

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL INSECTICIDA BIOLÓGICO SOBRE LA MICROBIOTA Y
LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UN SUELO, UTILIZADO PARA EL
CULTIVO DE *Ananas comosus* (PIÑA) EN EL MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER.**

KATY ANDREA BELTRÁN MEDINA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SECCIONAL BUCARAMANGA
FLORIDABLANCA

2019

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL INSECTICIDA BIOLÓGICO SOBRE LA MICROBIOTA Y
LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UN SUELO, UTILIZADO PARA EL
CULTIVO DE *Ananas comosus* (PIÑA) EN EL MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER.**

KATY ANDREA BELTRÁN MEDINA

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERIA AMBIENTAL.

DIRECTOR DEL PROYECTO:

PhD. María Irene Kopytko.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SECCIONAL BUCARAMANGA
FLORIDABLANCA

2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, marzo 2019.

Dedicado a mis padres quien me brindo todo su apoyo.

Agradecimientos

Gracias a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, concediéndome la salud y las capacidades para poder finalizar este gran objetivo.

Agradezco a mi madre quien me dio la oportunidad de poder estudiar y poder formarme como Ingeniera Ambiental.

A mi padre que desde el cielo siempre estuvo apoyándome y acompañándome durante mi carrera.

Le doy gracias a mi directora PhD. María Kopytko, por darme la oportunidad de crecer de manera profesional, mediante el progreso de este proyecto.

A la Esp. Nohora Forero por brindarme su asesoría en el tema microbiológico de la tesis.

A la Esp. Claudia Santoyo, quien dedico su tiempo para corregir y mejorar este proyecto respecto los análisis microbiológicos.

A la Esp. Angélicas Muskus, quien brindo parte de su tiempo para leer y mejorar los análisis fisicoquímicos de este documento.

A la Tecnóloga química Naidu Villamizar quien me colaboro en la determinación de los análisis fisicoquímicos.

A la Ingeniera Martha Estévez por su colaboración en los análisis fisicoquímicos.

A la Facultad Biología Molecular y Biotecnología de la Universidad de Santander UDES.

A la universidad Pontificia Bolivariana Sede de Bucaramanga y en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental por permitirme ser parte de su comunidad

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. OBJETIVOS.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO.	17
2.1.1 Perfil del suelo.	17
2.1.2 Textura de suelos.	19
2.1.3 Materia orgánica.	21
2.1.4 Infiltración.	22
2.1.5 Capacidad de Intercambio Catiónico.....	22
2.1.6 pH.....	23
2.1.7 Conductividad Eléctrica.	24
2.1.8 Densidad Aparente y Real.	25
2.1.9 Fosforo.	27
2.1.10 Nitrógeno.	29
2.2 ECONOMÍA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE LEBRIJA-SANTANDER, COLOMBIA.	30
2.2.1 La piña y las principales características de su cultivo.	31
2.2.2 Principales plagas en el cultivo de piña.....	32
2.2.3 Uso de insecticidas en el cultivo de piña.....	32
2.2.4 Insecticida Biológico.	33
2.3 METAGENÓMICA.....	34
2.3.1 La biodiversidad microbiana del suelo.	35
3. METODOLOGIA.	39
3.1 Valoración de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas iniciales del suelo, destinado para el cultivo de <i>Ananas comosus</i> en el municipio de Lebrija, Santander.	39
3.2 Evaluación las propiedades fisicoquímicas en suelos cultivados con <i>Ananas comosus</i> tras la aplicación del insecticida biológico.	46

3.3 Análisis de los cambios presentes en la microbiología del suelo cultivado con <i>Ananas comosus</i> tratado con el insecticida biológico.	47
4. DATOS Y ANALISIS.	48
4.1 Valoración de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas iniciales del suelo, destinado para el cultivo de <i>Ananas comosus</i> en el municipio de Lebrija, Santander.	48
4.1.1 Determinación inicial de las propiedades fisicoquímicas de los suelos B, C y FB.	48
4.1.2 Determinación inicial de la microbiota en los suelos de interés.	50
4.2 Evaluación las propiedades fisicoquímicas en suelos cultivados con <i>Ananas comosus</i> tras la aplicación del insecticida biológico.	53
4.2.1 Cambios de las propiedades fisicoquímicas en el suelo B.	53
4.2.2 Cambios de las propiedades fisicoquímicas en el suelo C.	56
4.2.3 Cambios de las propiedades fisicoquímicas en el suelo FB.	60
4.3 Análisis de los cambios presentes en la microbiología del suelo cultivado con <i>Ananas comosus</i> tratado con el insecticida biológico.	67
4.3.1 Análisis de los cambios presentes en la microbiota de suelos de interés clasificados por Filo.	67
4.3.2 Análisis de los cambios presentes en la microbiota de suelos de interés por Género perteneciente a cada Filo.	74
5. CONCLUSIONES.	85
6. RECOMENDACIONES.	87
7. BIBLIOGRAFIA.	88
ANEXOS.	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Intervalos de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en dos clases de suelos:	21
Tabla 2. Clasificación de la Velocidad de Infiltración.	22
Tabla 3. Parámetros de CIC relacionados con la Materia Orgánica	23
Tabla 4. Parámetros de salinidad.....	25
Tabla 5. Relación entre la densidad aparente y la textura de suelo.....	27
Tabla 6. Determinación de la calidad del suelo según el contenido de fósforo.	29
Tabla 7. Parámetros establecidos para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno total.	30
Tabla 8. Producción del cultivo de cítricos en el Municipio de Lebrija Santander.	31
Tabla 9. Cronograma de muestreos y actividades realizadas.	41
Tabla 10. Métodos empleados para la determinación de características fisicoquímicas.	41
Tabla 11. Caracterización fisicoquímica iniciales de los suelos B, C y FB.	48
Tabla 12. Cambios de los parámetros fisicoquímicos en el suelo B	54
Tabla 13. Cambios de los parámetros fisicoquímicos en el suelo C.	57
Tabla 14. Cambios de los parámetros fisicoquímicos en el suelo FB.	61
Tabla 15. Resumen de la caracterización fisicoquímica en los suelos B, C y FB.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de un perfil de suelo	18
Figura 2. Triangulo textural para la medición de la textura del suelo.....	20
Figura 3 . Relación de pH con el tipo de suelo.	24
Figura 4. Diferentes tipos de movilidad del fosforo en el suelo.	28
Figura 5. <i>Dysmicoccus brevipes</i> presente en la piña.....	32
Figura 6. Diagrama que representa el procedimiento del método metagenómico.....	35
Figura 7. Delimitación de la zona experimental en el campo.	40
Figura 8. Tamizado de suelo.	43
Figura 9. Pellet de la muestra.	44
Figura 10. Programa Nanodrop.....	45
Figura 11. Triángulos texturales inicial de los suelos B, C y FB.....	49
Figura 12. Clasificación de microorganismos por Filo en la muestra M1 en el suelo B.	51
Figura 13. Clasificación de microorganismos por Filo en la muestra M1 en el suelo C.	52
Figura 14. Comparación de los fillos de las poblaciones microbianas presentes en el suelo B y C.	53
Figura 15. Curva granulométrica el suelo B en la muestra M1.	55
Figura 16. Cambio de la Textura para el suelo B en la muestra M3.....	55
Figura 17. Curva granulométrica el suelo B en la muestra M5.	56
Figura 18. Curva granulométrica para el suelo C en la muestra M1.....	58
Figura 19. Curva granulométrica para el suelo C en la muestra M3.....	58
Figura 20. Curva granulométrica para el suelo C en la muestra M5.....	59
Figura 21. Curva granulométrica para el suelo FB en la muestra M1.	62
Figura 22. Curva granulométrica para el suelo FB en la muestra M2.	62
Figura 23. Curva granulométrica para el suelo FB en la muestra M3.	63
Figura 24. Cambio de la Textura para el suelo FB en la muestra M4.....	63
Figura 25. Cambio de la Textura para el suelo FB en la muestra M5.....	64
Figura 26. Microorganismos presentes en la muestra M2 de suelo FB por Filo.	67
Figura 27. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M3 de suelo B.....	68
Figura 28. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M3 de suelo C.....	69

Figura 29. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M3 de suelo FB.	71
Figura 30. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M4 de suelo FB.	72
Figura 31. Resumen de la distribución taxonómica de Filos presentados en todos los suelos.	73
Figura 32. Clasificación de género para phylum <i>Actinobacteria</i> para los suelos B, C y FB.	74
Figura 33. Clasificación de género para phylum <i>Acidobacter</i> para los suelos B, C y FB.	75
Figura 34. Clasificación de género para phylum <i>Plactomycetes</i> para los suelos B, C y FB.	76
Figura 35. Clasificación de género para phylum <i>Verrucomicrobia</i> para los suelos B, C y FB.	77
Figura 36. Clasificación de género para phylum <i>Firmicutes</i> para los suelos B, C y FB.	78
Figura 37. Clasificación de género para phylum <i>Proteobacteria</i> para los suelos B, C y FB.	79
Figura 38. Abundancia de géneros para Filo <i>Choroflexi</i> para los suelos B, C y FB.	80
Figura 39. Relación taxonómica de géneros para filos presentes en el suelo B.	82
Figura 40. Relación taxonómica de géneros para filos presentes en el suelo C.	83
Figura 41. Relación taxonómica de los filos y géneros presentes en el suelo FB.	84

LISDA DE ECUACIONES

Ecuación 1.	19
Ecuación 2.	20
Ecuación 3.	20
Ecuación 4.	20
Ecuación 5.	26
Ecuación 6.	26

LISTA DE ANEXOS.

ANEXOS A. Conversión de las unidades presentadas para el fósforo y nitrógeno para las muestras M1 en los suelos B, C y FB.....	96
ANEXOS B. Reportes del porcentaje de microorganismos presentes en el suelo según su Filo y Género.	98
ANEXOS C. Reporte de los resultados obtenidos por medio del método de Bouyoucos en los suelos B, C y FB para las muestras M1, M3 y M5.	100
ANEXOS D. Graficas de las pérdidas de humedad.....	102
ANEXOS E. Análisis realizados en los suelos B, C y FB a las muestras M4, en el Laboratorio de Estudios Ambiental, Universidad Pontifica Bolivariana, relación a los parámetros de Carbón Orgánica, Fosforo Total y Nitrógeno Total.....	104
ANEXOS F. Reportes metagenómicos para el suelo FB M4, en MG-RAST secuencias emparejadas.	108

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ESTUDIO DEL EFECTO DEL INSECTICIDA BIOLÓGICO SOBRE LA MICROBIOTA Y LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UN SUELO, UTILIZADO PARA EL CULTIVO DE *Ananas comosus* (PIÑA) EN EL MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER.

AUTOR(ES): KATY ANDREA BELTRAN MEDINA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Maria Irene Kopytko

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó un estudio del efecto de insecticida biológico sobre la microbiota y las propiedades fisicoquímicas de un suelo, cultivado con *Ananas comosus* (piña) en el municipio de Lebrija, Santander. Para este efecto se tuvo en cuenta las áreas denominada: Blanco (B), sin cultivo y sin fumigación, control (C), sembrado con piña, pero sin fumigación y el FB, con siembra y fumigación. Para los análisis fisicoquímicos se aplicaron métodos estándar y para el estudio microbiológico utilizó la técnica de metagenómica. Los tres suelos presentaron al inicio igual textura franco arcilloso – arenoso, siendo el C, con mayor porcentaje de limo, mayor porosidad (25,6%), mayor pérdida de humedad, alta acidez, relacionada con el bajo pH y la disponibilidad de aluminio intercambiable, cual puede ejercer efecto tóxico en estas condiciones. Las tres áreas experimentales presentaron al inicio bajo porcentaje de materia orgánica (1,7-2,5%) al igual que carbono orgánico (0.61-0,96%) y una baja capacidad de intercambio catiónico (7,7-12,4 meq /100g). Se demostró que, a lo largo del tiempo de experimentación, las propiedades fisicoquímicas no se alteraron de manera significativa al aplicar el producto natural para la eliminación simultanea de hormigas y *Dysmicocus brevipes* que atacan el cultivo. Los análisis microbiológicos reportan en el suelo FB un mayor porcentaje del género **Bacillus** del 2,13% a 15,16%, contrastado con *Proteobacterias* que solo se identificó en el suelo B (5,14%) en la muestra inicial y en el suelo C en todas las muestras con un aumento progresivo hasta el 6,43% final. El insecticida biológico no afecta la microbiota del suelo, por lo cual la población microbiana es constante durante el tiempo de experimentación, pero es poco diversa para un sistema biogeoquímico tan amplio como el suelo. Sin embargo, el aumento de la población de *Bacillus* en el suelo FB podría relacionarse con la adición del bioinsecticida.

PALABRAS CLAVE:

Suelo, Bioinsecticida, Metagenómica, Piña, Fisicoquímico.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: STUDY ABOUT THE EFFECT OF THE BIOLOGICAL INSECTICIDE OVER THE MICROBIOTA CHEMICAL PHYSICAL PROPERTIES OF A SOIL, CULTIVATED WITH *Ananas comosus* (PINEAPPLE) IN THE MUNICIPALITY OF LEBRIJA, SANTANDER

AUTHOR(S): KATY ANDREA BELTRAN MEDINA

FACULTY: Faculty of Environmental Engineering

DIRECTOR: Maria Irene Kopytko

ABSTRACT

In this Project, it was made a study about the effect of the biological insecticide over the microbiota chemical physical properties of a soil, cultivated with *Ananas comosus*(pineapple) in the municipality of Lebrija, Santander. For this effect, it was taken into account the areas named: target (B) without crops either fumigation, control (C) cultivated with pineapple, but without fumigation, and the FB, with crops and fumigation. Chemical physical analysis applied standard methods and the microbiological study used the technic Metagenomics. At the beginning, the three soils showed the same texture with an aspect clay loam-gritty, being the C with a bigger percentage of limo, more porosity (25,6%), a bigger moisture loss, high acidity related to the pH and the interchangeable availability of aluminum, that can cause a toxic effect under these conditions. The three experimental areas, at first, presented a low percentage of organic material (1,7-2,5%), the same as organic carbon (0.61-0,96%), and a low capability of cationic exchange(7,7-12,4meq/100g). It was demonstrated that along the experimental time, the chemical physical properties remained without any meaningful alteration when applying the natural product, for the simultaneous elimination of ants and *Dysmicocus brevipipes* that attack the crop. The microbiological analysis report on the ground a larger percentage of the *Bacillus* gender between the 2,13% to 15,16%, in contrast to *Proteobacterias* that was only identified in the soil B (5,14%) in the initial sample and in the soil C in all the samples with a progressive increase until the 6.4% final. The biological insecticide doesn't affect the microbiota of the soil, whereby the microbial population is constant during the experimental time but is a little diverse for a biogeochemical as large as the soil. Nevertheless, the increase of the *Bacillus* population in the soil FB could be related to the addition of the bioinsecticide.

KEYWORDS:

Soil, Bioinsecticide, Metagenomics, Pineapple, Chemical/physical.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN.

El significativo aumento de la población mundial ha creado la necesidad de aumentar la eficiencia de la producción agrícola, lo cual se puede lograr con el uso de agroquímicos. Entre estos productos los más utilizados son los pesticidas. Los pesticidas se clasifican según la plaga que atacan. Así los insecticidas eliminan los insectos que dañan los cultivos, herbicidas que agreden para desaparecer las hierbas las cuales compiten con el cultivo por los nutrientes y fungicidas combaten los hongos que alteran la siembra.

La mayoría de estos productos son sintetizados químicamente por el hombre, lo que hace que son desconocidos por los microorganismos del suelo, y en consecuencia no los utilizan como carbono primario en su metabolismo. Lo anterior conlleva a que estos químicos persisten en el suelo ejerciendo su acción toxica a la microbiota y en el ecosistema en general.

Es por eso por lo que la nueva tendencia mundial es reemplazar los pesticidas químicos por los equivalentes pesticidas de origen biológico, los cuales al tener componentes naturales no generan tanto daño al medio ambiente. Sin embargo, es necesario analizar los posibles impactos creados en los suelos especialmente si se desea garantizar un equilibrio biológico y conservación de las propiedades fisicoquímicas del suelo, para asegurar su buena calidad.

En el presente trabajo se realizó un estudio del efecto del insecticida biológico sobre la microbiota y las propiedades fisicoquímicas de un suelo utilizado para el cultivo de *Ananas comosus* (piña) en el municipio de Lebrija, Santander. Para este propósito se aplicó un insecticida natural, registrado con la solicitud de patente y utilizado en el cultivo de la piña para combatir *Dysmicocus brevipes* y las hormigas que conviven en simbiosis.

El proyecto inició por la valoración de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas iniciales del suelo, destinado para el cultivo de *Ananas comosus* en el municipio de Lebrija, Santander, seguido por la evaluación de estas propiedades después de haber aplicado el insecticida biológico de interés. Finalmente se analizó los cambios presentes en la microbiología y propiedades fisicoquímicas del suelo objeto de estudio.

1. OBJETIVOS.

❖ OBJETIVO GENERAL.

Realizar un estudio del efecto del insecticida biológico sobre la microbiota y las propiedades fisicoquímicas de un suelo utilizado para el cultivo de *Ananas comosus* (piña) en el municipio de Lebrija, Santander.

❖ OBJETIVO ESPECIFICO.

- Valorar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas iniciales del suelo destinado para el cultivo de *Ananas comosus* en el municipio de Lebrija, Santander.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas en suelos cultivados con *Ananas comosus* tras la aplicación del insecticida biológico.
- Analizar los cambios presentes en la microbiología del suelo cultivado con *Ananas comosus* tratado con el insecticida biológico de interés.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO.

El suelo se considera un ecosistema relacionado con diferentes dinámicas de su entorno, sea en la atmosfera y los estratos inferiores del suelo que son las capas de tierra, resto de seres vivos, gases, agua, sales minerales, entre otras, que se encuentran depositados uno sobre otros. Esta dinámica influye en el ciclo hidrológico y el clima de la atmosfera, donde se crean y reproduce gran variedad de comunidades de organismos. Esta agrupación de seres vivos como las plantas, animales y microbios, son quienes participan como un reactor biofísico-químico, donde se realiza la descomposición de la materia prima y los reutiliza en nutrientes para la reproducción y regeneración de la vida en la tierra (Hillel, 1998).

A continuación, se describen los principales parámetros fisicoquímicos del suelo y se relacionan su importancia para el uso agrícola. Por lo anterior, es importante preservar el suelo permitiendo que mediante la conservación de sus propiedades se puede dar su uso agrícola, mediante cual se estimula el crecimiento de microbiota.

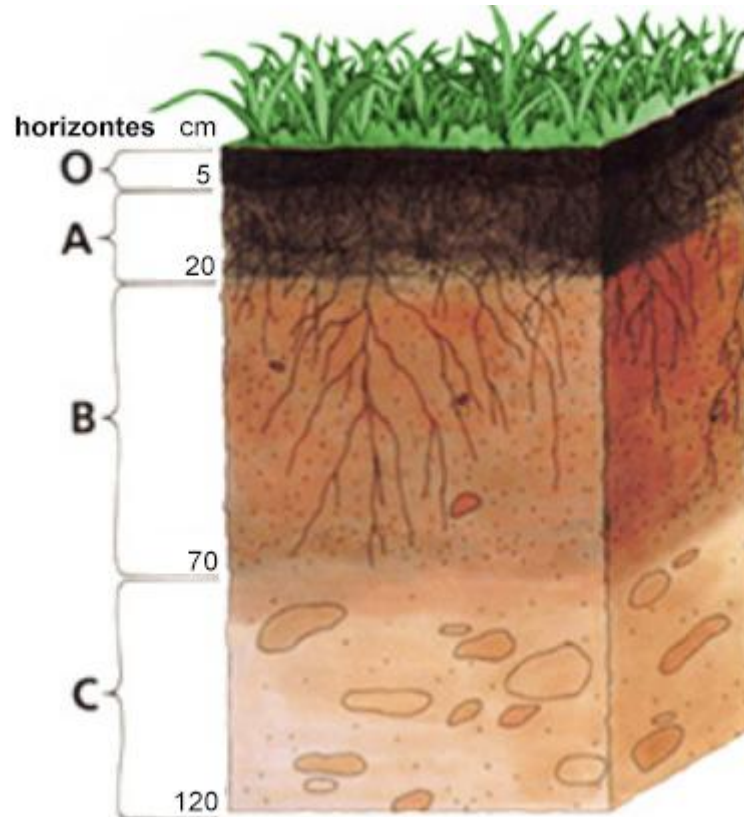
2.1.1 Perfil del suelo.

La parte más representativa del suelo es su superficie, que puede ser lisa, granular, agrietada, dura, nivelada, con o sin vegetación y de tal forma puede afectar procesos de radiación e intercambio de calor, agua y movimiento de solutos, entre otros (Jaramillo, 2002).

A lo largo del perfil vertical del suelo, se puede observar diferentes capas denominados horizontes. La primera capa es el horizonte O, compuesto por depósito y degradación aerobia de materia orgánica (hojarasca). El Horizonte A, es la zona de mayor actividad biológica y está compuesto por los depósito de materia orgánica y minerales de suelo, es decir, son los compuestos obtenidos de actividades de laboreo, pastoreo, etc. El horizonte B es más denso, por la acumulación iluvial de arcillas, hierro,

humus, aluminio, carbonatos, yeso y/o sílice, por lo cual puede inhibir el drenaje de agua y penetración de raíz. Finalmente, se presenta el horizonte C, cual es la zona principal del suelo, debido que se encuentra roca madre. Este perfil está constituido por una acumulación de sílice, carbonatos y sales solubles (Jaramillo, 2002). En la figura 1 se observa los diferentes horizontes descritos anteriormente.

Figura 1. Representación esquemática de un perfil de suelo



Fuente: Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España.

<http://www.edafologia.net/introeda/tema01/perfil2.htm>

En la figura 1, se observa el horizonte O, el cual se encuentra en la superficie del suelo y está conformado por musgos, líquenes, hojas y ramas, que aún no han sido afectados por la actividad biológica. El horizonte A, está formado por el contenido de materia orgánica y su estructura es granular. A continuación, se encuentra el horizonte B, el cual se compone mayormente de arcilla, óxidos de hierro (Fe), Aluminio (Al) y materia orgánica. Por último, el horizonte C, sin ningún tipo de desarrollo en su estructura edáfica. Adicionalmente se puede observar en la figura 1, que cada uno

de los perfiles contiene partículas con diferente tamaño. Esta característica denominada textura tiene una incidencia grande en la clasificación del suelo y el uso que se le da.

2.1.2 Textura de suelos.

La textura del suelo está constituida por partículas de diferente tamaño como: arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Un suelo arenoso carece de propiedades coloidales, lo cual se refleja en un bajo contenido de nutrientes por la baja cantidad de agua retenida, que con lleva a una alta aireación. En contraste, un suelo arcilloso retiene fácilmente el agua, lo cual permite un alto contenido de nutrientes y una baja permeabilidad. Por último, se encuentran los suelos francos, los cuales son equilibrados de forma estructural y los más adecuados para el uso agrícola (Rucks, 2004).

Para determinar la textura se maneja dos tipos de métodos: el análisis granulométrico y Bouyoucos. El método granulométrico es el procedimiento en el cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según los tamaños de su diámetro, permitiendo conocer el peso de cada una. Para aplicar esta método se manipulan tamices de diferentes tamaños, cuales permiten pasar una parte de partículas y retienen otras. Finalmente, se obtiene el porcentaje retenido en cada tamiz con respecto al total de la muestra (UCA, 1996).

El método de Bouyoucos permite calcular el porcentaje de arcilla, limo y arena. En el cálculo de este porcentaje se debe tomar dos lecturas por medio del hidrómetro (IHOBE, 1998):

- 1) Se efectúa una lectura a los 40 segundos teniendo en cuenta la temperatura del suelo y con esta lectura se calcula el porcentaje de arena.
- 2) Se verifica una segunda lectura a las 2 horas de la misma manera y se obtiene el porcentaje el porcentaje de arcilla.
- 3) Se realizan las correcciones del hidrómetro para cada temperatura ($^{\circ}\text{t}$) a partir de la fórmula:

Ecuación 1.

$$c = (^{\circ}\text{t} \times 0.36) - 7.$$

c: corrección del hidrómetro.

$^{\circ}\text{t}$: temperatura en que se realizó la lectura del hidrómetro.

El cálculo de porcentaje de arena, limo y arcilla se realiza aplicando las ecuaciones 2, 3 y 4:

Ecuación 2.

$$\%Arena = 100 - (primera\ lectura\ corregida\ 40\ segundos) * \frac{100}{peso\ de\ la\ muestra}$$

Ecuación 3.

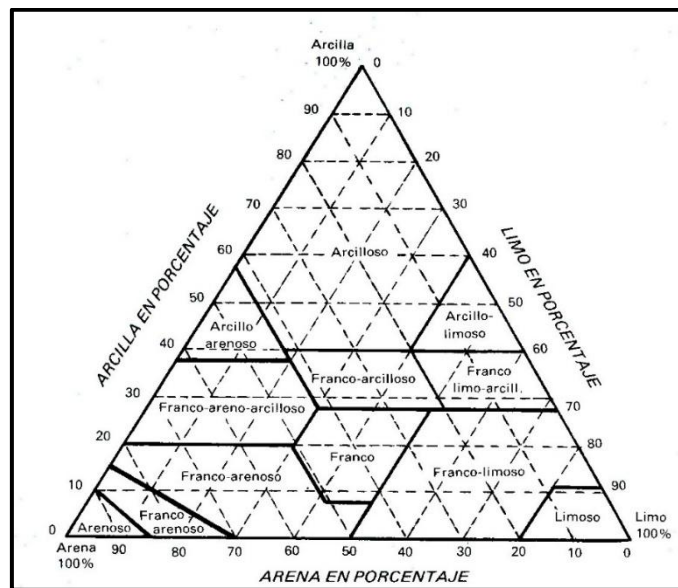
$$\%Arcilla = 100 - (segunda\ lectura\ corregida\ 2\ horas) * \frac{100}{peso\ de\ la\ muestra}$$

Ecuación 4.

$$\%Limo = 100 - (\%Arena + \%Arcilla)$$

Luego de obtener los porcentajes correspondientes, se halla el tipo de suelo según el triángulo textural presentado en la figura 2.

Figura 2. Triángulo textural para la medición de la textura del suelo.



