   | 1 - 3 x 10 <sup>3</sup> UFC/g |
| - Bacterias fijadoras de Nitrógeno                | : 10x 10 <sup>3</sup> UFC/g   | Presencia                     |

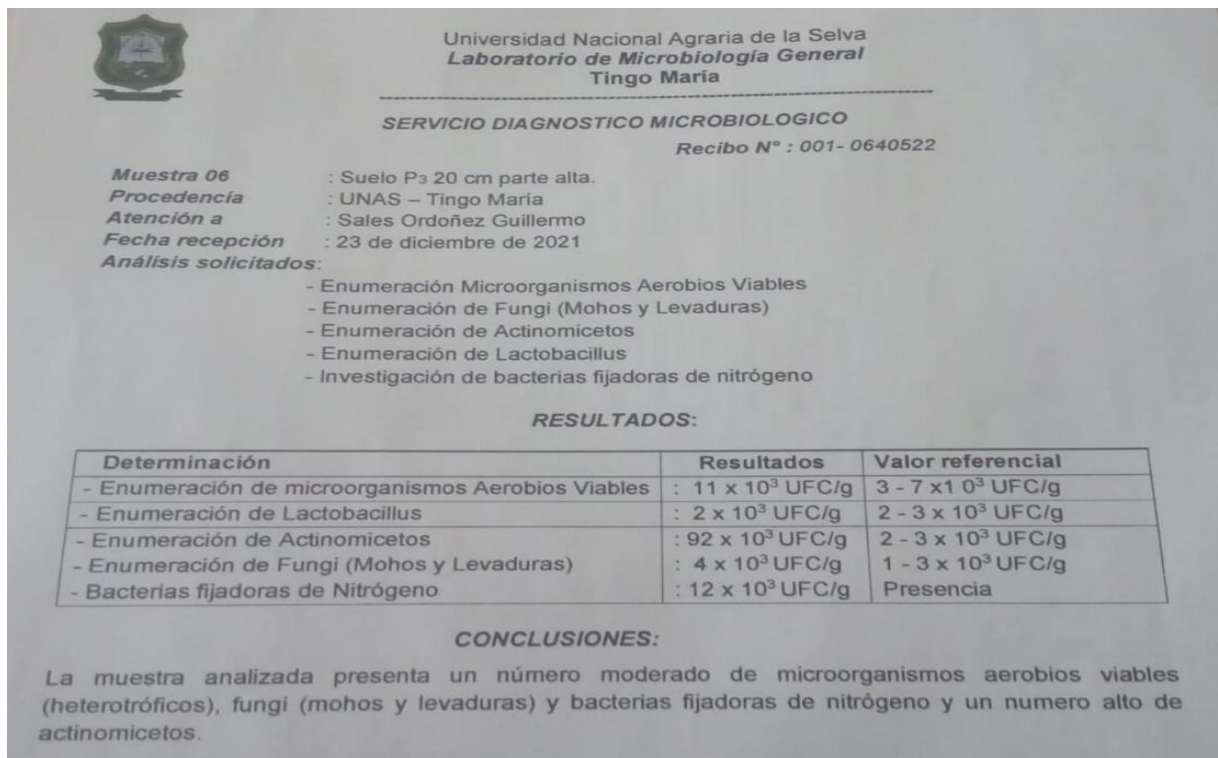
**CONCLUSIONES:**

La muestra analizada presenta un número moderado de microorganismos aerobios viables (heterotróficos), fungi (mohos y levaduras) y bacterias fijadoras de nitrógeno y un número alto de actinomicetos.