Fuente: United States Department of Agriculture (USDA).

En la figura 2 se observa el triángulo dividido en 12 áreas, las cuales tienen indicadas diferentes proporciones de arena, limo y arcilla. Este triángulo, cuenta con tres escalas con números inclinados que permite trazar la línea correspondiente al porcentaje de cada proporción de suelo y de esta manera interceptar el punto cual indica la textura analizada.

2.1.3 Materia orgánica.

La materia orgánica (M.O) está formada de diferentes compuestos como son los carbohidratos, ligninas y proteínas, el cual consiste en materiales carbonados en distintos grados de descomposición. Este parámetro se puede manifestar en dos fracciones según sus características biológicas: una fracción poco estable (lábil) que está conformada por material en transición (residuos vegetales frescos y la materia orgánica húmica) y representa una pequeña parte de la masa total del suelo. Esta parte establece la principal fuente de alimentación para la microbiota de este medio. La segunda fracción se encuentra de manera estable y se compone por materia orgánica transformada (sustancias húmicas). Debido a que su presencia es estable, es altamente resistente a la actividad microbológica (Cespedes, 2005).

La M.O en el suelo puede ejercer algunos efectos, como minimizar la erosión de sí mismo, permitiendo la unión de las partículas del suelo como lo es la arena, limo y arcilla. Las partículas del suelo con mayor tamaño (arenas), facilita la aparición de poros, el cual permite que la materia orgánica quede ocluida y la microbiota del suelo sobrevivan en estas condiciones (Cespedes, 2005).

El aumento de la materia orgánica en suelos cultivados se da principalmente por la aplicación habitual de compost o fertilizantes que pueden ocasionar un incremento del contenido de microorganismo presentes en el suelo. Este comportamiento se evidencia en los estudios de realizados por el Institutos de Investigaciones Agropecuarias (Cespedes, 2005).

Teniendo en cuenta el porcentaje de la materia orgánica, el suelo se puede clasificar en: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Ver tabla 1).

Tabla 1. Intervalos de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en dos clases de suelos:

Clase	Materia orgánica (%)	Materia orgánica (%)
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5

Clase	Materia orgánica (%)	Materia orgánica (%)
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy Alto	>16.1	>6.0

Fuente: (Norma oficial Mexican, 2002)

2.1.4 Infiltración.

La infiltración se conoce como la cantidad de agua que atraviesa el suelo por unidad de tiempo. También, se define como la capacidad que presenta los horizontes superficiales del suelo para absorber el agua. Uno de los principales factores que influyen la capacidad de infiltración es la textura del suelo, debido que, al presentarse una predominancia de arenas en el medio, aumenta la porosidad, lo cual facilita la velocidad de infiltración en el perfil del suelo.

El procedimiento para determinar la infiltración se realiza en condiciones de campo, por medio del método “cilindros infiltrómetros” (Jimenez, 2008). En la tabla 2 se mencionan los diferentes intervalos que definen la velocidad de infiltración en un suelo.

Tabla 2. Clasificación de la Velocidad de Infiltración.

Infiltración (cm/hora)	Clasificación
<1	Muy Lenta
1-5	Lenta
5-20	Moderadamente Lenta
20-63	Moderada
63-127	Moderadamente Rápida
127-254	Rápida
>254	Muy Rápida

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1990).

2.1.5 Capacidad de Intercambio Catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es el número total de cationes intercambiables que un sustrato puede retener. Este parámetro depende del pH, cantidad de arcilla, estado de descomposición y material orgánico presente (Syers, 1970).

La importancia de este parámetro radica en determinar la disponibilidad y cantidad de nutrientes en el suelo, como el Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Al^{3+} y H^+ . Estos afectan la productividad de los suelos agrícolas, debido que influyen en los procesos metabólicos de las plantas (Havlin et al., 2005) (INTAGRI S.C, 2019).

En la tabla 3 se observa la relación entre la CIC y materia orgánica.

Tabla 3. Parámetros de CIC relacionados con la Materia Orgánica

C.I.C. total meq/100g	Observaciones
0-10	Suelo muy pobre: necesita aporte importante de materia orgánica para elevar C.I.C.
10-20	Suelo pobre: necesita aporte de materia orgánica.
20-35	Suelo medio en cantidad de materia orgánica.
35-45	Suelo rico en cantidad de materia orgánica.

Fuente: (Garrido, 1994)

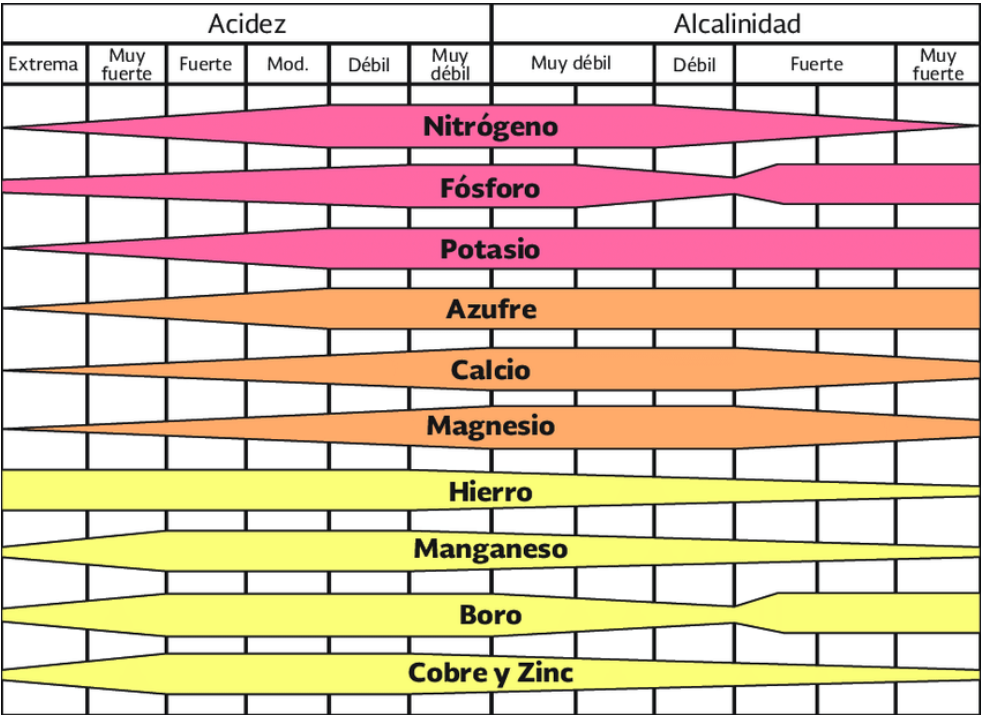
2.1.6 pH

El potencial hidrogeno (pH) calcula el grado de acidez de un suelo por medio de la concentración de hidrogeniones (H^+) que existen en la solución acuosa del suelo. Este parámetro es una de las propiedades químicas más importantes de los suelos, debido a que incide en la mineralización de la materia orgánica, disponibilidad de nutrientes para las plantas, entre otros (Soledad, 1993).

Los suelos muy ácidos ($pH < 5.5$) tienden a presentar cantidades elevadas aluminio lo que se convierte en tierras tóxicas, generando una dificultad en la retención de nutrientes. Un pH neutro es óptimo para los suelos agrícolas, debido a que los elementos nutritivos están fácilmente disponibles para las plantas. Por lo contrario, a los suelos con pH mayor de 8,5 puede presentar dificultad para la actividad agrícola por la escasez de los nutrientes (Ver Figura 3). Sin embargo, en la literatura se reporta que el pH en el suelo agrícola puede relacionarse según el tipo de cultivo (Jaramillo, 2002), por ejemplo, para plantas con rango entre 4,8 y 5,5 se encuentra la piña, yuca y papa.

En la figura 3, se observan los valores de pH con relación a los nutrientes presentados en un suelo.

Figura 3 . Relación de pH con el tipo de suelo.



Fuente: (Buckman y Brady, 1969).

El pH alto favorece la abundancia de los elementos como: Boro y Fósforo en cambio en los suelos de alta acidez se preserva elemento hierro. De igual manera, se observan elementos como: Potasio y Azufre mantienen su concentración en el medio alcalino de suelo.

2.1.7 Conductividad Eléctrica.

La conductividad eléctrica (CE) determina la concentración de sales solubles en la muestra. La medición de este parámetro es de especial cuidado en el caso de riego de suelos con agua residual (AR). En este caso se pueden presentar dos situaciones contrarias, una desfavorable para el suelo y otra que lo beneficia. Una de ellas es cuando las sales disueltas en agua pueden saturar el suelo causando aumento de su compacticidad y otro efecto contrario cuando las sales presentes en AR aportan valores nutricionales elementos como el nitrógeno, fosforo y carbono (United States Department of Agriculture, 1996).

De igual manera el aumento de CE en un cultivo se puede dar por dos razones, uno puede ser por la presencia de fertilizantes insolubles, y el otro por la incorporación de una cantidad de fertilizante superior a las absorbidas o lixiviadas (Barbaro, 2019).

En la tabla 4 se observa los efectos causados por la conductividad eléctrica respecto al tipo de cultivo.

Tabla 4. Parámetros de salinidad.

Conductividad Eléctrica (dS/m)	Efectos
0 – 2 No salino	Efectos de la salinidad imperceptibles.
2 – 4 Ligeramente salino	Se delimitan las ganancias de cultivos muy sensibles.
4 – 8 Moderadamente salinos	Disminuyen los beneficios de la mayoría de los cultivos. Algunos cultivos tolerantes son: alfalfa, remolacha, cereales y los sorgos para grano.
8 – 16 Fuertemente salinos	Sólo cultivos tolerantes.
> 16 Muy fuertemente salinos	Sólo cultivos muy tolerantes.

Fuente: (United States Department of Agriculture, 1996).

Los cultivos tolerantes a la concentración de sales dependen del tipo de siembra, sea cultivos leñosos o cultivos hortícolas. En algunos cultivos sean leñosos o hortícolas, se encuentran el laboreo de algunos frutos como los cítricos, donde un parámetro importante para saber su capacidad de producción es la tolerancia de su salinidad en su cultivo. Para disminuir el efecto tóxico, causado por los iones de cloruro, los cítricos desarrollan una tolerancia que está relacionada con la acción de portainjertos, lo cual ocasiona la capacidad de exclusión del cloruro, evitando de esta manera su acumulación en las hojas de la variedad injertada. De igual manera se puede ver cultivos con la sensibilidad a la salinidad como la cebolla, zanahoria, alfalfa con un límite de CE del 1.2 (dS/m) (López, Arbona, Pérez, & Gomez, 2008).

2.1.8 Densidad Aparente y Real.

La densidad se puede clasificar como densidad aparente, que es la densidad media de sus partículas sólidas y densidad real, que tiene en cuenta el volumen de los poros.

La densidad real (DR) Es una propiedad básica que se debe calcular para conocer el volumen total de poros. Esta densidad es el peso de suelo seco, que se divide por el volumen de sólidos que contiene. Las unidades utilizadas son gramos por centímetro cúbico (Thompson & Troeh, 2002).

La medición de la densidad real aplica el principio de Arquímedes, donde se mide el volumen de líquido desplazado por el sólido de interés. Para este propósito, se llena un recipiente con un volumen de 25 ml de agua y se pesa, luego con el mismo frasco, pero vacío, se agrega un peso de suelo seco (20gr) y se agrega nuevamente el mismo volumen de agua, finalmente se vuelve a pesar.

La densidad aparente (DA) se define como el peso de una unidad de volumen de suelo seco incluyendo su espacio poroso (Thompson & Troeh, 2002). La densidad aparente se relaciona con la textura, porosidad, humedad y materia orgánica. Este parámetro se determina in situ.

En la ecuación 5, indica el cálculo de la densidad aparente, se utiliza un cilindro metálico (cc), respecto al peso de la muestra seca (g) y después de haber ingresado al horno a 105°C durante 24 horas.

Ecuación 5.

$$Da = \frac{\text{Peso muestra seca (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cc)}}$$

Los valores de densidad aparente debajo de 1.3 kgxm⁻³ indican un suelo poroso, y los que se encuentran encima de 1.3 kgxm⁻³ indican una baja porosidad siendo ambos parámetros inversamente proporcionales (FAO, 2018).

En la ecuación 5 se calcula la porosidad del suelo teniendo en cuenta la densidad real y densidad aparente.

Ecuación 6.

$$\text{Porosidad total (\%)} = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100$$

La porosidad total en el suelo determina el porcentaje de espacio que hay entre un material sólido y la zona vacía cual puede ser ocupada por el oxígeno o agua, denominado espacio poroso. El espacio poroso se divide en macroporos ($\varnothing > 50 \mu$) y microporos ($< 10 \mu$). Los macroporos, son los que se encargan del drenaje y la aireación del suelo, además, el desarrollo de las raíces. Por lo contrario, los microporos retienen el agua, el cual hace que esté disponible para las plantas (Rucks, 2004).

La porosidad en el suelo puede afectar su tipo de textura y su densidad aparente, de tal manera que los suelos de textura fina y altos contenido de materia orgánica están relacionados con valores bajos de densidad y alto porcentaje de porosidad. En la tabla 5 se reporta algunos valores relacionados con la textura y la densidad aparente (Ver tabla 5).

Tabla 5. Relación entre la densidad aparente y la textura de suelo.

Textura	Densidad aparente ($Mgxm^{-3}$)
Fina (arcilloso)	1,00-1,30
Media(francos)	1,30-1,50
Gruesa(arenosos)	1,50-1,70

Fuente: (Rubio, 2010).

En la tabla 5, se observa que a mayor diámetro de las partículas en el suelo mayor la densidad de este, y a menor diámetro disminuye la densidad.

La densidad aparente ocasiona la inhibición del crecimiento de las plantas, debido al comportamiento de la porosidad del suelo sobre las raíces, entre mayor sea la densidad aparente la porosidad disminuye y no permite el crecimiento radicular de estas (Rubio, 2010).

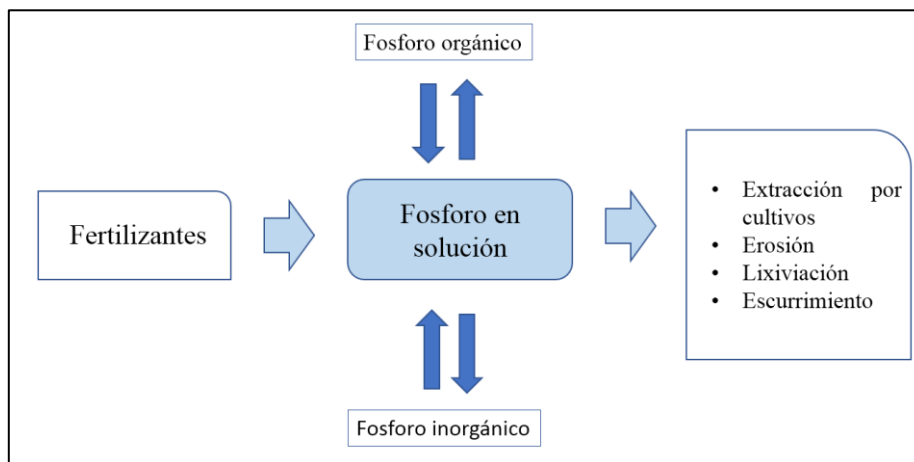
2.1.9 Fósforo.

El fósforo es el elemento principal para la nutrición de las plantas y es adsorbido en forma de fosfatos. La fuente original del fósforo es la roca madre, se encuentra como fósforo total y está constituido de forma orgánica e inorgánica.

El fósforo orgánico se encuentra por medio de residuos de vegetales y se encuentra en diferentes compuestos como: nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfo-azucars. Mientras que el fósforo inorgánico, se halla como fosforosoluble e insoluble. El fosforo intercambiable, es la adsorción aniónica del suelo, el cual depende del pH. A medida que disminuye el pH, aumenta la adsorción de fosfatos. El fosforo de manera insoluble, también se ve afectado con el valor de pH, donde el ion H_2PO_4^- es favorecido en pH neutros y ácidos. Finalmente, el fosforo insoluble, está formado por partes de los minerales primarios como las apatitas $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$, entre otros (Pellegrini, 2017).

Debido que el fosforo es uno de los elementos principales para la nutrición del cultivo en el suelo, es importante mencionar el comportamiento de este elemento en el sistema suelo/planta, donde tiene como su principal origen los fertilizantes fosfatados, cuales se degradan originando diferentes sustancias, cuales producen el fósforo (Ver Figura 4).

Figura 4. Diferentes tipos de movilidad del fosforo en el suelo.



Fuente: (Adaptado de Conti, 2000).

En la figura 4, se observa diferentes tipos de movilidad en el sistema del fosforo total en el suelo, el cual consiste en tres entradas por medio de fertilizantes, fosforo orgánico e inorgánico y tres salidas como la lixiviación, erosión, extracción por cultivos y esguerrimiento.

En la tabla 6, se observa la determinación de la calidad del suelo según el contenido de fósforo.

Tabla 6. Determinación de la calidad del suelo según el contenido de fósforo.

Categoría	Suelos Neutros- Alcalinos	Suelos Ácidos
	mg/Kg de P	
Bajo	<5,5	<15
Medio	5,5 – 11	15-30
Alto	>11	>30

Fuente: (Norma Oficial Mexicana, 2002).

2.1.10 Nitrógeno.

El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes de la Tierra e indispensable debido a que forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Este elemento se puede presentar en el suelo debido a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno es escasa en diferentes tipos de suelo causada por su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico (Fernandez, 2006).

El 99 % -95 % del nitrógeno se encuentra de forma orgánica en el suelo y una pequeña parte se halla en forma inorgánica como NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^- , donde solo los nitritos y nitratos son asimilados por las plantas (Pellegrini, 2017).

Así mismo, los microorganismos utilizan el nitrógeno como una fuente de alimentación para su metabolismo, el cual incorporan una parte del nitrógeno asimilable a sus tejidos y luego de que estos organismos mueren, el nitrógeno reingresa al suelo y su ciclo es completado. Se puede mencionar que algunos de estos microorganismos poseen carencia de nitrógeno, el cual puede afectar el crecimiento y no tendrá un óptimo desarrollo de su población (Fernandez, 2006). Por lo contrario, también existen microorganismos como las bacterias Nitrosomonas que intervienen en la oxidación de NH_4^+ a NO_2^- y posteriormente la oxidación de NO_2^- a NO_3^- , debido a la acción de bacterias Nitrobacter, cual desarrolla un óptimo crecimiento de su comunidad (Perez J. , 2001).

En la tabla 7 se observa algunos parámetros para determinar la fertilidad del suelo según su contenido de nitrógeno total.

Tabla 7. Parámetros establecidos para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno total.

Categoría	Nitrógeno Total (%)
Extremadamente pobre	<0,032
Pobre	0,032 – 0,063
Medianamente pobre	0,064 – 0,095
Medio	0,096 – 0,126
Medianamente rico	0,127 – 0,158
Rico	0,159 – 0,221
Extremadamente rico	> 0,221

Fuente: (Fernández, 2006)

2.2 ECONOMÍA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE LEBRIJA-SANTANDER, COLOMBIA.

La economía en el municipio de Lebrija –Santander, se desarrolla en subsectores agrícola y pecuario, con un ingreso cerca del 80% de la población. En Lebrija el potencial económico de subsectores de cultivos de cítricos es alto, aún cuando se evidencian problemas en el nivel tecnológico de agricultores y manejo fitosanitario (Municipio de Lebrija, 2016-2019).

Según indica el sitio web de la Alcaldía de Lebrija – Santander, se menciona su bajo nivel de tecnología y variedades de herramientas de cultivo inapropiadas que ocasionan una baja productividad de cosechas. Por esta razón, se observa algunas prácticas de labranza no sostenibles y el uso irracional de agroquímicos. Sin embargo, la producción de cítricos como es el cultivo de la piña se mantiene, lo cual indica área cultivada correspondiente a 5.074 Ha lo que equivale a una producción de 140.800 Ton/año. Al comparar la piña con otros cítricos como la mandarina, cual ocupa un área de cultivo de 2.802 Ha, el limón TAHITÍ 372 Ha y la naranja valencia 214 Ha, con un total de los tres cultivos de 3,388 Ha, lo cual es proporcional a 62,900 Ton/año. Por esta razón, se deduce que la piña es la principal actividad agrícola del municipio de Lebrija (Ver tabla 8).

Tabla 8. Producción del cultivo de cítricos en el Municipio de Lebrija Santander.

Producto.	Cultivo en Ha.	Ton /año.	Valor estimado en \$.	Generación de empleo (personas).
Piña	5.074	140.800	40,000	3,552
Mandarina	2.802	62,900	26,450	1, 000
Limón TAHITÍ	372			
Naranja valencia	214			

Fuente: (Gobierno de Lebrija Santander, 2019)

2.2.1 La piña y las principales características de su cultivo.

La *Ananas comosus*, popularmente conocido como piña, es una planta de la familia de las *Bromeliáceas* originaria de los países tropicales y subtropicales (Lim, 2012). Esta fruta tropical tiene una amplia aceptación del consumidor debido a su gran aroma y sabor.

Las principales características de cultivo de la piña se encierran en el ciclo siembra –cosecha, el cual necesita máximo 12 meses desde la siembra. Sin embargo, en ambientes fríos subtropicales es necesario 18-24 meses. De igual manera, la productividad depende del control que se tenga en el manejo de agua, nutrientes y el control de plagas (Malezieux, Cote, & Bartholomew, 2003).

Otra característica del cultivo de la piña es la altura que debe tener 800-1.200 metros sobre el nivel del mar y que sea un suelo permeable con textura tipo franco (DANE, 2016).

Estudios demuestran que las condiciones óptimas de pH en el terreno cultivado con la piña deben estar en un rango de 4,5 a 5,5, lo cual permite reducir las enfermedades que provienen del suelo. Por eso se recomienda evitar los pH superiores de 7.0 aunque se demuestre mejores producciones si hay alta fertilidad (Malezieux, Cote, & Bartholomew, 2003). Además del control del pH y otras condiciones requeridas para el cultivo es necesario hacer el seguimiento de los insectos que atacan a la piña (*Ananas comosus*).

2.2.2 Principales plagas en el cultivo de piña.

Según el Manual Técnico de buenas prácticas en cultivo de piña (1999), existe variedad de plagas presentes en el cultivo de piña, algunas de ellas son: la gallina ciega: *Phyllophaga menetriesis*, mariposa del fruto: *Thecla basilides*, Nematodos: *Meloidogyne spp.*, *Rotylenchulus spp.*, *Helicotylenchus spp.*, *Pratylenchus spp.*, y *Criconemoides spp.*

Entre los insectos que mayor daño presentan en los cultivos de piña en el municipio de Santander es *Dysmicoccus brevipes* (piojo blanco), es un insecto de un tamaño pequeño, de forma ovalada, plano y de cuerpo blando. Se encuentra cubierto de un polvo ceroso blanquecino, con filamentos laterales de igual color (Ver figura 5). Su impacto en el cultivo se debe a que daña la planta succionando la sabia, ocasionando su deterioro y retardo en el crecimiento de cultivo de la piña (OIRSA, 1999).

Dysmicoccus brevipes convive en simbiosis con hormigas, las cuales lo transportan y aprovechan el residuo de alimento generado por el piojo blanco. Estos insectos causan un color rojizo en las hojas de la planta por lo cual se puede identificar la presencia de la plaga (OIRSA, 1999).

Figura 5. *Dysmicoccus brevipes* presente en la piña.



Fuente: (Masterjii,2013).

2.2.3 Uso de insecticidas en el cultivo de piña.

Para combatir este insecto se utiliza actualmente en los cultivos dos tipos de insecticidas: químicos y biológicos. Por tradición, los agricultores del municipio de Lebrija-Santander utilizan más

frecuentemente los insecticidas químicos como es el pesticida Lorsban 4EC porque es más factible para la actividad agrícola por su fácil preparación, pero el daño que desarrolla en el ecosistema y en la salud humana es grande, especialmente que puede ocasionar gran alteración de los microorganismos que están presentes en el suelo.

Además, el insecticida químico representa un peligro a largo plazo para el medio ambiente, por lo tanto, estos productos que son Contaminantes Orgánico-Persistentes (COP) se encuentran prohibidos por el Convenio de Estocolmo, que ingresó en vigor en mayo de 2004 y se encuentra entre los 12 productos químicos prohibidos (Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido, 2009). Por esta razón, se cree necesario reemplazar los insecticidas químicos por productos naturales como lo son los insecticidas biológicos.

En la actualidad se han utilizados varios insecticidas biológicos para diferentes clases de plagas. Se encuentra el insecticida Azadirachtin, que es utilizada para regular el crecimiento de los insectos, interfiriendo con la hormona mudadora ecdisoma. Así mismo, también se ha utilizado bacterias como *Bacillus Thuringiensis*, que son patógenos para algunos insectos (Castro, 1994). El ácido giberélico es un producto metabólico de hongos cultivados para llevar a cabo sobre la aplicación de la tierra para el crecimiento de plantas y árboles.

En el presente se ha demostrado la eficiencia de los insecticidas biológicos sobre las plagas. Sin embargo, no existen investigaciones sobre los efectos microbiológicos y fisicoquímicos que puede ocasionar este insecticida sobre el suelo.

Debido a lo anterior, es necesario realizar un estudio más profundo que permite un análisis sobre los efectos que ejerce un insecticida biológico en la actividad microbiológica del suelo.

2.2.4 Insecticida Biológico.

El insecticida biológico es un producto natural que contribuye con el medio ambiente, debido a su composición orgánica. Este producto soluciona el control de plagas como la cochinilla harinosa. Uno de los insecticidas que ha presentado alto rendimiento en la eliminación de los dos insectos (hormiga y piojo blanco) simultáneamente, se basa en dos componentes que son capsaicina y nicotina. La capsaicina tiene la capacidad de causar trastornos digestivos de insectos como la hormiga, hasta que

el insecto evite alimentarse (Casanova, 2002). El otro es el extracto de tabaco, nicotina, cual actúa como una sustancia toxica de contacto e ingestión eliminando el piojo blanco. Actualmente el producto se encuentra en proceso de patentación (Kopytko & Mujica, 2007).

En el estudio realizado por Vindas, A., & Blanco, H. (2013), se evaluaron 6 productos para el control de *Dysmicoccus brevipes* en piña, entre los cuales se destacó el jabón líquido y extracto botánico, debido a que presentaron una eficiencia semejante al insecticida químico sintetizado (diazinón y carbaril), indicando un alto potencial para el control de *Dysmicoccus brevipes*. Catalogando estos productos orgánicos como una alternativa más amigable que un químico para el ambiente.

De la misma manera, se demostró que un insecticida biológico constituido del extracto de ajo y cebolla tiene la misma capacidad que un insecticida químico (clorpirifos) para combatir la plaga de *D. brevipes* en un cultivo de rambután. Los resultados obtenidos en este estudio reportan la eficiencia del insecticida químico de 96.91% y del biológico de 96.41, siendo la mejor relación beneficio/costo el insecticida biológico de extracto de ajo y cebolla (Romero M. , 2017).

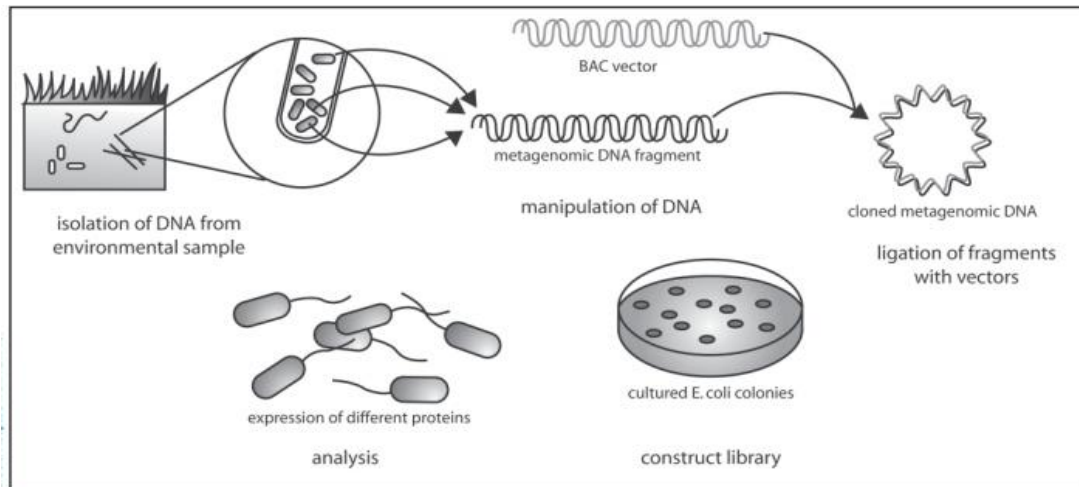
2.3 METAGENÓMICA.

En el campo de la biología molecular se ha llevado a cabo tradicionalmente estudio de las muestras cultivadas en el laboratorio. Sin embargo, esta técnica nos permite demostrar la gran complejidad de los microorganismos en el suelo. Los científicos demostraron interés por investigar especies que se limitan en crecer en un cultivo de laboratorio, lo cual generó la necesidad de desarrollar una técnica que sea innovadora para analizar los genomas (Da Lin, 2006).

La metagenómica es el análisis genómico de comunidades microbianas que están presentes en el ambiente. Esta estrategia de estudio manipula la genética y análisis del genoma para determinar las características y rasgos genéticos de los organismos (Handelsman, 1998). Además, comprende las interacciones entre especies y su entorno.

El método metagenómico es una técnica de alto rendimiento para determinar los cambios presentes en un suelo alterado por condiciones específicas. El procedimiento genómico se debe realizar aplicando varios pasos: 1: selección de la muestra en campo, 2: aislamiento del material genético de la muestra. 3: manipulación del material genético, 4: construcción de una librería, y 5: análisis del material genético en la librería creada para el metagenoma (Wilson, 2013) (Ver Figura 6).

Figura 6. Diagrama que representa el procedimiento del método metagenómico.



Fuente. (Da Lin, 2006)

Como se observa en la figura 6 el paso inicial es la extracción de los fragmentos de ADN de la muestra tomada en campo, luego se realiza una purificación de ADN, seguidamente la amplificación de ARNr 16S y ARNr18S, para finalmente llevar a cabo la identificación por PCR.

2.3.1 La biodiversidad microbiana del suelo.

El suelo sirve como un sistema biológico, el cual se desarrolla como un microhábitat para diferentes clases de microorganismos para el beneficio de ambos (Barrios, 2007). Adicionalmente, las propiedades del suelo pueden ocasionar una cantidad de diversidad microbiológica.

Según lo anterior, la condición para obtener una escala amplia de micronichos depende de la estructura del suelo y factores ambientales como el contenido de la materia orgánica, disponibilidad de fuentes de energía, nutrientes, pH, la genética de los microorganismos y las relaciones entre ellos, el cual puede afectar la eficiencia de la microbiota del suelo (Nannipieri, 2003).

Algunos microorganismos que constituyen la comunidad microbiana son las Bacterias. Los niveles taxonómicos de las bacterias se encuentran en el siguiente orden: Reino, Filo, Clase, Orden, Familia, Genero y Especie. A continuación, se describe la morfología y funciones de algunos Filo de interés.

- **Filo *Actinobacterias*.**

El Filo *Actinobacterias* están compuestas con alto contenido de citosina y guanina, estos microorganismos pertenecen al grupo de bacterias Gram positiva, también se caracteriza por tener una morfología similar a los hongos, debido a esta relación ambos tienen la capacidad de adaptarse en el mismo hábitat (Prescott, 2004).

Según a lo anterior, algunas Filo de *Actinobacterias* son antagonistas de hongos patógenos (El-Tarabily, 2000) o pueden contribuir a grupos ecológicos beneficiosos con plantas/animales. Esta clase de bacterias son esencialmente habitantes del suelo, el cual permite ser los principales degradadores de los compuestos orgánicos y se encuentran en la mineralización de la materia orgánica (Prescott, 2004).

Debido a que estas bacterias son antagonistas, pueden desarrollarse en bajas concentraciones de nutrientes, genéticamente estable, son resistentes a los pesticidas, pero no interfiere en el cultivo (Frioni, 2005).

Algunas características que posee *Actinobacterias*, suelen resistir tanto la acción del viento por cual se mantienen en el mismo lugar a pesar de precarias condiciones de suelo (Ibañez, 2013).

- **Filo *Acidobacterias*.**

Las *Acidobacterias* es un nuevo grupo bacteriano, el cual consiste principalmente en bacterias acidófilas. Estudios recientes han indicado que son un grupo dominante en el suelo forestal (Rakesh, 2013) y a su vez solo se encuentran in situ, pero no son cultivables convirtiéndose en un Filo poco estudiado. Las incidencias más altas de *Acidobacterias* se presenta en suelos con pH más bajos (Griffiths, 2011). Este Filo, tienen la habilidad de adaptarse a baja disponibilidad de sustratos (Fierer, 2007).

- **Filo *Planctomycetes*.**

Los Planctomycetes se encuentra en un grupo distinto de bacterias, los cuales ocupan diversos nichos ecológicos como: biorreactores de aguas residuales, sedimentos marinos y agregados orgánicos, y hábitats terrestres óxidos y anóxicos (Liesack , 2001). Se considera que los Planctomycetes indica un papel importante en el ciclo de los compuestos orgánicos e inorgánicos, lo cual constituye una proporción significativa de la población microbiana (Jenkins, 2002).

También, se reporta el importante descubrimiento sobre el litotrofo proveniente del filo planctomiceto autótrofo capaz de llevar a cabo la oxidación anaeróbica del amonio (proceso anammox) y la existencia de otros con actividades similares (Jenkins, 2002).

- **Filo *Chloroflexi*.**

Los miembros del Filo Chloroflexi, se asocian en hábitats extremos (termófilas), como esteras microbianas, aguas termales, ambientes hipersalinos, suelos y sistemas de tratamiento de aguas residuales (Nubel, 2002).

Estas bacterias toman como fuente de energía la luz y compuestos orgánicos como el Carbono y presentan clorosomas que contiene bacterioclorofila c, el cual hace que se desarrollen en intensidades bajas de luz.

- **Filo *Proteobacterias*.**

Las Proteobacterias son grupo de bacterias Gram negativas y su morfología es muy variable, puede ser bacilos, cocos y prostecas. Desarrolla todos los tipos nutricionales: Fotótrofos, Heterótrofos y Quimiolitotofos. Este Filo incluye una gran variedad de patógenos tales como *Burkholderia glumae*, *Helicobacter*, *Neisseria gonorrhoeae*, entre otros. Son abundantes en las océanos y ambientes acuáticos (asturnatura, 2004). Estas bacterias participan en un papel sumamente importante en el ciclo del nitrógeno y carbono, se encuentran asociadas a las fracciones granulométricas gruesas del suelo (Ibañez, 2013).

- **Filo *Bacteroidetes*.**

Los Filo *Bacteroidetes* es uno de los filos más estudiados y es un organismo abundante en las heces de los animales, se clasifican como bacterias Gram negativas, se divide en cuatro clases, *Bacterioidia*,

Flavobacteria, *Esfingobacteria* y *Citofagia* (Bergey's, 2011). Incluyen las bacterias estrictamente anaeróbicos (*Bacteroides*) hasta estrictamente aeróbicos (*Flavobacterias*).

La comunidad microbiológica del Filo *Bacterioidetes* está incluida en diferentes nichos ecológicos como los océanos, agua dulce y suelo. Una de sus funciones es la degradación de la materia orgánica polimérica (Bernardet, 2006). Las características físicas en el suelo que son esencial para el crecimiento de este Filo y se deben a las fracciones granulométricas finas, cuales se caracterizan por la gran cantidad de *Bacterioidetes* y otros microorganismos que habitan en condiciones de sequedad o alta incidencia de radiaciones gama (Ibañez, 2013).

- **Filo *Firmicutes*.**

Los filo *Firmicutes* está compuesta la mayor parte por bacterias Gram positivo con poco contenido de guanina y citosina en el ADN. Posee una habilidad de producir endosporas, cual hace que sean resistentes a la desecación y sobrevivan en condiciones extremas. La mayoría crecen en un pH neutro, pero muy pocas son acidófilas o alcalofilas (William, 2009). Debido a que son formadores de endosporas viven en una amplia escala en la superficie y subsuelo de la tierra, siendo el segundo filo bacteriano más abundante (Hugenholtz, 2002).

- **Filo *Verrucomicrobia*.**

La *Verrucomicrobia* se encuentra reciente en el dominio de la Bacteria. Este Filo se observa muy poco en el suelo. Son difíciles de cultivar debido a que es poco frecuente en que sus células bacterianas formen colonias visibles en el suelo (Kathryn, 2005), por esta razón existe pocos estudios que se centren específicamente en la abundancia, diversidad y distribución verrucomicrobiana (Zhang, 2008). La mayoría de estas bacterias son mesófilas, facultativas/ anaerobias y oligotrófico (T.Bergmann, 2011).

3. METODOLOGIA.

Este proyecto se realizó en convenio con la Universidad de Santander (UDES), donde se efectuaron los análisis microbiológicos en el Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular. Los análisis fisicoquímicos de suelo se desarrollaron en la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga en laboratorio de suelos y en el Laboratorio de Estudios Ambientales (nitrógeno total y fósforo total). Los ensayos de campo se llevaron a cabo en Granjas de Bellavista en Lebrija – Santander, donde tradicionalmente se ha sembrado la piña.

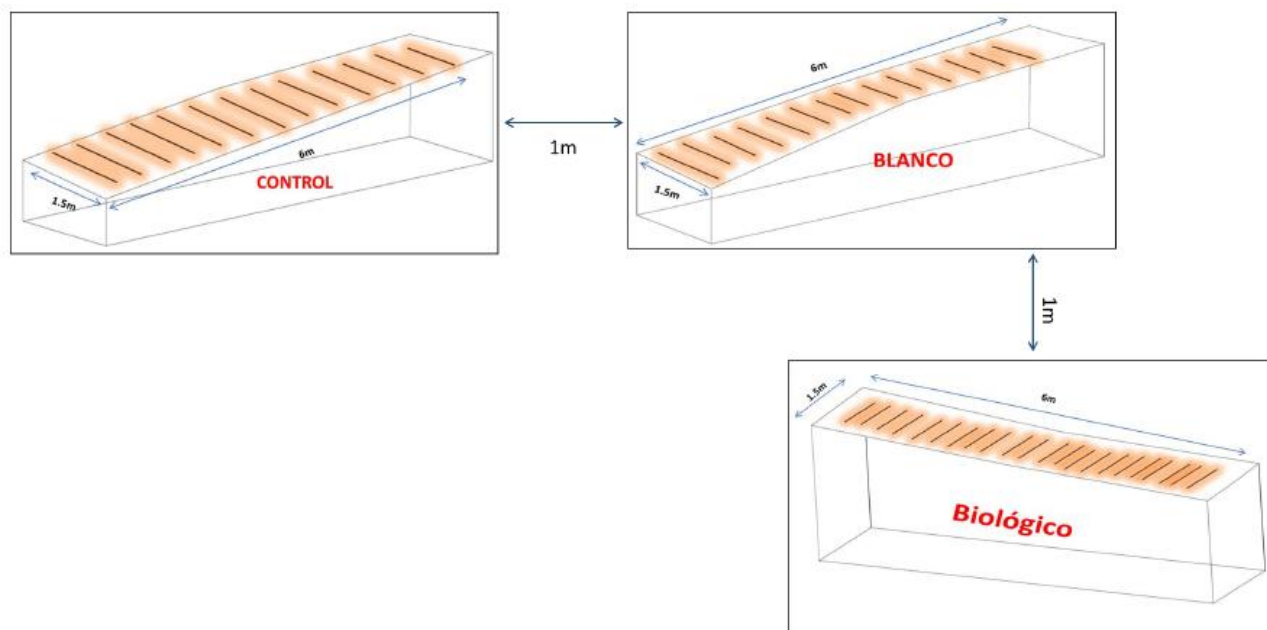
A continuación, se especifica la metodología que se aplicó para asegurar el cumplimiento de cada objetivo.

3.1 VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS INICIALES DEL SUELO, DESTINADO PARA EL CULTIVO DE ANANAS COMOSUS EN EL MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER.

Para realizar los análisis iniciales fisicoquímicos y microbiológicos del suelo se seleccionó el terreno, cual fue dividido en tres áreas destinadas a diferentes condiciones experimentales. Todas tenían la dimensión de 6m x 1.5m y estaban separados a 1 metro de distancia (Ver Figura 7).

El muestreo inicial de suelo se realizó aplicando la guía metodológica de gestión ambiental (IHOBE, 1998), la cual indicó la necesidad de componer la muestra de cada área por tres submuestras, cuales fueron excavadas a 15 cm de profundidad de modo aleatorio.

Figura 7. Delimitación de la zona experimental en el campo.



Fuente: Autora

La primera de las áreas experimentales se denominó suelo de control (C), la cual tenía siembra de la piña, pero no se fumigó la plantación durante el tiempo de prueba. En la segunda zona nombrada el blanco (B) no se sembró la piña, ni se efectuó la fumigación y en la última área seleccionada se realizó la siembra de piña y se aplicó la fumigación con el insecticida biológico tras 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas de haber sembrado el cultivo. Esta zona se simbolizó como FB. Todos los suelos fueron regados con agua lluvia y abonados con fertilizante mineral llamado triple 15 (15:15:15).

El procedimiento de fumigación se realizó en las horas de la tarde (5:00 a 6:00 pm), aplicando el bioinsecticida con la frecuencia de cada dos semanas durante el tiempo de experimentación y siguiendo el procedimiento que usualmente se efectúa para este tipo de insecticida en la zona. El insecticida biológico se encuentra compuesto principalmente de capsaicina y nicotina, especialmente utilizado para combatir la plaga *Dysmicoccus brevipes*.

En la Tabla 9 se especifican los muestreos y las actividades realizadas.

Tabla 9. Cronograma de muestreos y actividades realizadas.

Fecha	Muestreo	Actividad Realizada
Febrero/09/2018	Muestreo 1 (M1)	Toma de muestras iniciales y la posterior fumigación de suelos B, C y FB.
Febrero/10/2018	Muestreo 2 (M2)	Toma de muestra de suelo FB.
Marzo/09/2018	Muestreo 3(M3)	Toma de muestras y la posterior fumigación de suelos B, C y FB.
Marzo/10/2018	Muestreo 4(M4)	Toma de muestra de suelo FB.
Octubre/08/2018	Muestreo 5(M5)	Toma de muestras y la posterior fumigación de suelos B, C y FB.

Fuente: Autora.

Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas iniciales y después de la fumigación con bioinsecticida, se aplicaron los métodos especificados en la tabla 10.

Tabla 10. Métodos empleados para la determinación de características fisicoquímicas.

Parámetro fisicoquímico	Método
pH	*NTC 5264
Conductividad Eléctrica	*NTC 5596
Textura	**ATSM WK38106 (Bouyoucos) *NTC 1522 (Granulometría)
Capacidad de campo (Humedad gravimétrica)	*NTC 947-1
Densidad aparente	*NTC 237
Densidad real y contenido de humedad	**ASTM 2216
Permeabilidad e Infiltración	**ASTM D2434-68 / ASTM D3385-09
Materia Orgánica	***I.V.N.E – 121-07
Humedad volumétrica	Sonda
Capacidad de Intercambio Catiónico	*NTC5258
Fosforo total	*****SM 4500-P-B,E
Nitrógeno total	*****SM 4500
Granulometría	**ASTM C 136

Parámetro fisicoquímico	Método
Nitrógeno orgánico	****SM 4500 B

* NTC – Normas Técnicas Colombianas

** ASTM – American Society of Testing Materials

***IVNE – Instituto Nacional de Vías

****SM - Standard methods

Fuente: Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), 2014.

El criterio utilizado para la selección de los parámetros fisicoquímicos del suelo de interés se relacionó con la calidad del suelo cultivado con la piña.

Por lo anterior, la medición del pH del suelo es importante para verificar el valor óptimo señalado en la literatura para este cultivo, que debe oscilar entre 4,5 y 5,5 (Bartholomew, Paull, & Rohrbach, 2003).

La materia orgánica, carbono orgánico y la capacidad de intercambio permiten identificar la disponibilidad de nutrientes y de esta manera la fertilidad del suelo.

La textura de un suelo establece múltiples relaciones con la permeabilidad e infiltración, la humedad, la porosidad total y la densidad del mismo. Esto indica el porcentaje de agua retenida en el suelo y las posibles vías de movilización dentro de la estructura del suelo y oxígeno disuelto del mismo. Además, estos factores son de gran importancia para la estabilidad y supervivencia de las diferentes especies microbiológicas.

El análisis microbiológico inicial del suelo se realizó utilizando los mismos sitios de muestreo para análisis fisicoquímico-iniciales, sin embargo, la toma y preservación de la muestra se efectuó de diferente manera. Esta vez, el suelo se tomó en tubos Falcón de 15 ml (Ver Figura 8), los cuales se preservó a -4°C en una nevera de icopor mientras se transportó al Laboratorio de Biología Molecular y Biotecnología (UDES), donde se preservó a -80°C hasta sus análisis correspondientes.

La metodología aplicada para identificar los microorganismos presentes en el suelo fue la metagenómica, cuyo procedimiento consta de tres fases:

- Extracción del ADN.

- Amplificación por PCR y secuenciación utilizando el programa Miseq Illumina.
- Uso de las herramientas bioinformáticas para la identificación de las familias: MG-RAST.

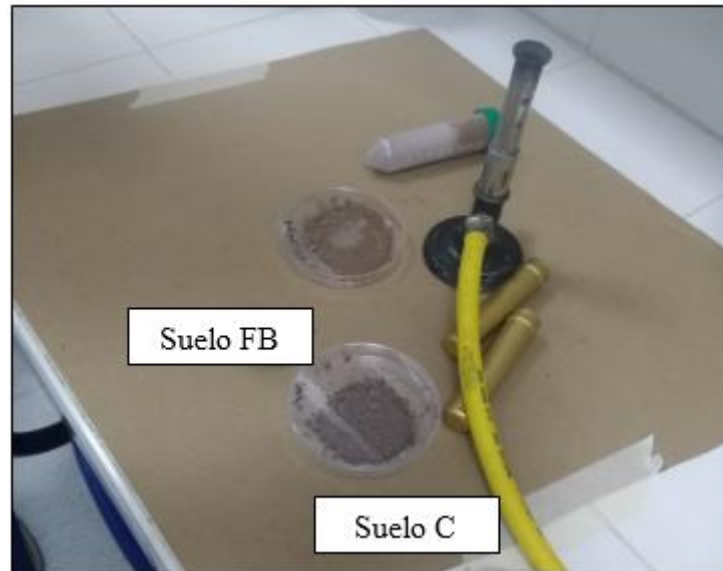
A continuación, se describe cada uno de los pasos:

- Extracción del ADN.

Para la extracción de ADN de los microorganismos presentes en el suelo de interés se empleó E.Z.N.A Soil DNA Kit, siguiendo las instrucciones del fabricante:

- Inicialmente se tamizó aproximadamente 5 g de suelo que se encontraba refrigerado a -80°C . En la figura 8 se ilustran los tubos Falcón con la muestra del suelo destinado para el proceso de tamizado, en el cual se empleó los tubos metálicos, mediante los cuales el suelo paso a presión a las cajas Petri en condiciones estériles.

Figura 8. Tamizado de suelo.



Fuente: Laboratorio de Biología Molecular y Biotecnología UDES (2018).

- Posteriormente se pasó 0.7 g del suelo tamizado a los tubos cónicos de 15 ml y se les agregó 1 ml de SLX-Mlus Buffer y se agitó en el Vortex por 10 minutos. Luego se agregó 150 μl de DS Buffer y se agitó nuevamente por 10 segundos para llevar a cabo una lisis celular de los microorganismos presentes en la muestra. Seguidamente, se incubó la muestra a 70°C por 15

minutos. Finalmente se centrifugó la muestra a 7000 rpm por 5 minutos a temperatura ambiente.

- El sobrenadante se transfirió a tubos Eppendorf y se agregó 270 μ l de P2 Buffer. Esta muestra se agitó en Vortex, y se incubó en hielo por 10 minutos. Luego se centrifugó a 13000 rpm por 10 minutos, para poder eliminar sedimentos y contaminación. Nuevamente se transfirió el sobrenadante de la muestra a la cual se agregó 800 μ l de Isopropanol. Seguidamente se llevó a incubar a -20 °C por una hora.

En la figura 9 se ilustra el Pellet donde se encuentra ubicado el ADN, que se obtiene tras el proceso anteriormente realizado y el secado que se realizó mediante la inversión del tubo Eppendorf.

Figura 9. Pellet de la muestra.

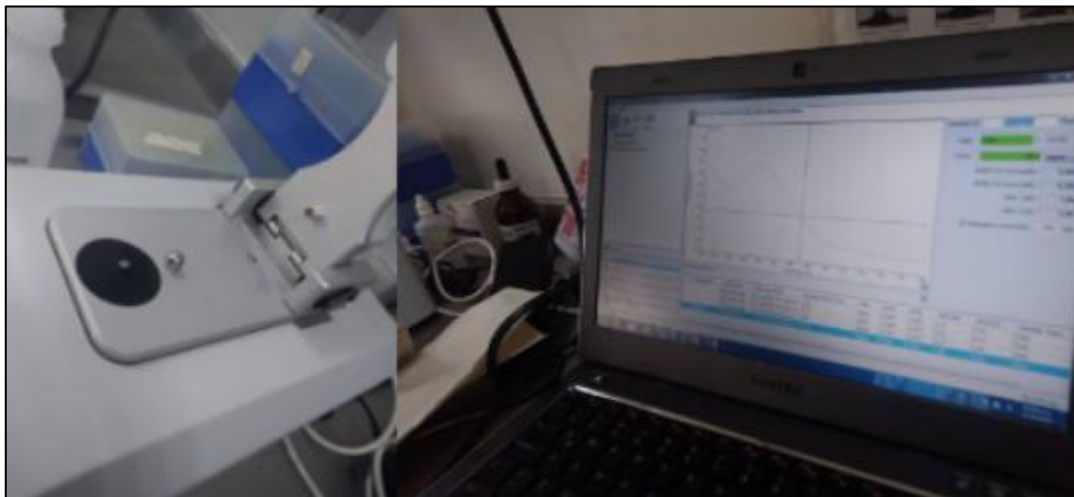


Fuente: Laboratorio de Biología Molecular y Biotecnología UDES (2018).

- Al Pellet obtenido se agregó 250 μ l de Buffer de elución y se agitó en Vortex y se calentó por 25 minutos en el horno-agua a 70°C. Seguidamente se mezcló y se dejó a temperatura ambiente por 5 minutos. Continuamente se agregó 150 μ l de CHTR, se centrifugó a 13000 rpm por 5 minutos, y se transfirió el sobrenadante (mínimo 800 μ l) a las columnas para hacer lavado con 400 μ l de XP1 Buffer y se centrifugó por 1 min a 13000 rpm descartando el filtrado al final.

- Posteriormente se adicionó 1500 μl de HBC/isopropano a las columnas para precipitar el ADN separándolo del filtrado mediante la centrifugación por 1 minuto. El ADN se lavó con 750 μl de DNA Wash Buffer (Etanol), y se centrifugó por 1 minuto a la misma velocidad anteriormente mencionada, repitiendo este procedimiento hasta agotar el etanol.
- Finalmente se transfirió el ADN a nuevas columnas de lavado en las cuales se adicionó 90 μl del buffer de elución y se centrifugó por 1 minuto, calentando después en el horno/agua a 70°C por 2 minutos. Para unificar la colecta del ADN, las columnas se ubicaron en el mismo tubo de microcentrifuga y se reunió un volumen de 200 μl . Este material se conservó refrigerado para su posterior cuantificación.
- En la figura 10 se ilustra la cuantificación de ADN utilizando el espectrofotómetro Nanodrop2000 (Thermo Scientific). En el pedestal del equipo se agregó 2 μl de ADN y se realizó la lectura a 260nm (longitud de onda). Las mediciones se realizaron por triplicado. Cabe señalar que la concentración requerida para el envío a secuencia fue $>60 \text{ ng}/\mu\text{l}$.

Figura 10. Programa Nanodrop.



Fuente: Laboratorio de Biología Molecular y Biotecnología UDES (2018).

- **Amplificación por PCR y secuenciación utilizando el programa Miseq Illumina.**

Las muestras se enviaron al laboratorio de MacroGen (Corea) quienes son los proveedores de los servicios de metagenómica. Este proceso consistió en una amplificación por PCR utilizando los cebadores Bakt F y R estándar en la amplificación por Illumina, además se flanquean un amplificado de ~300 pb del gen 16Sr procariota. Acto seguido se realiza el proceso de llamado de secuencias en la plataforma MiSeq.