**Figura 29.** Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 3.



**Figura 30.** Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 4.



**Figura 31.** Vista general de una muestra de suelo para el análisis microbiológico muestra 5.

| SOLICITANTE: SALES ORDONEZ GUILLERMO |               |           |             |                           |      |                  |                 |                     |                              |                     |                         |             |                    |     |
|--------------------------------------|---------------|-----------|-------------|---------------------------|------|------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|--------------------|-----|
| DEPARTAMENTO                         | PROVINCIA     | DISTRITO  | SECTOR      | NOMBRE DE PARCELA O FUNDO | AREA | CULTIVO ANTERIOR | CULTIVO ACTUAL  | RENDIMIENTO (kg/ha) | PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm) | DENSIDAD DE SIEMBRA | EDAD DEL CULTIVO (AÑOS) | COORDENADAS | ALTITUD (m.s.n.m.) |     |
|                                      |               |           |             |                           |      |                  |                 |                     |                              |                     | LATITUD                 | LONGITUD    |                    |     |
| HUANUCO                              | LEONCIO PRADO | RUPA RUPA | TINGO MARIA | BRUNAS                    | --   | --               | BOSQUE PRIMARIO | --                  | 10                           | --                  | --                      | 390651      | 8970688            | 733 |
| HUANUCO                              | LEONCIO PRADO | RUPA RUPA | TINGO MARIA | BRUNAS                    | --   | --               | BOSQUE PRIMARIO | --                  | 20                           | --                  | --                      | 390651      | 8970688            | 733 |
| HUANUCO                              | LEONCIO PRADO | RUPA RUPA | TINGO MARIA | BRUNAS                    | --   | --               | BOSQUE PRIMARIO | --                  | 10                           | --                  | --                      | 391182      | 8970490            | 774 |
| HUANUCO                              | LEONCIO PRADO | RUPA RUPA | TINGO MARIA | BRUNAS                    | --   | --               | BOSQUE PRIMARIO | --                  | 20                           | --                  | --                      | 391182      | 8970490            | 774 |
| HUANUCO                              | LEONCIO PRADO | RUPA RUPA | TINGO MARIA | BRUNAS                    | --   | --               | BOSQUE PRIMARIO | --                  | 10                           | --                  | --                      | 391336      | 8970397            | 852 |
| HUANUCO                              | LEONCIO PRADO | RUPA RUPA | TINGO MARIA | BRUNAS                    | --   | --               | BOSQUE PRIMARIO | --                  | 20                           | --                  | --                      | 391336      | 8970397            | 852 |

| DATOS                 | ANALISIS MECANICO |           |        | pH                     | M.O. | N    | P    | K     | CIC | CAMBIABLES Cmol(+) / kg |      |      |    |    |      | CICe | %    | %  | %  |    |
|-----------------------|-------------------|-----------|--------|------------------------|------|------|------|-------|-----|-------------------------|------|------|----|----|------|------|------|----|----|----|
|                       | Arena %           | Arcilla % | Limo % |                        |      |      |      |       |     | Textura                 | Ca   | Mg   | K  | Na | Al   |      |      |    |    | H  |
| ORDEN DEL SOLICITANTE |                   |           |        |                        |      |      |      |       |     |                         |      |      |    |    |      |      |      |    |    |    |
| P1 - 10               | 47                | 26        | 27     | Franco                 | 3.44 | 2.43 | 0.12 | 3.60  | 68  | ---                     | 0.84 | 0.12 | -- | -- | 4.56 | 0.04 | 5.56 | 17 | 83 | 82 |
| P1 - 20               | 42                | 42        | 16     | Arcilloso              | 3.74 | 2.17 | 0.11 | 7.66  | 83  | ---                     | 1.02 | 0.11 | -- | -- | 5.00 | 0.03 | 6.16 | 18 | 82 | 81 |
| P2 - 10               | 57                | 24        | 19     | Franco Arcillo Arenoso | 2.84 | 3.29 | 0.16 | 10.02 | 77  | ---                     | 0.84 | 0.16 | -- | -- | 5.41 | 1.09 | 7.50 | 13 | 87 | 72 |
| P2 - 20               | 43                | 35        | 22     | Franco Arcillo Arenoso | 3.36 | 2.08 | 0.10 | 10.30 | 55  | ---                     | 1.18 | 0.15 | -- | -- | 4.17 | 0.73 | 6.23 | 21 | 79 | 67 |
| P3 - 10               | 70                | 16        | 14     | Franco Arenoso         | 3.06 | 3.12 | 0.16 | 7.85  | 76  | ---                     | 0.86 | 0.13 | -- | -- | 3.91 | 0.89 | 5.80 | 17 | 83 | 67 |
| P3 - 20               | 70                | 20        | 10     | Franco Arenoso         | 3.34 | 2.60 | 0.13 | 3.13  | 75  | ---                     | 0.79 | 0.11 | -- | -- | 3.81 | 0.19 | 4.90 | 18 | 82 | 78 |

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
 RE-MDM N.º 001-0645944  
 TINGO MARIA, 28 DE MARZO 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo Maria



Figura 32. Vista general de los resultados del análisis de suelo de una muestra obtenida.