Se recibieron archivos (*fasta) para las 10 muestras enviadas aproximadamente 2.5 millones de secuencias con una medida de Phred de 30.

- Análisis de secuencias

Una vez se recibió los archivos *fasta, se realizó la verificación de calidad en la plataforma FastQC (<https://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc/>) acto seguido se realizó la remoción de secuencias técnicas (cebadores e indicadores producto de la secuenciación) y se cargaron las secuencias en el servido MG-Rast, para el proceso de anotación filogenética.

- **Uso de las herramientas bioinformáticas para la identificación de las familias: MG-RAST.**

Finalmente, se crean unas bibliotecas, donde están ubicadas las secuencias de interés, datos que fueron utilizados para aplicación de la herramienta bioinformática MG-RAST (Metagenomics Rapid Annotation using Subsystem Technology, por sus siglas en inglés), en los Laboratorios de Microbiología de la Universidad de Santander (UDES). Esta herramienta se aplicó para verificar la agrupación y anotación de los datos de cada muestra por medio de la ayuda de algoritmos basados en similitud, y así poder obtener las asignaciones taxonómicas.

3.2 EVALUACIÓN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN SUELOS CULTIVADOS CON ANANAS COMOSUS TRAS LA APLICACIÓN DEL INSECTICIDA BIOLÓGICO.

Para analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo cultivado con *Ananas comosus* tras la aplicación del insecticida biológico se tomó las muestras del suelo un día después de la primera fumigación y después de la última aplicación según el cronograma especificado en la tabla 8 de este documento.

La selección de los parámetros y la metodología aplicada se realizará según lo descrito en el capítulo 3.1. Todos los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado.

3.3 ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS PRESENTES EN LA MICROBIOLOGÍA DEL SUELO CULTIVADO CON ANANAS COMOSUS TRATADO CON EL INSECTICIDA BIOLÓGICO.

Para analizar las propiedades microbiológicas del suelo cultivado con *Ananas comosus* tras la aplicación del insecticida biológico, se tomó las muestras del suelo un día después de la primera fumigación y después de la última aplicación.

La metodología aplicada se realizará según lo descrito en el capítulo 3.1.

4. DATOS Y ANALISIS.

A continuación, se reportan los datos recolectados en la parte experimental con su respectivo análisis.

4.1 VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS INICIALES DEL SUELO, DESTINADO PARA EL CULTIVO DE *Ananas comosus* EN EL MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER.

4.1.1 Determinación inicial de las propiedades fisicoquímicas de los suelos B, C y FB.

En la tabla 11 se resumen los valores iniciales de los parámetros físicos y químicos de los suelos B, C y FB.

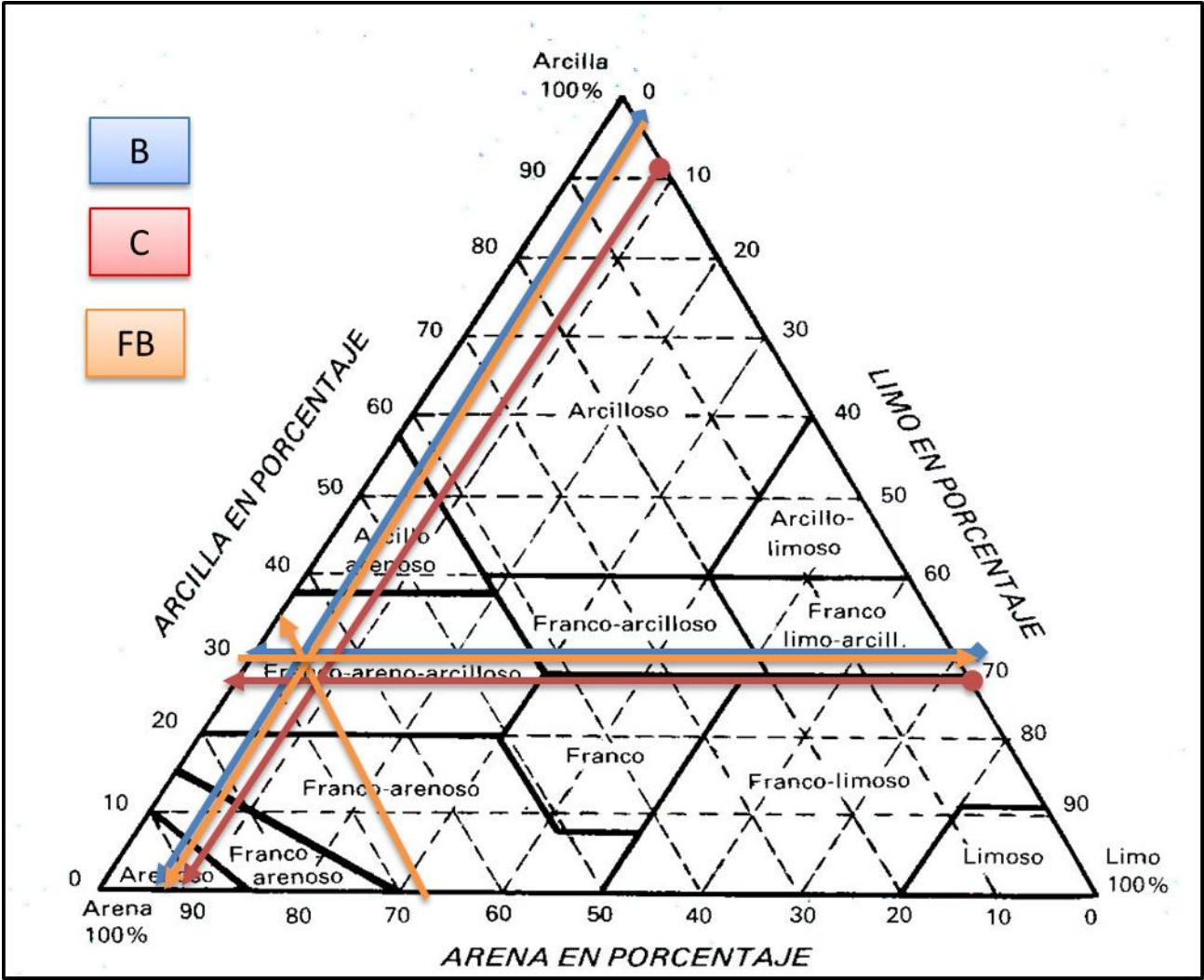
Tabla 11. Caracterización fisicoquímica iniciales de los suelos B, C y FB.

Tipo de Análisis	Determinación		Suelos		
			B	C	FB
Físicos	Textura (Bouyoucos)	Arcilla (%)	26,0	22,4	26,0
		Limo (%)	5,3	8,9	5,9
		Arena (%)	68,7	68,7	68,1
		Clasificación	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso
	Infiltración (H ₂ O cm /h)		268,9	175,9	-
	Densidad aparente (g/ml)		1,6	1,6	1,6
	Porosidad (%)		18,7	25,6	15,87
	Densidad real (g/ml)		2,0	2,2	2,0
	Humedad Gravimétrica (%)	día 1	2,4	3,7	7,1
		día 2	2,0	2,9	5,3
día 3		1,4	2,4	3,9	
día 4		1,1	0,9	1,7	
Químicos	pH		4,7	4,2	4,5
	Aluminio Intercambiable (meq/100g)		3,3	3,2	3,5
	Acidez Intercambiable (meq/100g)		3,5	3,1	3,9
	Capacidad de Intercambio Catiónico [meq / 100 g]		12,4	9,1	7,7
	Carbono orgánico total (%)		0,72	0,61	0,96
	Materia Orgánica (%)		1,7	2,5	2,3
	Fosforo total (mg PO ₄ /kg)		120	104	179
	Nitrógeno total (mg NTK/kg)		448	476	420
	Conductividad Eléctrica (dS/m)		0,61	0,52	0,51

Fuente: Autora.

En la figura 11 se observa los triángulos texturales iniciales para el suelo B, C y FB según su porcentaje de arcilla, limo y arena.

Figura 11. Triángulos texturales inicial de los suelos B, C y FB.



Fuente: Autora.

En la tabla 11 se puede observar que los tres suelos presentan la misma textura franco arcilloso-arenoso, siendo el suelo C con menor porcentaje de arcilla y mayor cantidad de limo, lo cual se puede visualizar en los triángulos texturales.

En la tabla 11 se puede ver que la densidad aparente de los tres suelos es $1,6 \text{ g/m}^3$ pero la pequeña diferencia que presenta el suelo C en la densidad real ($2,2 \text{ g/m}^3$) con respecto a los demás suelos ($2,0 \text{ g/m}^3$), hace que la porosidad de este suelo es mayor, lo cual se puede relacionar con menor porcentaje de arcilla y mayor cantidad de limo respecto a los otros suelos.

En cuanto las propiedades químicas, se destaca muy bajo valor de pH en los tres suelos, siendo el pH del suelo B más elevado de los tres (4,7). Teniendo en cuenta que este suelo no fue sembrado con la piña, se puede atribuir la reducción del pH a este cultivo. Aún así el valor del pH presentado es típico para el rango reportado en la literatura para este tipo de siembra (Malezieux, Cote, & Bartholomew, 2003).

Debido a lo anterior, se manifiesta alta acidez en los tres suelos, lo cual se relaciona con la disponibilidad de aluminio intercambiable presente en los tres suelos y en consecuencia el efecto tóxico que puede ejercer para este cultivo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) revela la presencia de los iones negativos que atraen los cationes que son esenciales para la fertilidad del suelo. Entre los suelos de interés se destaca el suelo B que tiene mayor valor de CIC inicial debido a su mayor pH.

Los tres suelos presentan bajo porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico total, pero alta concentración de fósforo, el cual oscila entre $33,9 - 58,34 \text{ mg P/kg}$, correspondiente a un rango de $104-179 \text{ (mg PO}_4\text{/kg)}$ (Ver anexo A) (López, 2016) (Sanchez, 2015). En cuanto al contenido de nitrógeno la literatura reporta un rango de $0,032 \% - 0,063 \%$ característico para suelos pobres, siendo los 3 suelos analizados con un intervalo $0,042 \% - 0,047\%$, los cuales se ubican dentro de este nivel (Fernandez, 2006).

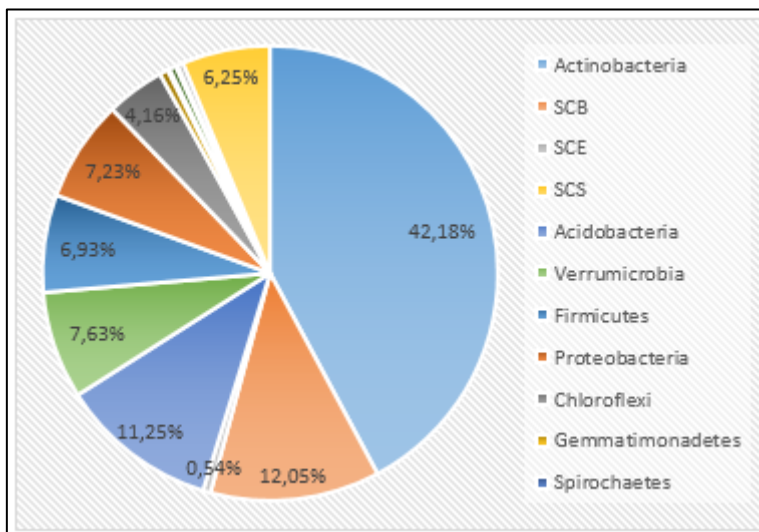
4.1.2 Determinación inicial de la microbiota en los suelos de interés.

Análisis microbiológico inicial se realizó solamente en los suelos B y C, debido a que el suelo B no tenía cultivo de piña, en cambio el suelo C inició la siembra al tomar la muestra M1. En las mismas

condiciones se encontraba el suelo FB, por lo cual se tomó la muestra en área del suelo C como referencia para ambos suelos.

En la figura 12, se ilustra la clasificación de microorganismos por Filo de la muestra M1 en el suelo B.

Figura 12. Clasificación de microorganismos por Filo en la muestra M1 en el suelo B.



Fuente: Autora.

En la figura 12, se observan que los filos predominantes en la muestra M1 en el suelo B son: *Actinobacterias* (42%), *Acidobacterias* (11,20%), seguido de las *Verumicrobia* (7,60%), *Proteobacterias* 7,20%, *Firmicutes* (6,20%), *Cloroflexi* (4,14%), y un 12% representan la población descrita como Bacteria sin Clasificar (SCB). Finalmente, se muestran las poblaciones Eucariotas sin Clasificar (SCE) lo cual indica que son secuencias que tienen una afiliación con eucariotas y SCS que son las secuencias que no pudo ser clasificadas por el programa MG-RAST. Todos los Filo anteriormente mencionados se consideran habitantes comunes en los suelos (Frioni, 2005).

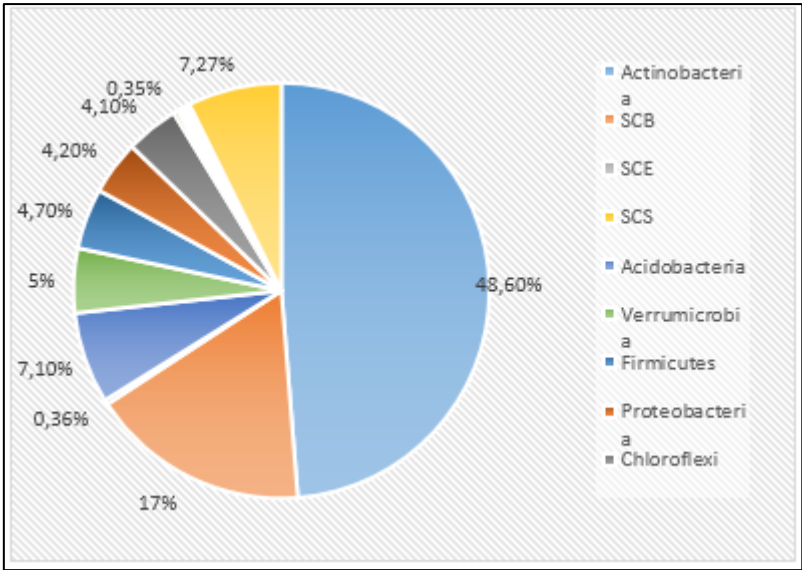
Considerando, un alto porcentaje (12%) de las bacterias sin clasificar (SCB) se debe tener en cuenta, que este es un estudio pionero, cual permite revelar la existencia de muchos microorganismos los cuales no fueron estudiados en las condiciones de un suelo cultivado con la piña, por lo cual hay una escases de la información presente en la literatura, para estos casos. Por lo anterior se desconoce una

gran cantidad de microorganismos presentes en el suelo, pero no identificados mediante las técnicas de cultivo.

Adicionalmente, se reporta un pequeño porcentaje de microorganismos, como los *Gemmatimonadetes* (0,60%), *Spirochaetes* (0,15%) y *Bacteroidetes* (0,13%) (Ver anexo B).

En la figura 13 se reporta la clasificación de microorganismos por Filo de la muestra M1 en el suelo C.

Figura 13. Clasificación de microorganismos por Filo en la muestra M1 en el suelo C.



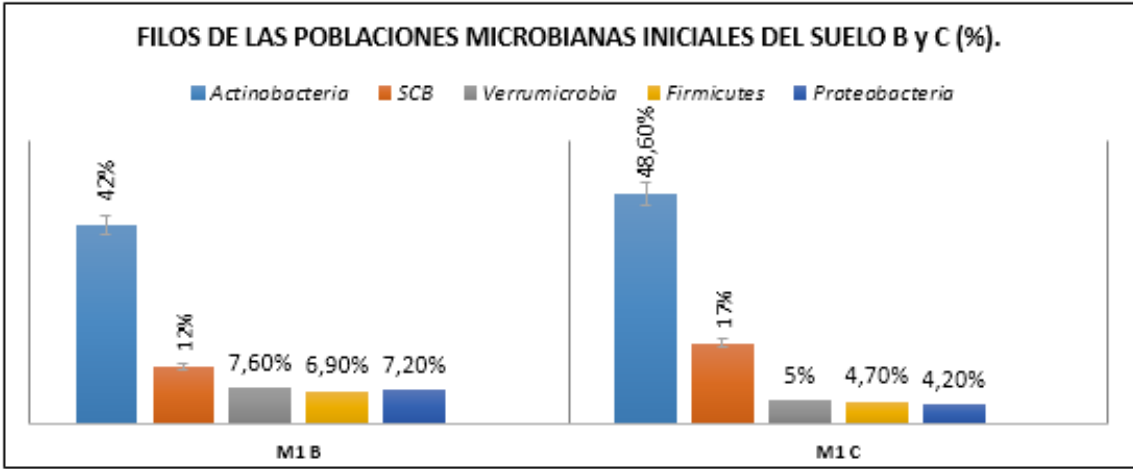
Fuente: Autora.

En la muestra inicial del suelo C se observan los filos como *Actinobacterias* con un porcentaje predominante casi del 50% de la microbiota presente (Ver figura 13). También, se presentan comunidades como *Acidobacteria* y *Planctomycetes* entre 7,10 – 7,27% y 17% de los microorganismos no identificados (SBC). El alto porcentaje de las bacterias no identificadas se debe a la razón sustentada anteriormente.

De igual manera, se observa un porcentaje de menor proporción de microorganismos, como *Gemmatimonadetes* (0,35%), *Spirochaetes* (0,29%) y *Bacteroidetes* (0,24%). A diferencia del suelo B, se manifiesta un último género *Thermotogae* (0,21%).

En la figura 14 se reporta la comparación de los filos de las poblaciones microbianas iniciales presentes en los suelo B y C.

Figura 14. Comparación de los filos de las poblaciones microbianas presentes en el suelo B y C.



Fuente: Autora.

En la figura 14, se observa la presencia predominante del filo *Actinobacteria*, deduciendo que estas bacterias poseen una mayor diversidad microbiológica del suelo estudiado, con o sin cultivo de piña (Frioni, 2005). De igual manera los dos suelos reportan presencia de los mismos filos en porcentaje comparable donde resalta 17% de los microorganismos sin clasificar en el suelo C, lo cual puede indicar la presencia de algunas bacterias asociadas con el rizoma de la piña.

4.2 EVALUACIÓN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN SUELOS CULTIVADOS CON ANANAS COMOSUS TRAS LA APLICACIÓN DEL INSECTICIDA BIOLÓGICO.

A continuación, se reportan los resultados de las propiedades fisicoquímicas en suelos cultivados con *Ananas comosus* tras la aplicación del insecticida biológico.

4.2.1 Cambios de las propiedades fisicoquímicas en el suelo B.

En la tabla 12, se reportan los cambios de propiedades fisicoquímicas en el suelo B, en el cual no se le realizó el cultivo ni la aplicación del bioinsecticida

Tabla 12. Cambios de los parámetros fisicoquímicos en el suelo B

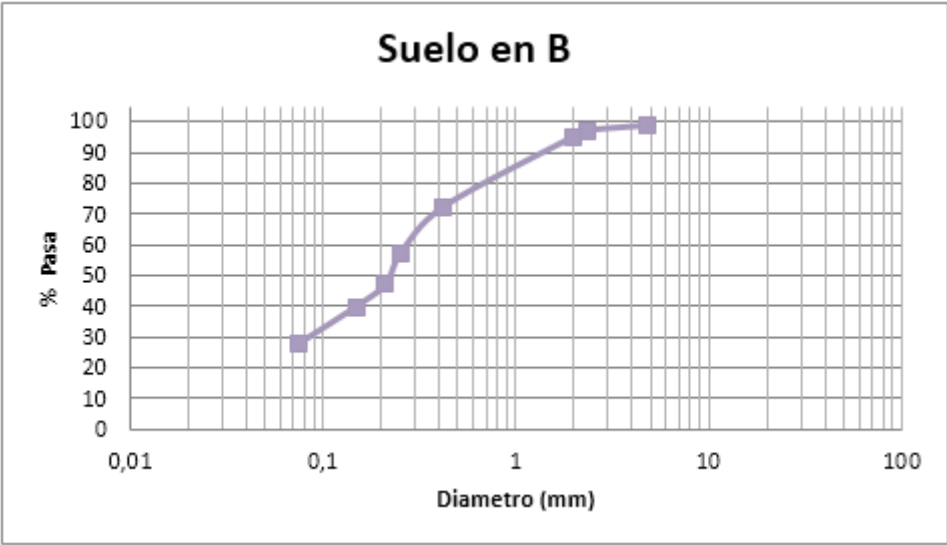
Tipo de Análisis	Determinación		SUELO B		
			M1	M3	M5
Físicos	Textura (Bouyoucos)	Arcilla (%)	26	22	20,05
		Limo (%)	5,3	10,61	9,28
		Arena (%)	68,7	67,39	70,67
		Clasificación	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso
	Infiltración (H2O cm/h)		268,9	239,3	153,9
	Densidad aparente (g/ml)		1,64	1,29	1,43
	Porosidad (%)		18,7	36,45	38,22
	Densidad real (g/ml)		2,0	2,0	2,3
	Humedad Gravimétrica (%)	día 1	2,4	2,4	1,8
		día 2	2	2,1	1,2
		día 3	1,4	1,8	0,8
		día 4	1,1	1,1	0,6
Químicos	pH		4,7	4,6	4,4
	Aluminio Intercambiable (meq/100g)		3,5	3,3	2,8
	Acidez Intercambiable (meq/100g)		3,3	3,3	2,8
	Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)		12,4	8,1	7,8
	Carbono orgánico total (%)		0,72	0,6	x
	Materia Orgánica (%)		1,7	2,2	1,7
	Fosforo total (mg PO4/kg)		120	141	x
	Nitrógeno total (mg NTK/kg)		448	504	x
	Conductividad Eléctrica (dS/m)		0,61	0,71	1,17

Fuente: Autora.

En el transcurso de tiempo de experimentación se observó una leve disminución del porcentaje de arcilla y respectivo aumento del porcentaje de limo en el suelo B. Sin embargo, la textura de este suelo logra mantenerse en franco arcilloso-arenoso. El cambio de la densidad real, cual aumenta durante el periodo de tiempo experimental tiene relación con el aumento del porcentaje de arena presentado en la tabla 12 entre los muestreos M1 y M5. El suelo B presentó un bajo porcentaje de humedad, cual varía de acuerdo con el clima presentado en la zona.

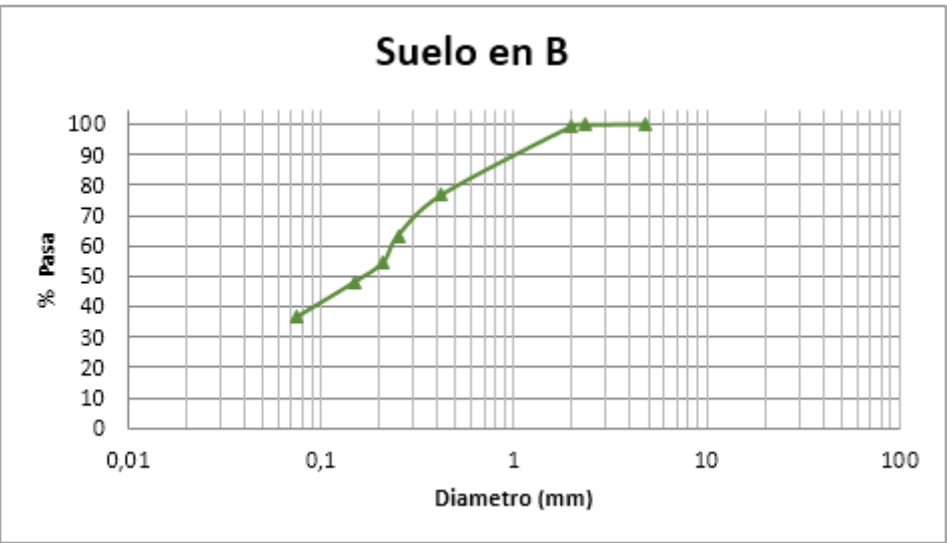
Considerando los cambios presentados en las figuras 14, 15 y 16 correspondientes a la curva granulométrica se pueden relacionar los descendientes valores de la permeabilidad e infiltración para el suelo B con el aumento de porcentaje de las partículas pequeñas de rango 0.1 a 1 mm y un proceso adicional de compactación de suelo que no ha sido trabajado durante el periodo analizado.

Figura 15. Curva granulométrica el suelo B en la muestra M1.



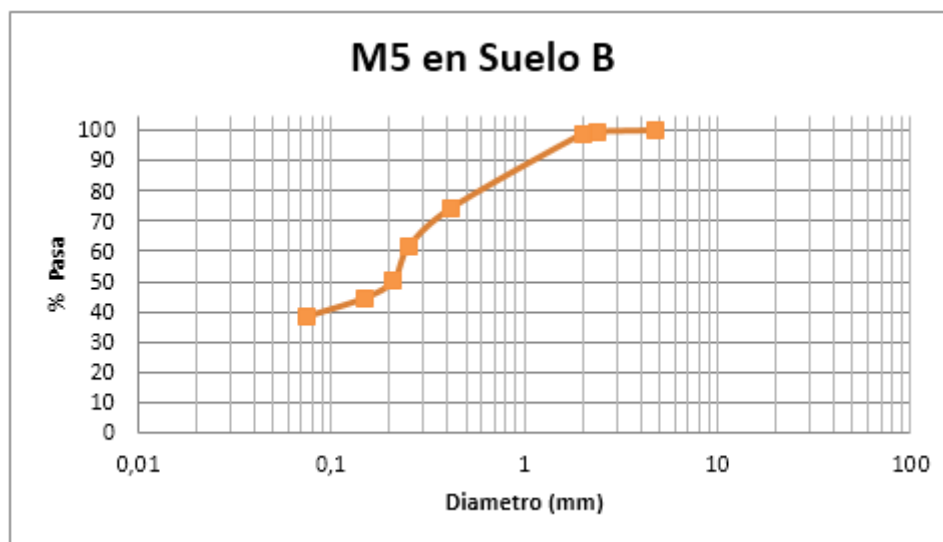
Fuente: Autora.

Figura 16. Cambio de la Textura para el suelo B en la muestra M3.



Fuente: Autora.

Figura 17.Curva granulométrica el suelo B en la muestra M5.



Fuente: Autora.

En cuanto a las propiedades químicas el pH de suelo B tiende a bajar de un valor inicial de 4,7 a uno 4,4, por lo cual el aluminio intercambiable también baja de valor de 3,5 a 2,8 meq/100g, pero aún sigue siendo disponible y puede ejercer su efecto tóxico en este tipo de suelo.

Los valores de intercambio catiónico, así como el porcentaje de materia orgánica y carbón orgánico total han bajado al final del proceso, lo cual indica un deterioro de este suelo, cual no tiene actividad agrícola.

Los reportes de la conductividad eléctrica del suelo B, indicaron un incremento de 0,71 dS/m hasta un valor de 1,17 dS/m, lo cual significa un aumento de sales, pero sigue clasificado como un suelo no salino. La posible causa de este cambio podría ser la disminución de valores de pH y consecuente aumento de iones H^+ en este suelo.

El aumento del fósforo y nitrógeno está relacionado con un tratamiento de fertilización que se aplicó igual a los tres suelos analizados.

4.2.2 Cambios de las propiedades fisicoquímicas en el suelo C.

En la tabla 13 se reportan los cambios de propiedades físicas químicas en el suelo C, en el cual se realizó el cultivo de piña, pero no la aplicación del bioinsecticida.

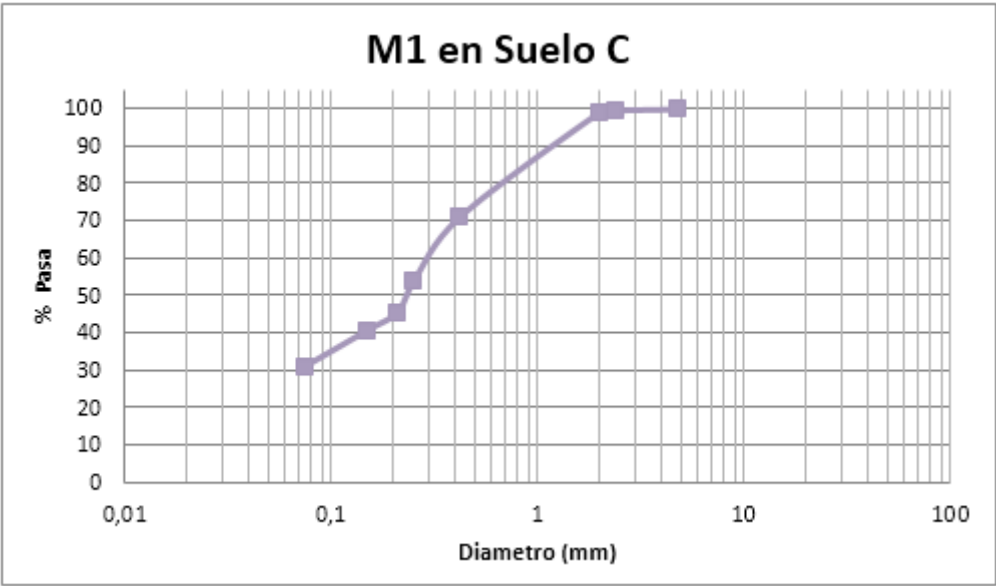
Tabla 13. Cambios de los parámetros fisicoquímicos en el suelo C.

Tipo de Análisis	Determinación		SUELO C		
			M1	M3	M5
Físicos	Textura (Bouyoucos)	Arcilla (%)	22,43	20,67	18,05
		Limo (%)	8,85	5,33	5,28
		Arena (%)	68,72	74,0	76,67
		Clasificación	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso	Franco-arenoso
	Infiltración (H ₂ O cm/h)		365,8	47,5	115,1
	Densidad aparente (g/ml)		1,64	1,29	1,35
	Porosidad (%)		25,60	33,16	43,75
	Densidad real (g/ml)		2,2	1,9	2,2
	Humedad Gravimétrica (%)	día 1	3,7	4,1	2,9
		día 2	2,9	2,2	2
		día 3	2,4	1,7	1,8
		día 4	0,9	1,3	1,3
Químicos	pH		4,2	3,9	3,8
	Aluminio Intercambiable (meq/100g)		3,1	3,1	2,6
	Acidez Intercambiable (meq/100g)		3,2	3,1	3,1
	Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)		9,1	6,8	8,8
	Carbono orgánico total (%)		0,61	0,74	x
	Materia Orgánica (%)		2,5	2,6	1,8
	Fosforo total (mg PO ₄ /kg)		104	119	x
	Nitrógeno total (mg NTK/kg)		476	532	x
	Conductividad Eléctrica (dS/m)		0,52	0,64	2,44

Fuente: Autora.

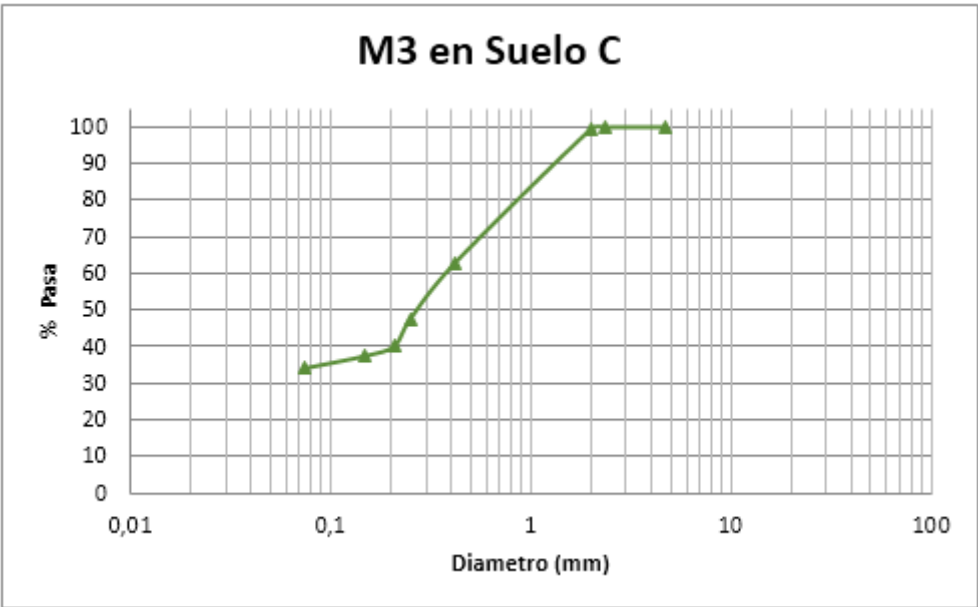
En la figura 17, 18 y 19 se encuentran los porcentajes de gravas, arenas y finos del suelo C en la curva granulométrica.

Figura 18.Curva granulométrica para el suelo C en la muestra M1.



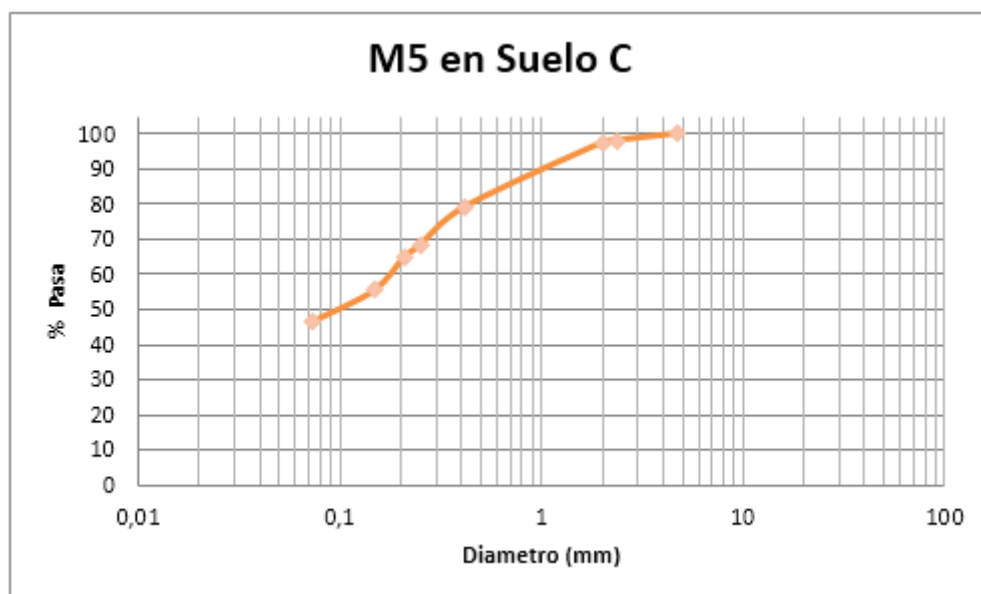
Fuente: Autora.

Figura 19. Curva granulométrica para el suelo C en la muestra M3.



Fuente: Autora.

Figura 20. Curva granulométrica para el suelo C en la muestra M5.



Fuente: Autora.

El suelo C presentó un cambio de porcentaje de arcilla y limo más significativo a comparación con el suelo B, lo cual se manifestó en un cambio de textura de franco-arcillosa-arenosa a franco arenosa al final del proceso. Esto indica una degradación de la textura causada por el cultivo de la piña.

Analizando las figuras 17,18 y 19 que representan las curvas granulométricas del suelo C, se observa el aumento del porcentaje de las partículas de diámetro entre 0,1 a 1 mm, cual finalmente conduce al cambio de la textura de franco arcilloso arenoso a franco arenoso. Este cambio se refleja en una variación de la infiltración cual, tras un descenso, aumentó en el último muestreo, lo cual tiene coherencia con el aumento del porcentaje de porosidad y la densidad real.

El suelo C presenta mayor humedad que el suelo B debido a cultivo de la piña sostenido durante el tiempo de experimentación.

El pH del suelo C presentó un leve descenso de su valor a 3,8 el cual se mantuvo en los dos últimos muestreos (M3 y M5). Aún así, este resultado es muy bajo y se debe a la presencia del cultivo de la piña, lo cual se evidencia al comparar el pH de los suelos B y C, siendo el suelo sin cultivo (B) con este valor más alto.

Aunque la acidez del suelo C se mantiene, el aluminio intercambiable disminuye su valor ligeramente al finalizar los ensayos, probablemente por el descenso del pH.

Los valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) oscilan entre el rango de 9,1 a 8,8 meq/100g al igual que la materia orgánica, cual presenta cambios en un rango de 2,5 a 1,8 %. Ambos parámetros disminuyen su valor con respecto al resultado inicial debido al sostenimiento del cultivo de piña.

El aumento del nitrógeno y fósforo en el suelo C se puede justificar con la fertilización constante del suelo durante el tiempo de experimentación.

Un cambio importante de la conductividad eléctrica en el suelo C, cual aumentó de un valor de 0,52dS/m a 2,44dS/m puede relacionarse con un descenso drástico de pH y en consecuencia aumento de H^+ en este suelo.

4.2.3 Cambios de las propiedades fisicoquímicas en el suelo FB.

En la tabla 14 se reportan los cambios de propiedades físicas químicas en el suelo FB, en el cual se realizó el cultivo de piña y la aplicación del bioinsecticida.

Tabla 14. Cambios de los parámetros fisicoquímicos en el suelo FB.

Tipo de Análisis	Determinación		SUELO FB				
			M1	M2	M3	M4	M5
Físicos	Textura (Bouyoucos)	Arcilla (%)	26	23,3	24	24,8	20,7
		Limo (%)	6,0	8,0	8,0	7,3	9,3
		Arena (%)	68,1	68,7	69,2	68,1	70
		Clasificación	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso	Franco arcilloso - arenoso
	Infiltración (H ₂ Ocm/h)		-	-	-	-	226,74
	Densidad aparente (g/ml)		1,64	-	1,29	-	1,52
	Porosidad (%)		15,9	-	24,6	-	35,8
	Densidad real (g/ml)		1,95	1,93	2,39	1,71	2,15
	Humedad Gravimétrica (%)	día 1	7,1	4,8	4,6	4,8	4,2
		día 2	5,3	4,1	3,3	3,7	2,7
		día 3	3,9	3,7	3,4	3,6	2,3
		día 4	1,7	1,9	1,6	1,9	1,3
Químicos	pH		4,5	4,4	4,3	4,4	3,9
	Aluminio Intercambiable (meq/100g)		3,9	3,3	2,8	2,1	3,1
	Acidez Intercambiable (meq/100g)		3,5	3,5	3,0	2,5	3,6
	Capacidad de Intercambio Catiónico [meq / 100 g]		7,7	8,3	10,3	8,1	10,7
	Carbono orgánico total (%)		0,96	0,73	0,74	0,73	x
	Materia Orgánica (%)		2,3	2,0	2,2	2,5	2,7
	Fosforo total (mg PO ₄ /kg)		179	140	133	136	x
	Nitrógeno total (mg NTK/kg)		420	532	560	504	x
	Conductividad Eléctrica (dS/m)		0,51	0,42	0,60	0,96	1,82

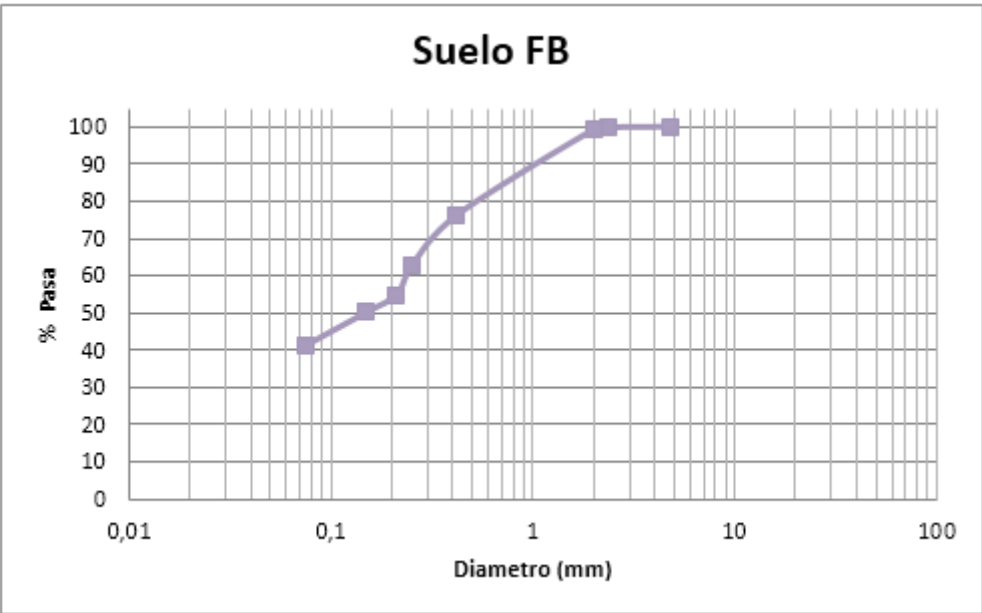
Fuente: Autora.

Durante el tiempo de experimentación el suelo FB aumentó ligeramente el porcentaje de las arenas y se redujo el porcentaje las arcillas en pequeña proporción, siendo estas variaciones intrascendentes por lo cual no cambió su textura del suelo. Los cálculos correspondientes a la textura por medio de bouyoucos se depositan en el Anexo C.

Teniendo en cuenta que este suelo fue influenciado tanto por la fumigación con el bioinsecticida como por la siembra, se puede considerar que la fumigación contrarrestó el efecto negativo impartido por

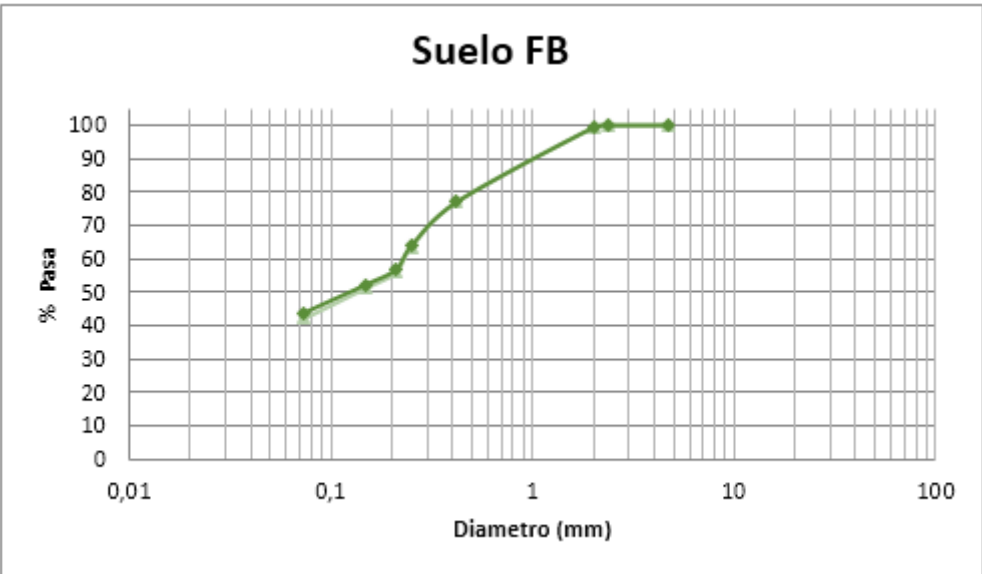
el cultivo de la piña, como mantener su textura inicial, condición que no presentó para el suelo C por lo tanto se deterioró su textura.

Figura 21.Curva granulométrica para el suelo FB en la muestra M1.



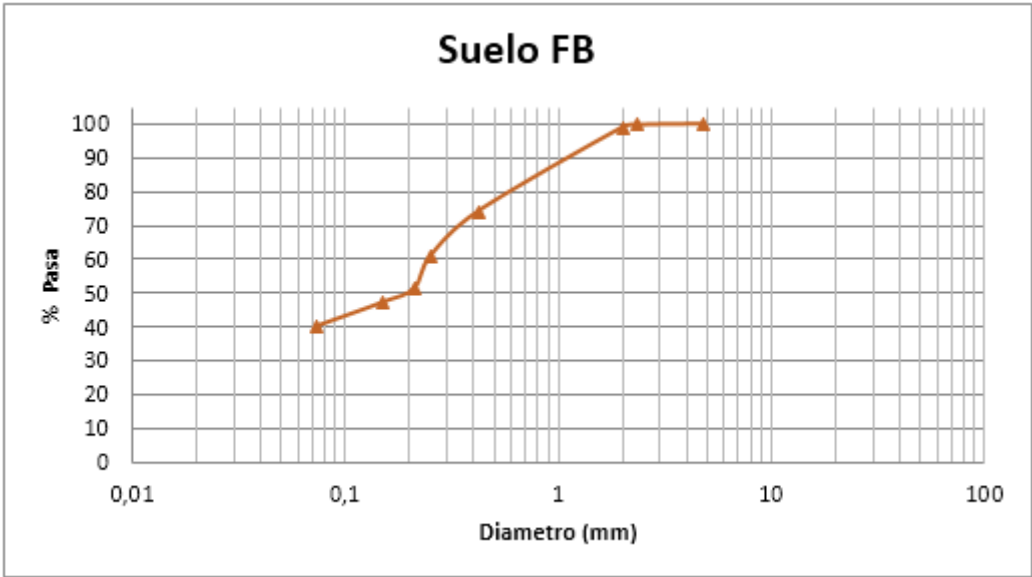
Fuente: Autora.

Figura 22. Curva granulométrica para el suelo FB en la muestra M2.



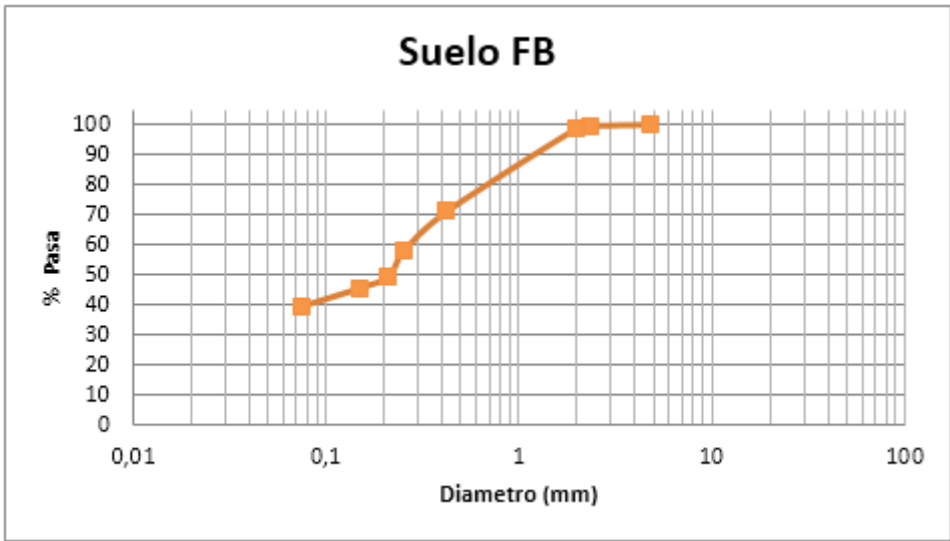
Fuente: Autora.

Figura 23. Curva granulométrica para el suelo FB en la muestra M3.



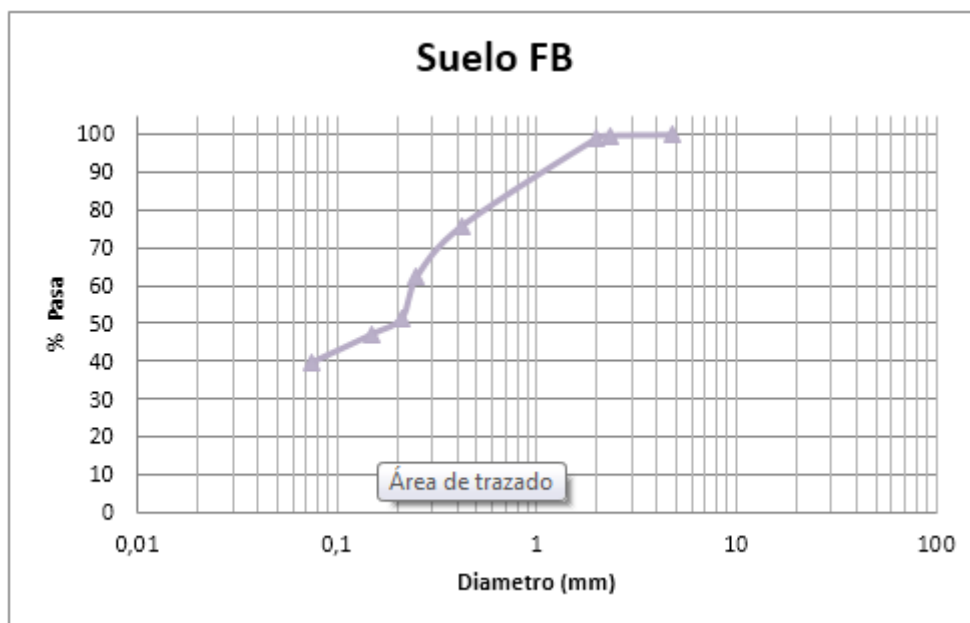
Fuente: Autora.

Figura 24. Cambio de la Textura para el suelo FB en la muestra M4.



Fuente: Autora.

Figura 25. Cambio de la Textura para el suelo FB en la muestra M5.



Fuente: Autora.

Lo anterior está relacionado también con la disminución de la densidad aparente, cual refleja una disminución de espacios libres ocupados con partículas de un diámetro pequeño, cuales aumentaron su proporción en este suelo. Aun así, alto porcentaje de arena se manifiesta en gran valor de porosidad registrado para este suelo.

Nuevamente, se puede ver la relación entre mayor humedad que presenta este suelo con respecto a los suelos C y B (Ver anexo C), siendo la pérdida de la misma más lenta, debido al mayor contenido de arcilla en la textura del suelo FB, lo cual se puede verificar en las curvas granulométricas (Ver figuras 19-23), de igual manera, se correlaciona con los aportes de fumigaciones realizados cada dos semanas lo cual aporta humedad en este suelo.

Cabe mencionar que de igual manera los suelos C, B y FB poseen una humedad gravimétrica muy baja (Ver anexo D), que es característica para la zona, por lo cual se requiere un riego constante de cultivo (Albán, 2009)

Entre las propiedades químicas presentadas para el suelo FB se observa una disminución del pH, cual en el último muestreo registró un valor 3.9 que es un resultado intermedio entre los valores que se obtuvieron para los suelos B y C (4,4 y 3,8 respectivamente). Se puede destacar que en este suelo el pH tiende a mantenerse en el primer mes mientras que en el suelo C hay un descenso rápido de 4,2 a 3,8 presentado en el mismo tiempo.

Los valores de acidez guardan coherencia con el pH del suelo FB y el aluminio intercambiable.

Al analizar el comportamiento de Al^{+3} en los tres suelos se observa, que a medida que pasa el tiempo su valor tiende a una ligera disminución, lo cual se podría explicar por su posible interacción con el fósforo, elemento que se encuentra en estos suelos en la concentración suficiente para formar respectivo complejo (Kochian, 2005).

Aunque en el transcurso de tiempo experimental en el suelo FB se observó un ligero descenso del carbono orgánico que baja de 0,96 a 0,73% (Ver anexo D), el valor de CIC aumenta, junto con la materia orgánica y la conductividad eléctrica, lo cual podría atribuirse a la agregación de bioinsecticida.

La continua fertilización del suelo FB se refleja en una oscilación de los valores de la concentración del fósforo y el nitrógeno en esta área.

En la tabla 15, se observa el resumen de los datos fisicoquímicos analizados anteriormente, en los suelos B, C y FB.

Tabla 15. Resumen de la caracterización fisicoquímica en los suelos B, C y FB.

Tipo de Análisis	Determinación		SUELO B			SUELO C			SUELO FB					Resumen de Análisis
			M1	M3	M5	M1	M3	M5	M1	M2	M3	M4	M5	
Físicos	Textura (Bouyoucos)	Arcilla (%)	26	22	20,05	22,43	20,67	18,05	26	23,3	24	24,8	20,7	La textura del suelo se mantuvo en todas las muestras, sin embargo, el suelo C presenta un cambio a los 8 meses de muestreo (M5).
		Limo (%)	5,3	10,61	9,28	8,85	5,33	5,28	6	8	8	7,3	9,3	
		Arena (%)	68,7	67,39	70,67	68,72	74	76,67	68,1	68,7	69,2	68,1	70	
		Clasificación	Franco arcilloso - arenoso					Franco-arenoso	Franco arcilloso - arenoso					
	Infiltración (H2O cm/h)		268,9	239,3	153,9	175,9	47,5	115,03	-	-	-	-	-	Todos presentan una Infiltración rápida.
	Densidad aparente (g/ml)		1,64	1,29	1,43	1,64	1,29	1,35	1,64	-	1,29	-	1,52	Mayor a una densidad de 1,6 predomina las partículas gruesas.
	Porosidad (%)		18,7	36,45	38,22	25,6	33,16	39,25	15,87	-	24,56	-	29,24	Alta porosidad.
	Densidad real (g/ml)		2,0	2,0	2,3	2,2	1,9	2,2	2,0	1,93	2,4	1,7	2,2	Bajo porcentaje de humedad gravimétrica.
	Humedad Gravimétrica (%)	día 1	2,4	2,4	1,8	3,7	4,1	2,9	7,1	4,8	4,6	4,8	4,2	
		día 2	2	2,1	1,2	2,9	2,2	2	5,3	4,1	3,3	3,7	2,7	
día 3		1,4	1,8	0,8	2,4	1,7	1,8	3,9	3,7	3,4	3,6	2,3		
día 4		1,1	1,1	0,6	0,9	1,3	1,3	1,7	1,9	1,6	1,9	1,3		
Químicos	pH		4,7	4,6	4,4	4,2	3,9	3,8	4,5	4,4	4,3	4,4	3,9	Todos los suelos se clasifican como pH ácidos.
	Aluminio Intercambiable (meq/100g)		3,5	3,3	2,8	3,1	3,1	2,6	3,9	3,3	2,8	2,1	3,1	Contienen una alta toxicidad de aluminio y acidez.
	Acidez Intercambiable (meq/100g)		3,3	3,3	2,8	3,2	3,1	3,1	3,5	3,5	3	2,5	3,6	
	Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)		12,4	8,1	7,8	9,1	6,8	8,8	7,7	8,3	10,3	8,1	10,7	Bajo CIC
	Carbono orgánico total (%)		0,72	0,6	x	0,61	0,74	x	0,96	0,73	0,74	0,73	x	Bajo
	Materia Orgánica (%)		1,7	2,2	1,7	2,5	2,6	1,8	2,3	2	2,2	2,5	2,7	Bajo
	Fosforo total (mg PO4/kg)		120	141	x	104	119	x	179	140	133	136	x	Alto
	Nitrógeno total (mg NTK/kg)		448	504	x	476	532	x	420	532	560	504	x	Bajo
	Conductividad Eléctrica (dS/m)		0,61	0,71	1,17	0,52	0,64	2,44	0,51	0,42	0,6	0,96	1,82	No Salino

Fuente: Autora.

4.3 ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS PRESENTES EN LA MICROBIOLOGÍA DEL SUELO CULTIVADO CON ANANAS COMOSUS TRATADO CON EL INSECTICIDA BIOLÓGICO.

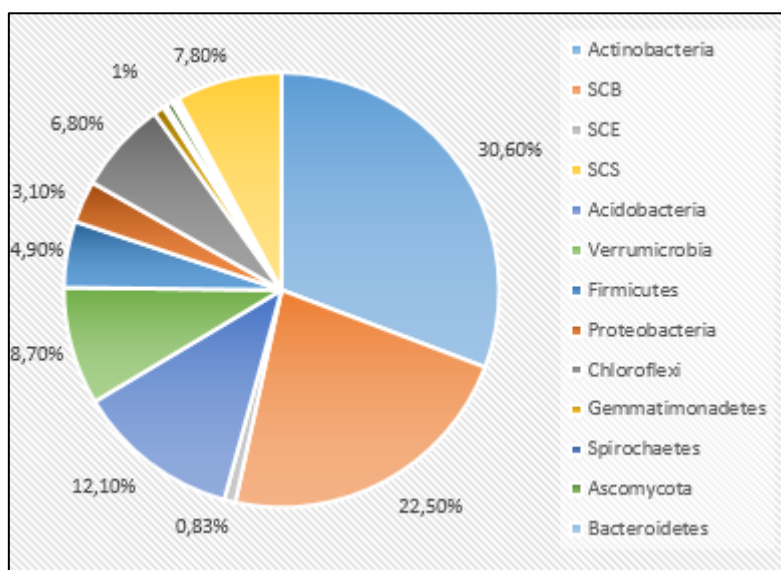
A continuación, se reportan los cambios de microbiota presentes en los suelos de interés, agrupándolos por Filo y Género.

4.3.1 Análisis de los cambios presentes en la microbiota de suelos de interés clasificados por Filo.

Un día después de la fumigación de suelo FB se tomó la segunda muestra (M2) para analizar la microbiota presente en este suelo. Las muestras de los suelos B y C, solamente se analizaron al inicio y a un mes de experimentación (M3), debido a que ambos representan controles en el estudio (no fueron fumigados). Finalmente, se tomó la muestra M4 para el suelo FB, y por limitación de presupuesto no se realizó la toma de la muestra M5 en los tres suelos.

En la figura 26, se observa la clasificación de microorganismos por filo de la muestra M2 en el suelo FB.

Figura 26. Microorganismos presentes en la muestra M2 de suelo FB por Filo.



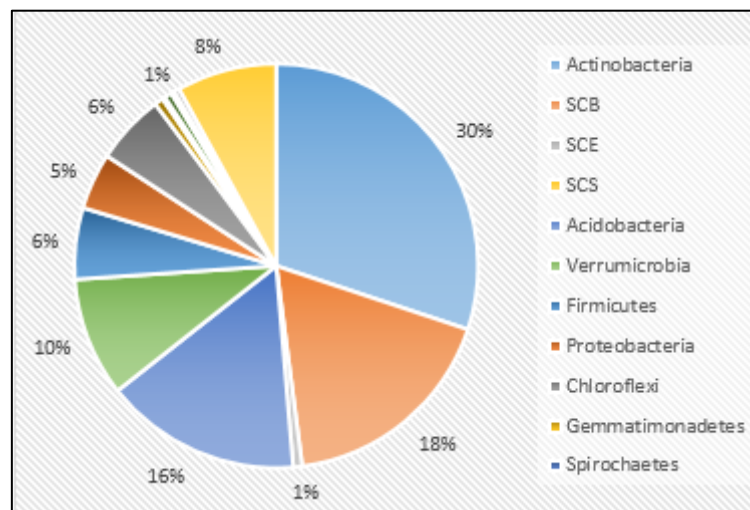
Fuente: Autora.

En la figura 26 se puede observar el porcentaje mayoritario (30,6%) del Filo correspondiente a *Actinobacteria*, siendo el segundo, con 22,5 % las bacterias no identificadas (SCB), seguido por el Filo *Acidobacterias* con 12,10%. Los más bajos porcentajes presentan *Verrumicrobis* con 8,70% y *Planctomycetes* en un 7,80%. La diversidad microbiana se encuentra correlacionada con el rango de pH que presenta este suelo (Ver tabla 5) (T.Maestre, 2015).

Al comparar el porcentaje de Filos presentados en el suelo C (M1) con la muestra de suelo FB (M2) en el transcurso de un día de fumigación se observa una disminución de *Actinobacterias* de un 48,60% a un 30,60%, pero aun así son los Filos más predominantes en ambas muestras. Sin embargo, los demás Filos se presentan en un porcentaje similar en ambas muestras.

Debido a que en el tercer muestreo (M3), se analizó nuevamente la microbiota presente en los suelos B, C y FB, en las figuras 27, 28 y 29 se señalan los Filos de los microorganismos presentes en estas áreas.

Figura 27. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M3 de suelo B.



Fuente: Autora.

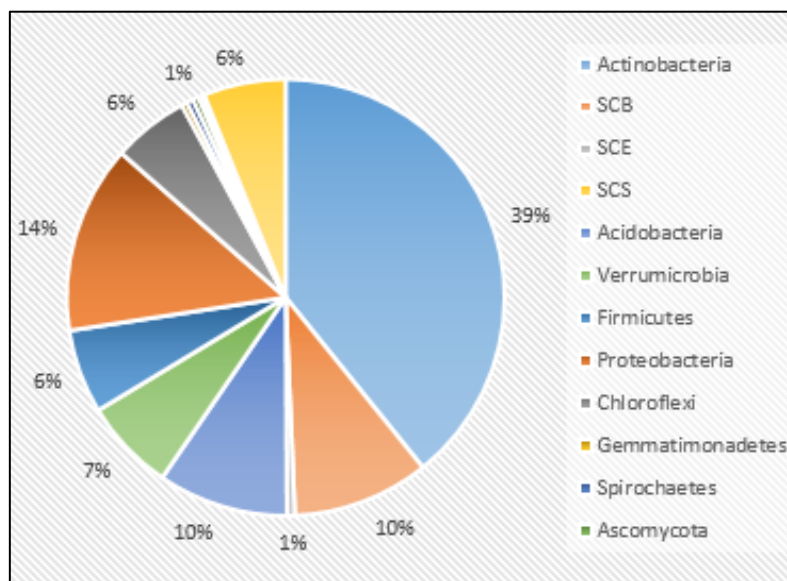
En la figura 27, se ilustra la presencia de mayor porcentaje de *Actinobacterias* (30%). Seguido de Bacterias sin clasificar (SBC) con un 18% y *Acidobacterias* (16%).

Al comparar las abundancias de los filos *Actinobacterias* en el transcurso de un tiempo de M1 a M3 se observa una disminución de un 42% a 30% en el suelo B, pero aun así sigue siendo las bacterias predominantes de este suelo. Considerando un leve descenso de CIC entre las muestras M1 y M3 se puede atribuir el descenso de esto Filos a la falta de algunos iones esenciales (Ver Tabla 15).

Por lo contrario, el Filo *Acidobacterias* aumentó en este mismo periodo de tiempo de un 11,20% a un 16%, posiblemente por diferentes actividades microbiológicas del suelo.

Otros Filo como *Verrumicrobis* aumentó su población desde el inicio a la segunda muestra de 7,60% a un 10%, sin embargo, el Filo *Proteobacterias* disminuyo un 2% respecto al inicial, mientras que los Filos con menor al 1% porcentaje como *Spirochaetes* (0,15%), *Streptophyta* (0,42%), *Gemmatimonadetes* (0,60%), se mantuvieron en la muestra de este suelo.

Figura 28. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M3 de suelo C.



Fuente: Autora.

En la figura 28, se observa que los Filos de *Actinobacterias* se encuentran con un porcentaje predominante correspondiente a un 39%. También, se observa la presencia de *Proteobacterias* (14%) y *Acidobacterias* (10%). Seguidamente se puede ver Filos menos abundantes como *Firmicutes* (6%) y *Verrumicrobia* (7%). Finalmente, las poblaciones de menor porcentaje se resumen en el Anexo B.

Nuevamente el Filo *Actinobacterias* se manifiesta en mayor proporción, al igual que en otros suelos, esto se debe a que son resistentes en los suelos con o sin vegetación; en este caso, sin cultivo de piña.

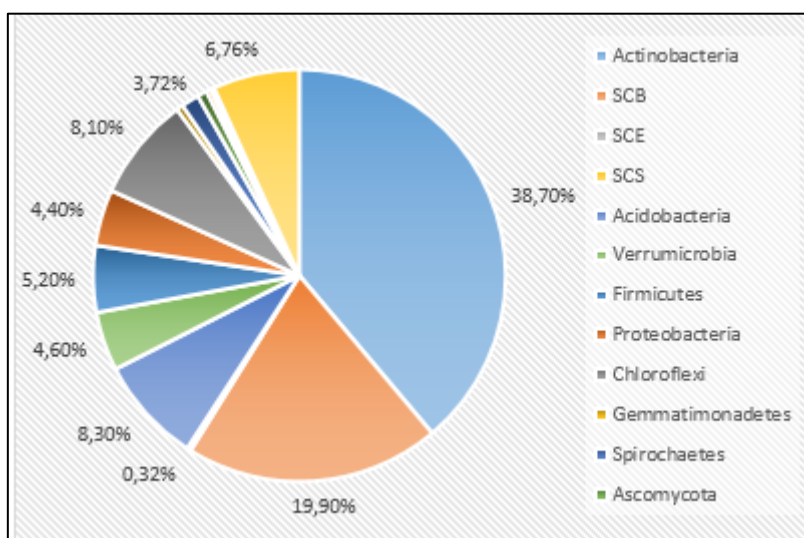
Al analizar la relación de este Filo en el primer muestreo y a un mes después (M3) se observa un cambio de porcentaje de 48,6% a 39%. Correlacionando esto con una disminución de CIC de 9,1 meq/100g de suelo a 6,8 meq/100g se puede creer que el desarrollo de estos microorganismos se afectó por falta de algunos iones de interés nutricional.

Al comparar los porcentajes del Filo *Actinobacterias* presentes en el suelo B y C al final del muestreo (M3), se observa que el suelo C tiene mayor porcentaje de este tipo de bacterias. Teniendo en cuenta que el suelo C estaba cultivado con la piña, se puede asociar con la predominancia de este Filo.

Los filos *Acidobacterias* presentan un leve aumento desde 7,10% a un 10% en el transcurso de muestreo inicial (M1) a final (M3), lo cual se debe a que el suelo presentó en este tiempo una disminución de pH cual favorece el crecimiento de este tipo de bacterias.

Considerando el cambio de proporción de tamaño de partículas en el suelo C, donde al final del muestreo se obtuvo 74% de arenas con respecto a la muestra inicial 68,2% se observa una relación con el aumento del Filo *Proteobacterias*, cual presentó un aumento de un 4,20% a un 14%.

Figura 29. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M3 de suelo FB.



Fuente: Autora.

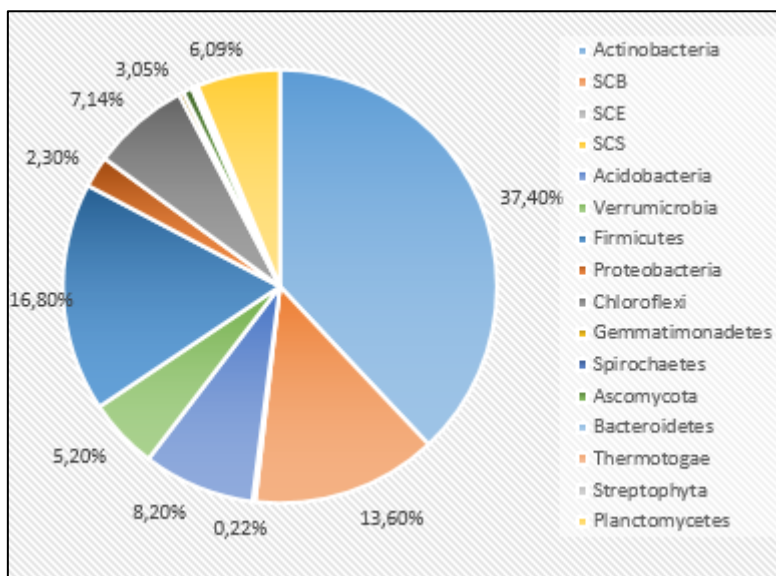
En la figura 29, se observa nuevamente que el filo *Actinobacterias* (38,70%) es sobresaliente entre los otros Filos. Seguido de éste hay un 19,90% de bacterias sin clasificar (SCB) seguido por *Acidobacterias* (8,30%). Finalmente, se presentan bajos porcentajes de Filos como *Firmicutes* (5,20%), *Verrumicrobia* (4,60%) y *Proteobactrias* (4,40%).

Según los datos obtenidos, se presentó un incremento de *Actinobacterias* del 8,1% en el transcurso de M2 a M3 en el suelo FB. Considerando que el suelo FB tiene una condición similar con el suelo C por la presencia de cultivo de piña, se comparó la abundancia del Filo predominante, viendo menor proporción de *Actinobacterias* en el suelo C que en el suelo FB. La diferencia entre ambos suelos es la aplicación del bioinsecticida acumulado en el suelo FB, cual puede ser utilizado por estas bacterias, como fuente de carbono primario.

Así mismo, en el suelo FB se observa un descenso de porcentajes de los Filos de *Acidobacterias*, *Verrumicrobia* y *Planctomycetes* en transcurso de tiempo de M1 a M3. Este comportamiento posiblemente se debe a la afectación de estas bacterias por la presencia de componentes como la capsaicina y nicotina presentes en el bioinsecticida, lo cual se debería comprobar en un estudio a largo plazo.

En la figura 30, se reporta la clasificación de microorganismos por Filo de la muestra M4 en el suelo FB, a un mes y a un día de aplicación del insecticida.

Figura 30. Microorganismos agrupados por Filos, presentes en la muestra M4 de suelo FB.



Fuente: Autora.

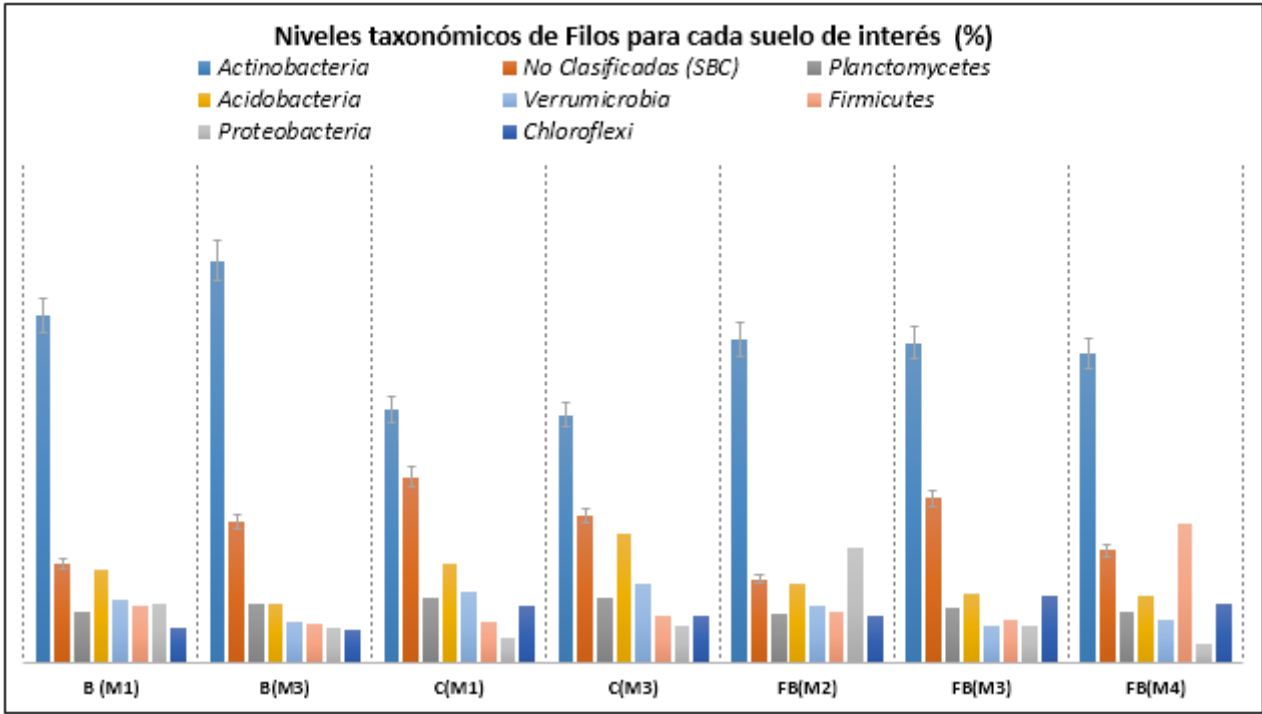
En la figura 30, se observan los filos *Actinobacterias* con un porcentaje de 37,40%, siendo aún los microorganismos predominantes en este suelo. También, se presentan *Firmicutes* (16,8%) como uno de los Filos más elevados en este suelo, seguido por las Bacterias sin Clasificar (13,60%), *Verrumicrobias* (5,20%) y *Acidobacterias* (8,20%).

En comparación con el reporte anterior (M3) no se observa un cambio significativo en el porcentaje de *Actinobacterias*, pero si se presentó un aumento de un 5,20 a 16,80% en el Filo *Firmicutes*. Teniendo en cuenta que este muestreo se realizó un día después de la segunda fumigación en comparación de la muestra tres cual fue tomado un mes después de la fumigación se puede deducir que los componentes del insecticida biológico podrían estimular el crecimiento de algún tipo de bacterias del Filo *Firmicutes*. Sin embargo, esta bacteria se caracteriza por crecer en una alta variedad de hábitats y son capaces de sobrevivir en condiciones extremas por la habilidad de crear endosporas (Hugenholtz, 2002).

A comparación con el suelo C, sembrado con la piña sin fumigación, el suelo FB reportó abundancia del Filo *Proteobacterias* menor, lo cual podría indicar que alguno de los componentes de insecticida controla el crecimiento este tipo de bacterias. Siendo así, sería favorable debido a que representantes de este Filo tienen características de ser patógenos (Asturnatura, 2004).

En la figura 31 se reporta el porcentaje de los Filos presentados con mayor frecuencia en los suelos de interés durante el tiempo de experimentación.

Figura 31. Resumen de la distribución taxonómica de Filos presentados en todos los suelos.



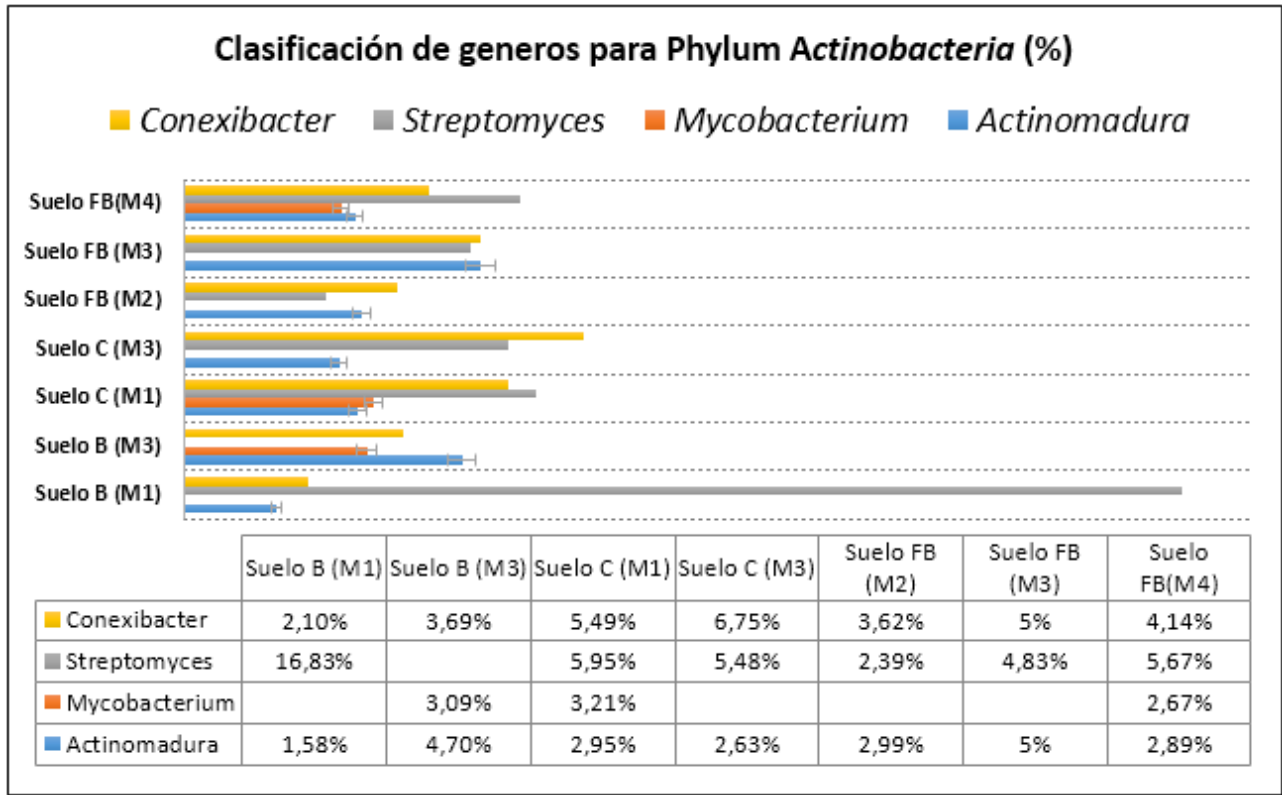
Fuente: Autora.

Se observa que los Filos reportados en las muestras iniciales en los suelos de interés como: *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia* y *Chloroflexi*, mantuvieron su riqueza microbiana tras el tiempo de experimentación, indicando que la aplicación del insecticida no altero negativamente la microbiota del suelo. Sin embargo, el Filo *Firmicutes* genero únicamente un aumento en el suelo FB en el ultimo muestreo, lo cual resulta interesante.

4.3.2 Análisis de los cambios presentes en la microbiota de suelos de interés por Género perteneciente a cada Filo.

En la figura 32, se ilustran los géneros pertenecientes para Filo *Actinobacteria*, presentes en los tres suelos durante el tiempo de experimentación.

Figura 32. Clasificación de género para phylum *Actinobacteria* para los suelos B, C y FB.



Fuente: Autora.

En los tres suelos estudiados el Filo predominante fue *Actinobacterias*, el cual presento una oscilación de su abundancia entre el 30% a 39,10% (Figura 25-30) en todos los muestreos.

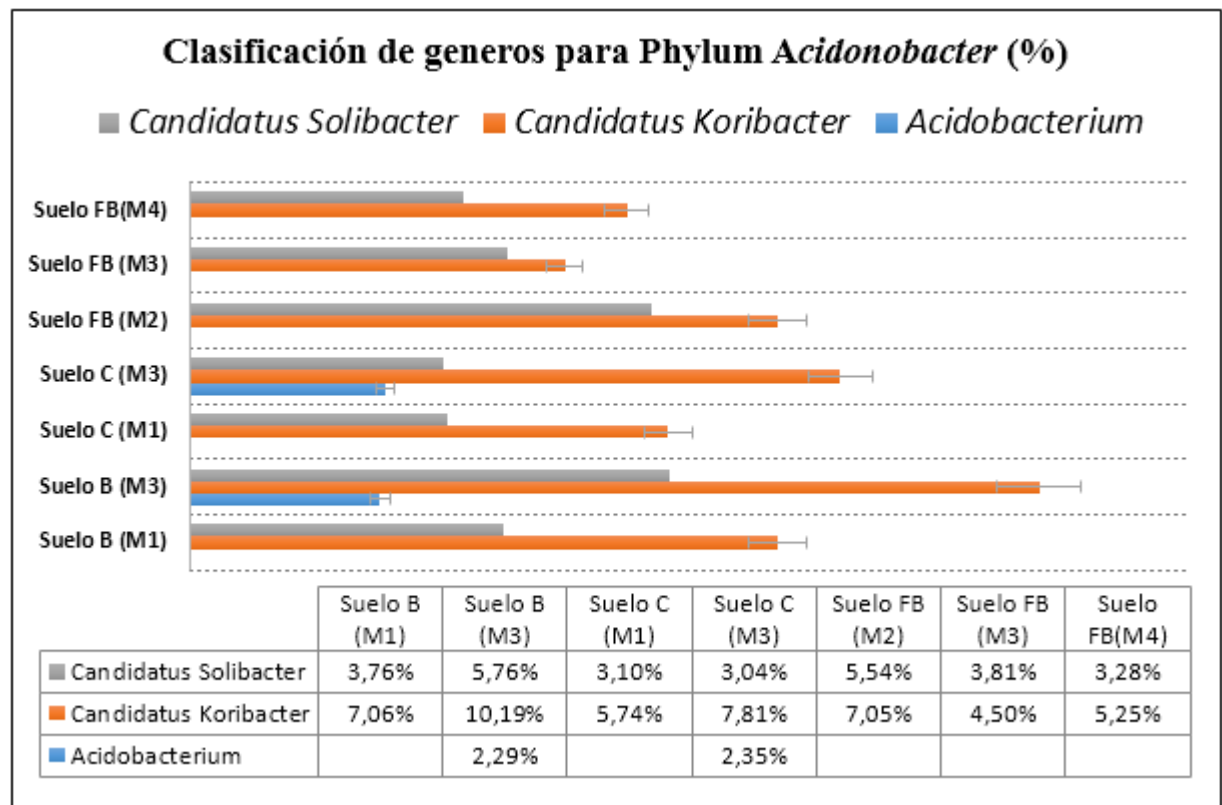
Entre los géneros presentes se registraron *Conexibacter* y *Actinomadura* en todos los suelos. El género predominante en la muestra inicial del suelo B y C fue *Streptomyces*. Este mismo presentó una mayor abundancia en el suelo FB al final de proceso experimental. De igual manera se observa que el género *Conexibacter* y *Actinomadura* presentaron una importante abundancia en los suelos que tienen el cultivo de piña (C y FB).

Es interesante ver el comportamiento de género *Actinomadura*, cual parece alterarse por la adición de bioinsecticida ya que su abundancia disminuye en FB tras un día de fumigación. Mas sin embargo, entre el segundo y tercer muestreo aumenta el porcentaje de este género de 2,99% a 5%, lo que podría indicar que las bacterias se adaptan y utilizan algunos componentes del bioinsecticida como la fuente de carbono primario.

Uno de los géneros que mantuvo un porcentaje similar a *Streptomyces*, fue *Conexibacter*, cual predomino en los suelos C y FB después de un mes de experimentación. Esto indica que las bacterias fueron tolerantes a los compuestos residuales del bioinsecticida.

En la figura 33, se reportan los géneros pertenecientes al Filo *Acidobacter* en los suelos B, C y FB.

Figura 33. Clasificación de género para phylum *Acidobacter* para los suelos B, C y FB.

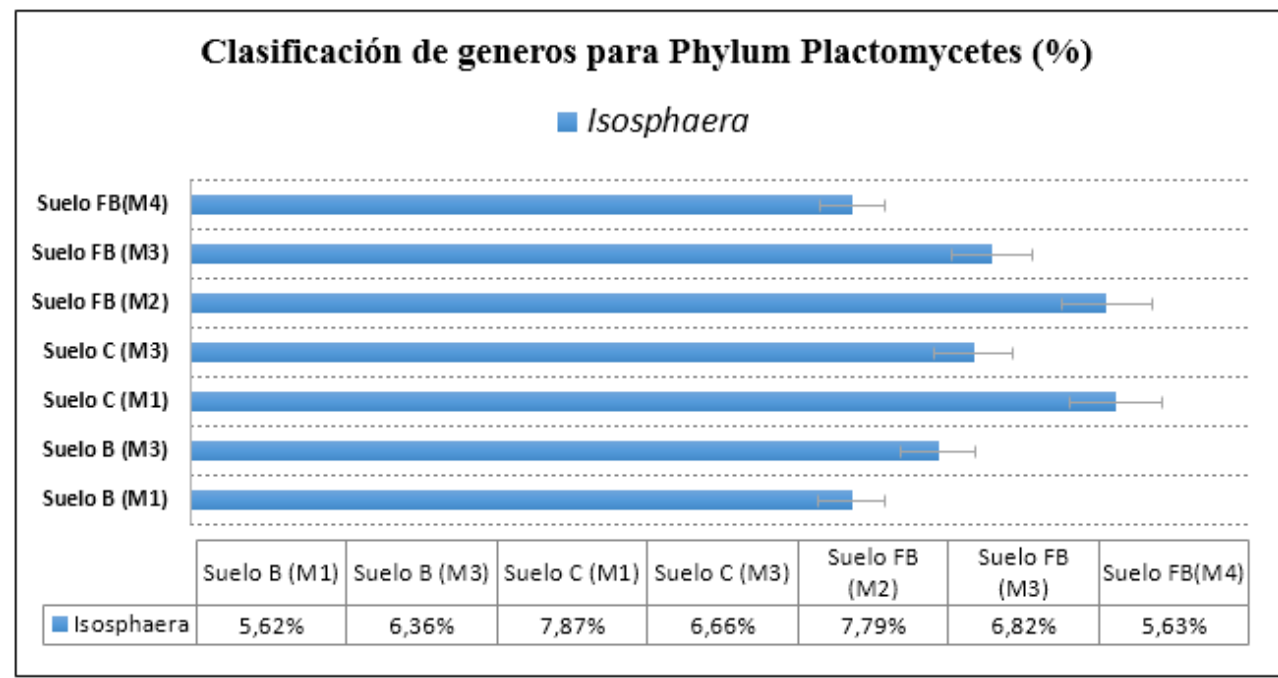


Fuente: Autora.

En la figura 33, se reporta los géneros *Candidatus*, *Koribacter*, *Candidatus Solibacter* y *Acidobacterium* en los muestreos realizados. De igual manera se destaca gran abundancia de *Candidatus*, *Koribacter*, cual logra un porcentaje de 10,19% en el suelo B (M3). Así mismo, el género *Candidatus Solibacter* presenta una abundancia que oscila entre 3,04% a 5,54%. Estos géneros no son halófilos, cual coincide con la conductividad eléctrica de suelo que oscila alrededor de un 0,42% a 0,96%, clasificándolos como no salinos (NCBI, 2019).

En la figura 33 se observan los géneros pertenecientes al Filo *Plactomycetes* en los suelos de interés.

Figura 34. Clasificación de género para phylum *Plactomycetes* para los suelos B, C y FB.



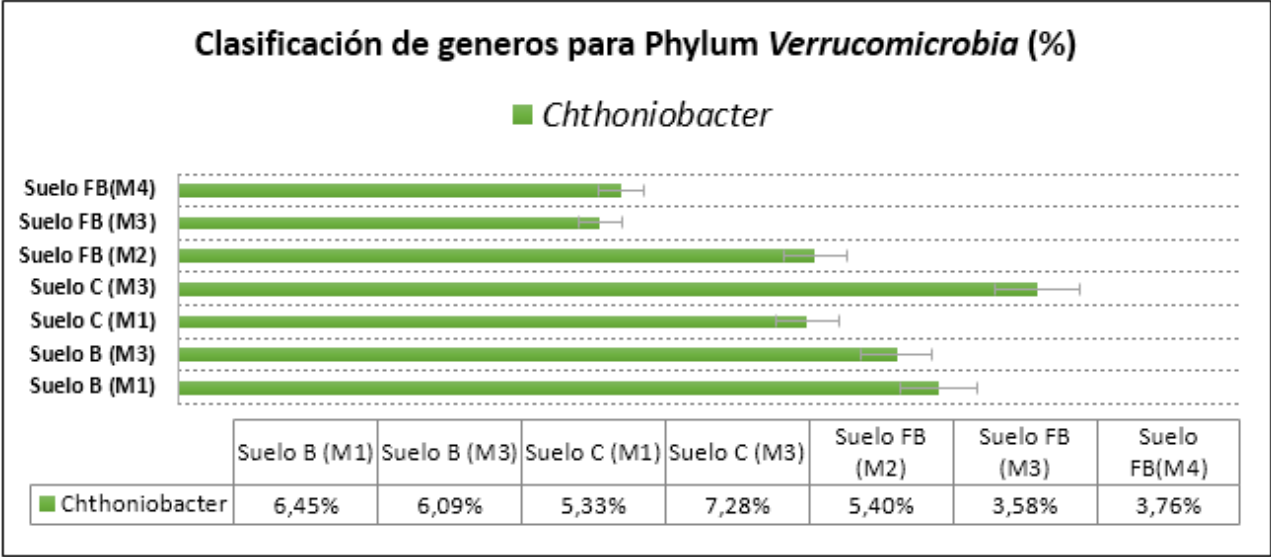
Fuente: Autora.

En la figura 34, se ilustra el único género, *Isosphaera* que se presenta en los tres suelos, en porcentaje de abundancia que oscila entre 5,63% a 7,87%.

Aunque la proporción de este género en los suelos cultivados con la piña es mayor que en los suelos sin cultivo y sin fumigación (Suelo B), la diferencia no es significativa.

En la figura 35, se reportan los géneros pertenecientes al Filo *Verrucomicrobia* en los suelos B, C y FB.

Figura 35. Clasificación de género para phylum *Verrucomicrobia* para los suelos B, C y FB.

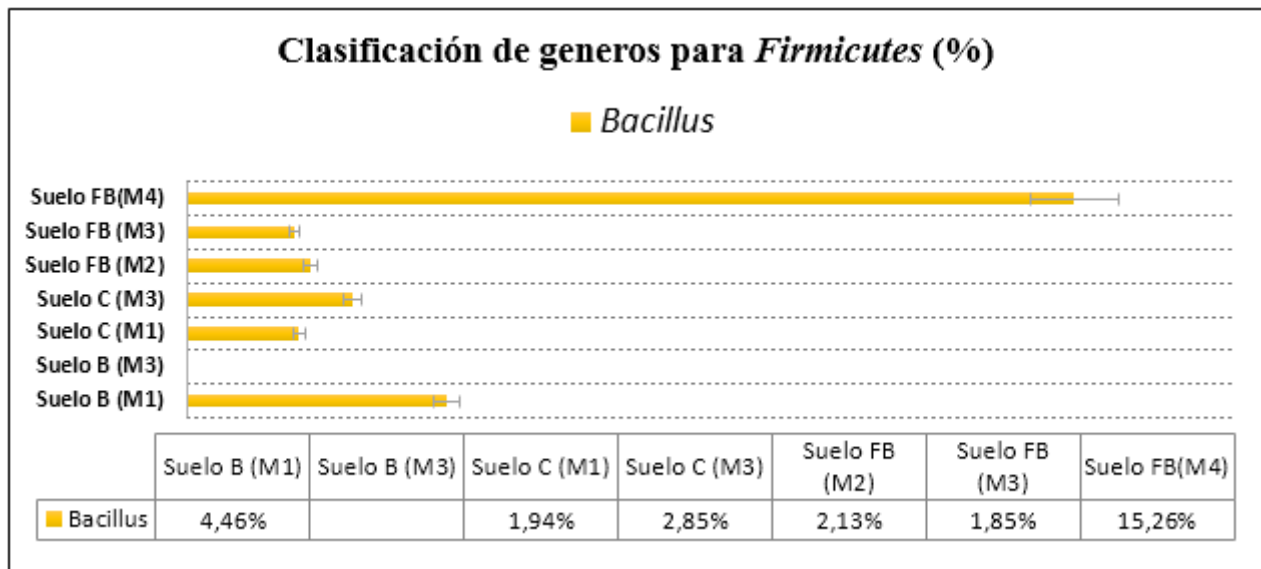


Fuente: Autora.

En la figura 35, se reporta la presencia del género *Chthoniobacter*, cual mantiene su diversidad en cada una de sus muestras de suelo. Estas bacterias son comunes en el suelo en un rango de pH de 4.0 a 7.0 lo que coincide con el pH de estos suelos (Sangwan , 2004). Sin embargo, esta bacteria ha sido poco investigada (Viktorovna, 2016).

En la figura 36, se ilustran los géneros pertenecientes al Filo *Firmicutes* en los suelos B, C y FB.

Figura 36. Clasificación de género para phylum *Firmicutes* para los suelos B, C y FB.



Fuente: Autora.

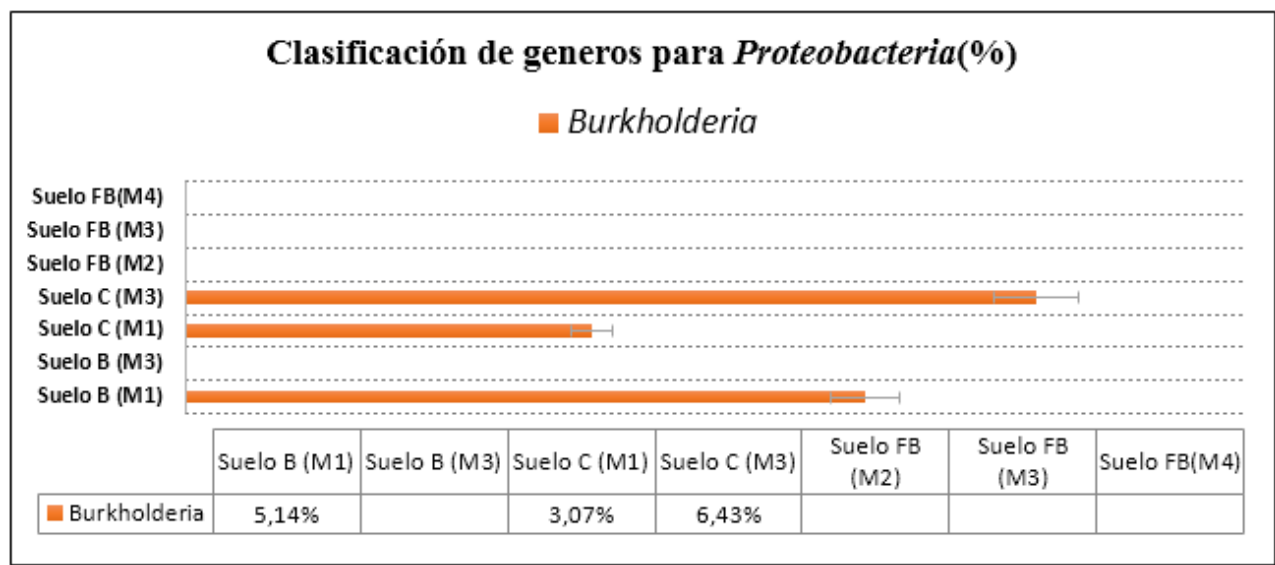
En la figura 36, se observa el género *Bacillus* en todos los suelos, menos en el suelo B (M1), posiblemente la metagenómica aplicada no lo detecto por el bajo porcentaje en este suelo.

Se destaca un aumento de *Bacillus* en la última muestra del suelo FB un día después de la fumigación del bioinsecticida (1,89%-a 15,26%). Esto podría indicar asimilación de componentes del bioinsecticida como fuentes de carbono primario para su metabolismo.

Diferentes estudios demuestran que el género *Bacillus* cumple funciones que ocasionan una conservación y equilibrio del suelo causando el crecimiento vegetal de los suelos erosionados. Por lo anterior, *Bacillus* es uno de los principales biorremediadores en este tipo de suelos en la agricultura. Adicionalmente, debido a la capacidad de solubilización de fosfatos, cual logra la liberación de iones de fosfato permite la asimilación de estos iones para el crecimiento de la planta. Esta característica anteriormente mencionada, puede estar relacionada con el descenso de PO_4 en el tiempo de experimentación en el suelo FB (Ver anexo E). El crecimiento de esta especie es óptimo en pH ácidos-neutros y se desarrolla en diferentes temperaturas lo cual concuerda con el pH de este suelo 3,9 en M5 (Corrales, 2014).

En la figura 37, se observan los géneros pertenecientes al Filo *Proteobacteria* en los suelos B, C y FB.

Figura 37. Clasificación de género para phylum *Proteobacteria* para los suelos B, C y FB.

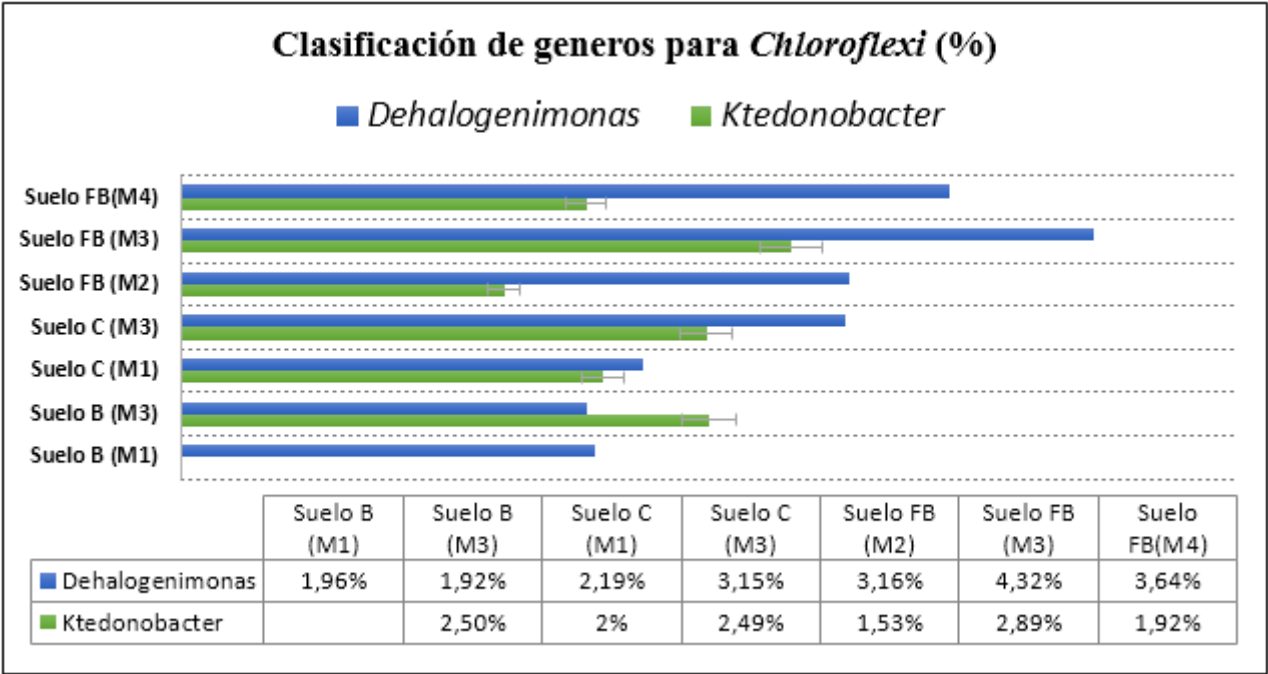


Fuente: Autora.

En la figura 36 se observa la especie *Butkholderia*, como único género del Filo *Proteobacterias*. Su presencia en los suelos analizados se limita al suelo C y en la muestra inicial del suelo B. Es interesante ver el aumento del porcentaje de estas bacterias en el suelo C, cual tiene cultivo de piña, pero no está fumigado y ausencia de este género en el suelo FB fumigado con bioinsecticida. Es posible que el porcentaje de la población se escapa de la técnica metagenómica y la base de datos de MG-RAST no los alcanza a reportar.

En la figura 38, se presentan los géneros pertenecientes al Filo *Choroflexi* en los suelos B, C y FB.

Figura 38. Abundancia de géneros para Filo *Choroflexi* para los suelos B, C y FB.



Fuente: Autora.

El Filo *Choroflexi*, se manifiesta a través del género *Dehalogenimonas* y *Ktedonobacter*, de los cuales *Dehalogenimonas* presentan mayor porcentaje. Estos géneros tienen la capacidad de crecer en condiciones heterótrofos aeróbicos y mesófilos.

La especie del género *Dehalogenimonas*, presentó mayor porcentaje en el suelo FB (4.32%) con respecto a los demás suelos analizados. Considerando que el suelo C presenta cultivo de la piña y el porcentaje de estas bacterias es mayor en este suelo que en el suelo B, se puede asociar a la actividad microbiológica en el suelo.

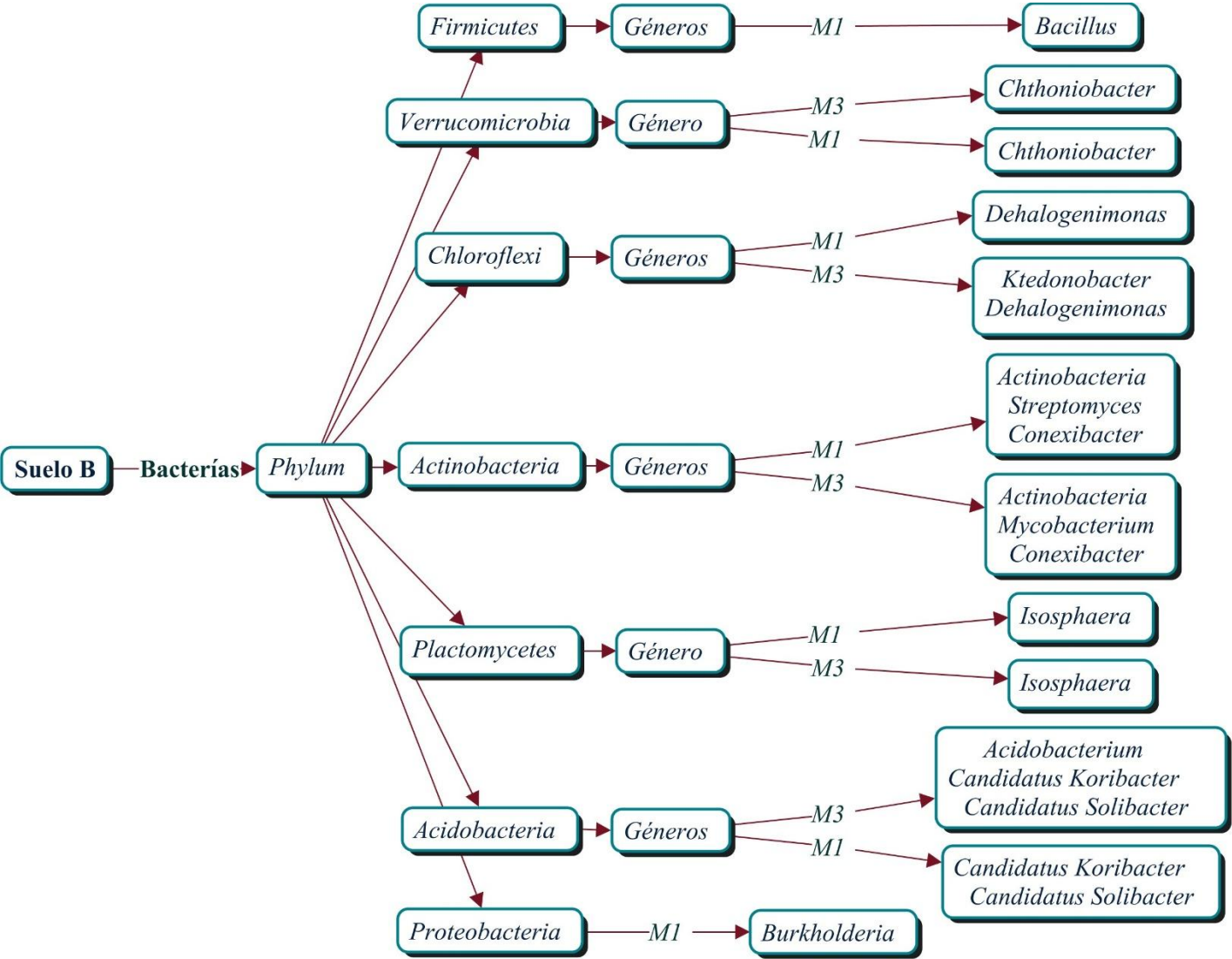
Resumiendo, con los resultados obtenidos de los análisis de suelo durante el mes de estudio, no se puede observar una tendencia del grado de afectación del insecticida biológico sobre las condiciones microbiológicas del suelo, debido a que cada género bacteriano tuvo un comportamiento particular y se cree que el cultivo de piña pudo beneficiar la bioaumentacion de algunas comunidades bacterianas, como *Actinobacteria* (*Streptocymes*, *Conexibacter*), *Acidobacteria* (*Candidatus*, *Koribacter*),

Plactomycetes (Isosphaera), *Firmicutes (Bacillus)*. Sin embargo, en el suelo C tuvo un mayor desarrollo del crecimiento de *Proteobacteria (Burkholderia)* mientras que el en suelo FB tuvo un mayor crecimiento de *Firmicutes (Bacillus)*. De igual manera, la riqueza bacteriana en ambos suelos se mantuvo a través del tiempo.

Resumen de las comunidades microbiológicas que se obtuvieron a partir del programa MG-RAST (Ver anexo F) de cada Filo y Género analizado en cada suelo.

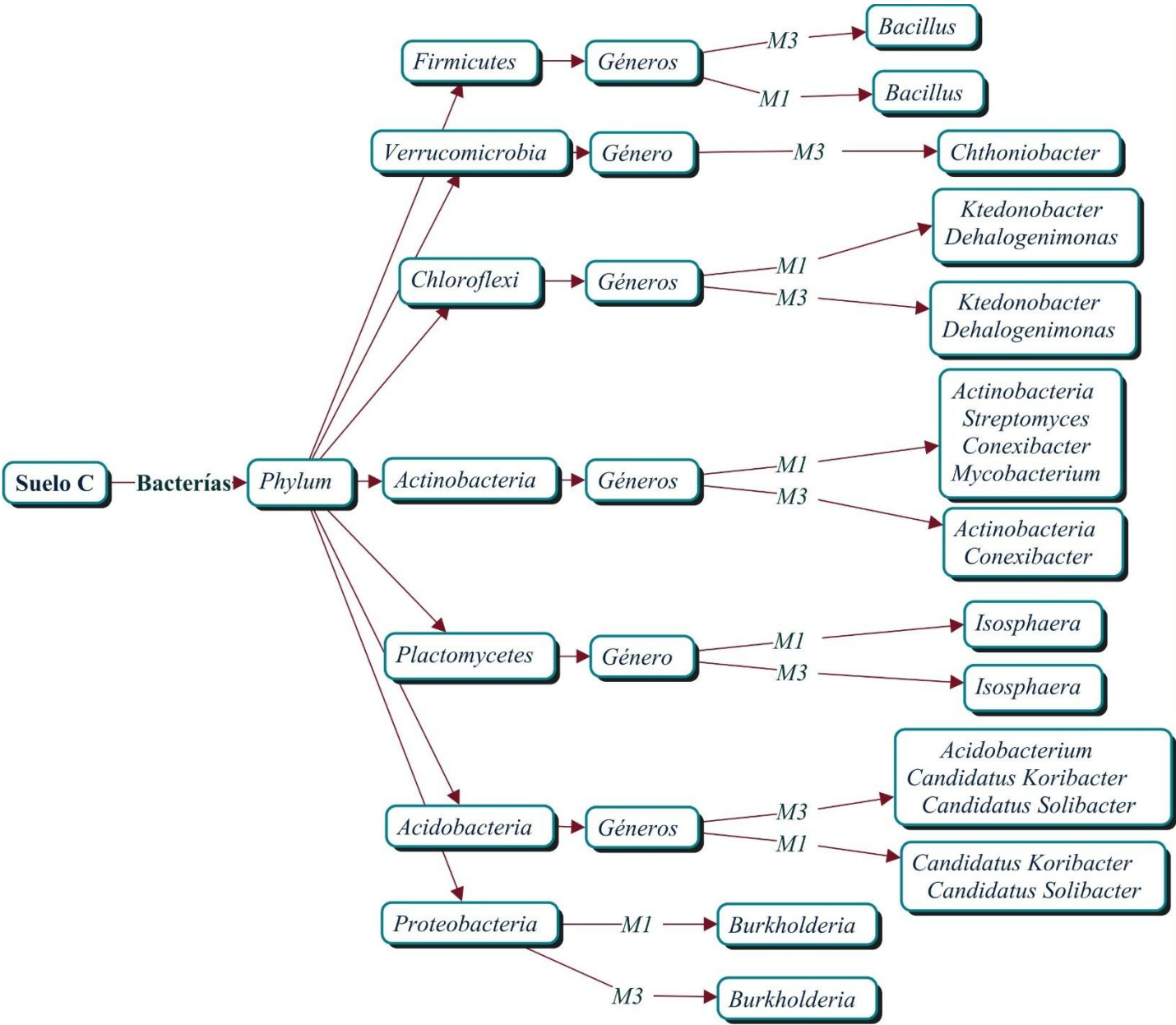
En la figura 39 y 40, se observa la relación taxonómica de géneros para filos, en el suelo B y C, para las muestras M1 y M3.

Figura 39. Relación taxonómica de géneros para filos presentes en el suelo B.



Fuente: Autora.

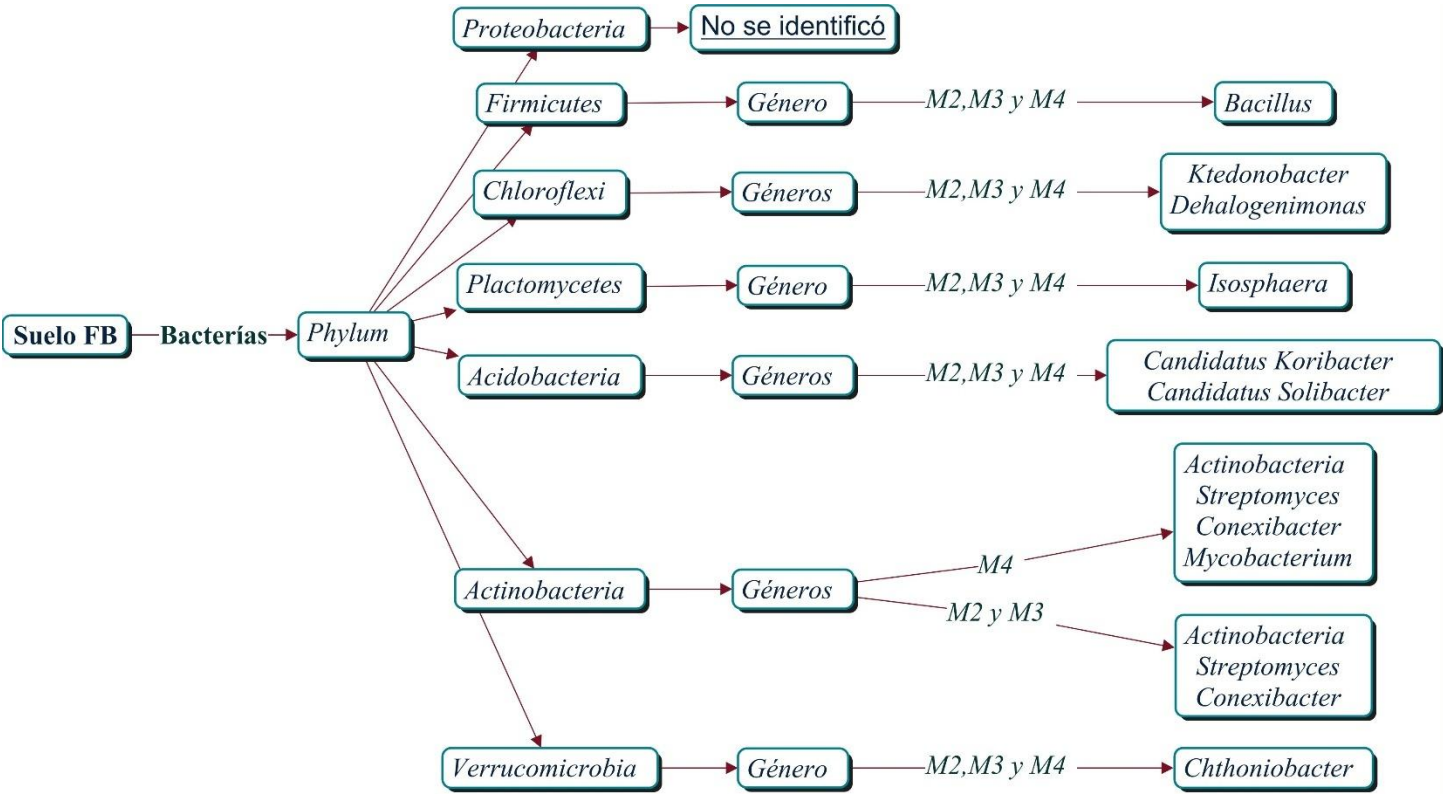
Figura 40. Relación taxonómica de géneros para filos presentes en el suelo C.



Fuente: Autora.

En la figura 40, se observa la relación taxonómica de géneros para filos en el suelo FB, para las muestras M2, M3 y M4.

Figura 41. Relación taxonómica de los filos y géneros presentes en el suelo FB.



Fuente: Autora.

5. CONCLUSIONES.

Se realizó un estudio del efecto de insecticida biológico sobre la microbiota y las propiedades fisicoquímicas de un suelo, cultivado con *Ananas comosus* (piña) en el municipio de Lebrija, Santander, demostrando que las propiedades fisicoquímicas no se alteran de manera significativa al aplicar el producto natural para la eliminación simultanea de hormigas y *Dysmicocus brevipes* que atacan el cultivo.

Las tres áreas experimentales de suelo presentan igual textura franco arcilloso - arenoso inicial, con pequeñas variaciones en el porcentaje de limo, cuyo mayor valor correspondiente al suelo C, causando mayor porcentaje de porosidad (25,6%) y la perdida de humedad en esta área.

Las propiedades químicas iniciales indican una alta acidez, cual se relaciona con el bajo pH típico para un suelo cultivado en la piña, según lo que reporta la literatura. Lo anterior incide sobre la disponibilidad de aluminio intercambiable Al^{3+} , cual puede ejercer efecto tóxico en estas condiciones.

Las tres áreas experimentales presentan al inicio bajo porcentaje de materia orgánica (1,7-2,5%) al igual que carbono orgánico (0.61-0,96%) y una baja capacidad de intercambio catiónico (7,7-12,4 meq / 100 g), pero los tres parámetros se ubican dentro de las condiciones requeridas para el cultivo de la piña. Los valores iniciales de fosforo en las tres áreas experimentales indican un exceso (104-179 mg PO_4/kg), siendo la concentración de nitrógeno deficiente para la necesidad de este cultivo, debido a la falta de microorganismos fijadores de nitrógeno en los tres suelos de interés.

Considerando que la textura del suelo C cambia de Franco-arcilloso arenoso a Franco arenoso al final de la experimentación, mientras que el suelo FB mantiene su estructura inicial, se puede creer que el bioinsecticida contribuye para la conservación de la textura, impartiendo la estabilidad de este parámetro.

Los Filo predominantes en los suelos de interés fueron *Actinobacteria*, *Acidobacterias*, *Verumicrobia*, *Proteobacterias*, *Firmicutes* y *Cloroflexi*, los cuales se relacionan comúnmente con las degradaciones de materia orgánica y los ciclos biogeoquímicos como el nitrógeno y fosforo.

El insecticida biológico no afecta la microbiota del suelo, por lo cual la población microbiana es constante durante el tiempo de experimentación, pero poco diversa para un sistema biogeoquímico tan amplio como es el suelo, sin embargo, el aumento de la población de *Bacillus* en el suelo FB podría relacionarse con la adición del insecticida biológico.

6. RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar un estudio de la influencia del bioinsecticida sobre el suelo cultivado con la piña a largo plazo, integrando otras disciplinas, para dar un panorama completo de este cultivo.

Realizar un estudio de cambios microbiológicos más completo involucrando otros software como Usearch, cual permita contrastar los datos otorgados por el software MG-RAST y de esta manera poder identificar mejor los filo y géneros.

Se recomienda un estudio de los análisis microbiológicos por medio de la técnica metagenómica funcional, involucrando la relación con todos los parámetros fisicoquímicos de suelo cultivado con piña a largo plazo.

Se recomienda un estudio metagenómico en un suelo no cultivado en el Municipio de Lebrija – Santander, a largo plazo, para obtener un historial microbiológico del suelo.

Para corroborar la relación del aumento de las bacterias *Firmicutes* (*Bacillus*) en el suelo FB, con la utilización del bioinsecticida, como la fuente de carbono primario, se sugiere realizar pruebas *in-vitro*, considerando que estos microorganismos son cultivables.

7. BIBLIOGRAFIA

- Albán, A. (2009). Índice preliminar de compactación y propiedades hidrológicas en suelos cálcicos bajo caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L). PALMIRA: unal.
- Asturnatura. (2004). Obtenido de <https://www.asturnatura.com/filum/proteobacteria.html>
- B.Mcbride, M. (1994). Environmental Chemistry Of Soil. New York: The United States of America.
- Barbaro, L. (2019). Importancia del pH y la Conductividad Electrica en los sustratos para plantas. Obtenido de <https://inta.gob.ar/>
- Barrios, E. (27 de 02 de 2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological Economics, 269-285.
- Bartholomew, D., Paull, r., & Rohrbach, k. (. (2003). The pineapple: botany, production and uses. New York, US, CAB International. .
- Bergey's. (2011). Manual de Bergey de Bacteriología Sistemática. Nueva York: Springe. New York.
- Bernardet, J. (2006). na introducción a la familia de Flavobacteriaceae. Prokaryotes 7, 455-480.
- Berry, P. (2002). Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? Soil Use and Management, 18, 248-255.
- Casanova, H. (2002). Insecticide formulations based on nicotine oleate stabilized by sodium caseinate. Journal of agricultural and food chemistry. 6389-6394.
- Castro, R. (1994). Corneal ulcer caused by a biological insecticide (*Bacillus thuringiensis*). Monterrey.
- Céspedes, C. (2005). Relevancia de la materia organica del suelo. INIA, 31.
- Corrales, L. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. Bogota: UNAD.
- Cristobal, D. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. Terra Latinoam, 29(3).

- Da Lin. (2006). Metagenomics a new look into the world of microbes. Harvard Science Review, 11-13.
- DANE. (12 de 2016). Principales características del cultivo de la Piña. Boletín mensual Insumos y Facotes Asociados a la Producción Agropecuaria, pág. 54.
- Díaz, P. (2001). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. Terra19:, 327-335.
- El-Tarabily, K. (2000). Biological control of Sclerotinia minor using a. Plant Pathol 49.
- FAO. (2018). Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <http://www.fao.org>
- Fernandez, L. C. (2006). Manuel de tecnicas de analisis de suelos aplicadas a la remediacion de sitios contaminados. Mexico.
- Fierer, N. (2007). Environmental controls on the landscape-scale biogeography of stream bacterial communities. Ecology 88, 2162–2173.
- Frioni, L. (2005). Microbiología Básica, ambiental y agrícola. Uruguay: Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía.
- Garrido, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Madrid: Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.
- Griffiths, R. (2011). The bacterial biogeography of British soils. Environ. Microbiol, 1642-1654.
- Gros, A. Y. (1992). Abonos guía práctica de la fertilización. Ediciones Mundi-Prensa., 450.
- Handelsman, J. (1998). Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: a new frontier for natural products. Microbiology and molecular biology, 245-249.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., & Nelson, W. (2005). Soil fertility and fertilizers. An Introduction to nutrient management. (7, Ed.) 14-28.
- Hillel, D. (1998). Environmental Soil Physics. The United States of America.
- Hugenholtz, P. (2002). Exploring prokaryotic diversity in the genomic era. Genome Biol.
- Ibañez, J. (29 de 08 de 2013). Bacterias del Suelo y Erosión Eólica. Obtenido de <http://www.madrimasd.org>
- IHOBE. (1998). Guía metodológica para la investigación de la contaminación del suelo. En S. p. ambiental. Reprografía LANKOPI, S.A.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1990). Propiedades Físicas de los suelos, Bogotá.
- INTAGRI S.C. (2019). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín.
- Jenkins, C. (2002). Gene discovery within the planctomycete division of the domain Bacteria using sequence tags from genomic DNA libraries. *Genome Bio*, RESEARCH0031.
- Jimenez, I. (01 de 10 de 2008). repositorio.unisucre.edu.co. Obtenido de <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/213/2/551.49J61.pdf>
- Julca-Otiniano, A. (2006). La Materia Orgánica, Importancia Y Experiencia De Su Uso En La Agricultura. *IDESIA*, 49-61.
- Kathryn, E. (2005). Effects of Growth Medium, Inoculum Size, and Incubation Time on Culturability and Isolation of Soil Bacteria. *American Society for Microbiology Journals*, 826-834.
- Kochian, L. (2005). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil* 247, 175-195.
- Kopytko, M., & Mujica, L. (2007). Bioinsecticida alternativa para eliminación de piojo blanco en cultivos de piña. *Universitas Científica*, 20-25.
- Lamencá, M. (1970). Microbiología de Suelos. En *Bioquímica del nitrógeno* (pág. 126). Turrialba: Biblioteca Conmemorativa Orton.
- Lennon, J. (2012). Mapping the niche space of soil microorganisms using taxonomy and traits. *Ecological Society of America*, 1867-1879.
- León, H., Sepúlveda, V., & Monqueda, O. (2010). Metagenómica de suelos: grandes desafíos y nuevas oportunidades biotecnológicas. *Revista internacional de botánica experimental*, 133-139.
- Liesack, W. (2001). Derakshani M, Lukow T, Liesack W. Nuevos linajes bacterianos a nivel de (sub) división según lo detectado por la recuperación dirigida a los nucleótidos de los genes 16S rRNA del suelo a granel y las raíces de arroz de microcosmos de arroz inundados. *Appl Environ Microbiol.*, 5072–5078.
- Lim, T. (2012). *Ananas comosus*. Springer, Netherlands, Edible Medicinal and Non-Medicinal, pp. 593–615.

- López, A. (2006). Manual de edafología, departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola de la universidad de Sevilla.
- López, J. (2016). Determinación de los requerimientos nutricionales de la Piña variedad MD-2 en suelos ácidos del municipio de Santander de Quilichao. Palmira.
- López, M., Arbona, V., Pérez, R., & Gomez, A. (2008). Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*. sciencedirect, 176-184.
- Malezieux, E., Cote, F., & Bartholomew, D. (2003). Crop environment, plant growth and physiology. En D. In Bartholomew, R. Paull, & K. e. Rohrbach, the pineapple: botany, production and uses. (pág. 301). New York, US: CAB International.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (s.f.). Manual de Aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas de Producción de Piña. Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/inocuidad/manuales-aplicabilidad/manual-pina.pdf>
- Ministerios de Agricultura y Ganadería de Centro America, P. y. (1999). Manual Tecnico, Buenas Prácticas De Cultivo De Piña. Panamá.
- Municipio de Lebrija. (2016-2019). Lebrija-Santander. Obtenido de <http://www.lebrija-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Municipio de Lebrija, Ambiente, Vida y Desarrollo. (2016-2019). Mi Municipio / Economia. Obtenido de <http://www.lebrija-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Nannipieri, P. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. *European Journal of Soil Science*, 655-670.
- NCBI. (2019). Candidatus Solibacter usitatus. Obtenido de The National Center for Biotechnology Information: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/?term=Candidatus%20Solibacter>
- Nubel, U. (2002). Examen microscópico de la distribución y las propiedades fenotípicas de bacterias relacionadas con cloroflexaceae phylogenetics diversas en matas microbianas de aguas termales. *Environ Microbiol*, 4593-4603.
- OIRSA. (1999). Manual Técnico de buenas prácticas en cultivo de piña. Panamá: Proyecto VIFINEX.

- Osler, G. (2007). Toward a complete soil C and N cycle: incorporating the soil fauna. NCBI, 709-718.
- Pellegrini, A. (2017). Fosforo en el suelo.
- Pellegrini, A. (2017). Nitrogeno en el Suelo. Obtenido de http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35406/mod_resource/content/1/TEMA%2012%20-%20NITROGENO.pdf
- Perez, J. (2001). Aplicación de nitrosomas y nitrobacter en forma de biopelícula para la nitrificación biológica en reactores de lecho fijo. Barcelona: Bellaterra.
- Perez, S. (2009). Efecto de microorganismos aplicados por fertiriego en la disponibilidad de fósforo en dos sistemas de cultivo de banano en la zona bananera del magdalena. SANTA MARTA - COLOMBIA.
- Prescott, L. (2004). Microbiología. Interamericana, España.
- Rakesh, M. (2013). Chronic N-amended soils exhibit a-st. FEMS Microbiology Ecology, 478–493.
- Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido. (2009). Catálogo de listas de plaguicidas que identifican aquellos asociados con impactos particularmente dañinos para la salud o el medio ambiente. Uruguay: RAPAL: La Lista de Listas 3^{ra} ed.
- Romero, M. (2017). Efecto de productos químicos y orgánicos para el control de cochinilla harinosa, (*Dysmicoccus brevipes*, *Pseudococcidae*) en rambutan, nuevo prograss, san marcos. Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.
- Rubio, A. (Julio de 2010). La Densidad Aparente En Suelos Forestales Del Parque Natural Los Alcornocales. Sevilla: CSIC
- Rucks, L. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Obtenido de Facultad de AGRONOMIA, UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- San, J. (1991). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección Gspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Costa Rica: Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola.
- Sanchez, H. (2015). Producción de Piña Cayena Lisa y MD2 (*Ananas comosus* L.) en condiciones de. 106.

- Sangwan , P. (2004). *Chthoniobacter flavus* gen. nov., sp. nov., the first pure-culture representative of subdivision two, *Spartobacteria* classis nov., of the phylum *Verrucomicrobia*. NCBI, 5875-81.
- Sanzano, A. (s.f). EL FÓSFORO DEL SUELO. Obtenido de <https://www.edafologia.com.ar>
- Soledad, G. (1993). Interpretacuib de Analisis de Suelos. Hijas divulgadoras.
- Syers, J., Campbell, A., & Walker, T. (1970). Contribution of organic carbon and clay to cation exchange capacity in a chronosequence of sandy soils. (Vol. 33). *Plan and Soil*.
- T.Bergmann, G. (2011). The under-recognized dominance of *Verrucomicrobia* in soil bacterial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 1450-1455.
- T.Maestre, F. (08 de 12 de 2015). Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. *PNAS*, 15684-15689.
- Thompson, L., & Troeh, F. (2002). Propiedades físicas del suelo. En *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta ed., pág. 82). Barcelona: Reverté.
- UCA. (1996). Tomado de Normas ASTM y Guía de Laboratorio Construcción I. San Salvador.
- United States Department of Agriculture. (1996). *Soil survey laboratory methods manual*. Soil Survey Investigations Report N. Washington DC.
- Universidad de Granada. (s.f.). Edafologia y Quimica Agrícola. Obtenido de <http://www.edafologia.net/introeda/tema05/ccc.htm>
- Viktorovna, K. (2016). *BIOMASA Y ESTRUCTURA TAXONOMICA*. Moscu.
- Vindas, A., & Blanco, H. (2013). Control de *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae),. *Agronomía Costarricens*, 103-111.
- William, B. (2009). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume 3: The Firmicutes*. New York: Springer Dordrecht. Obtenido de <https://www.lifeder.com/firmicutes/>
- Wilson, M. (2013). Metagenomic approaches for exploiting uncultivated bacteria as a resource for novel biosynthetic enzymology. *Chemistry & Biology*, 636-647.
- Zapata, M., & Monzon, K. (2015). Caracterización metagenómica de las comunidades microbianas en desarrollo sobre geotextil asociados a las raíces de manglares (canal de marea Puerto Rico, Tumbres, Perú) y aislamiento de cepas de diatomeas caractizadas molecularmente. *Revista Tecnologia ESPOL-RTE*, 69-101. Obtenido de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/viewFile/401/263>

- Zhang, L. (2008). Assessing bacterial diversity in soil. Springer-Verlag, 379-388.
- Zhao, F. (2018). Changes of the organic carbon content and stability of soil aggregates. Catena, 622-631.

ANEXOS

ANEXOS A. Conversión de las unidades presentadas para el fósforo y nitrógeno para las muestras M1 en los suelos B, C y FB.

P – PO₄ mg/kg de suelo a mg P/kg de suelo.

M1 en el suelo B:

$$120 \text{ mg P} - \text{PO}_4 \times \frac{31 \text{ g P}}{95 \text{ PO}_4} = 39,2 \frac{\text{mgP}}{\text{kg}} \text{ de suelo.}$$

M1 en el suelo C:

$$104 \text{ mg P} - \text{PO}_4 \times \frac{31 \text{ g P}}{95 \text{ PO}_4} = 33,9 \frac{\text{mgP}}{\text{kg}} \text{ de suelo.}$$

M1 en el suelo FB:

$$179 \text{ mg P} - \text{PO}_4 \times \frac{31 \text{ g P}}{95 \text{ PO}_4} = 58,4 \frac{\text{mgP}}{\text{kg}} \text{ de suelo.}$$

N – NTKx a Porcentaje (%)

M1 en el suelo B:

$$448 \text{ mg N} - \text{NTKx} \frac{1 \text{ g N} - \text{NTKx}}{1000 \text{ N mg} - \text{NTKx}} * \frac{100}{1000 \text{ g}} = 0,0448\%$$

M1 en el suelo C:

$$476 \text{ mg N} - \text{NTK}_x \frac{1 \text{ g N} - \text{NTK}_x}{1000 \text{ N mg} - \text{NTK}_x} * \frac{100}{1000g} = 0,0476\%$$

M1 en el suelo FB:

$$420 \text{ mg N} - \text{NTK}_x \frac{1 \text{ g N} - \text{NTK}_x}{1000 \text{ N mg} - \text{NTK}_x} * \frac{100}{1000g} = 0,0420$$

ANEXOS B. Reportes del porcentaje de microorganismos presentes en el suelo según su Filo y Género.

Filo

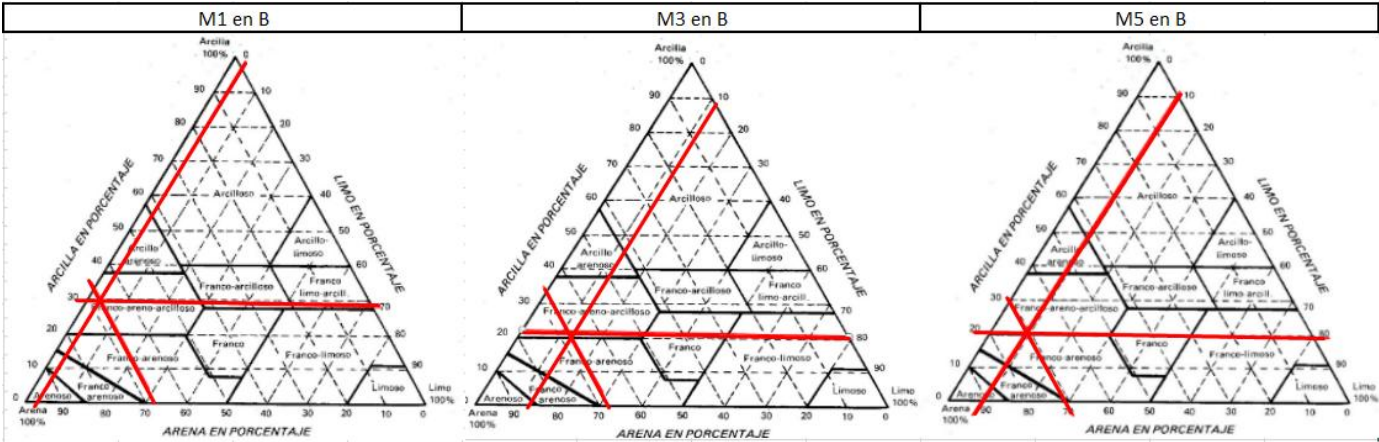
Muestra	Actinobacteria	SCB	SCE	Acidobacteria	Verrumicrobia	Firmicutes	Proteobacteria	Chloroflexi
M1 B	42%	12%	0,54%	11,20%	7,60%	6,90%	7,20%	4,14%
M1 C	48,60%	17%	0,36%	7,10%	5%	4,70%	4,20%	4,10%
M2 FB	30,60%	22,50%	0,83%	12,10%	8,70%	4,90%	3,10%	6,80%
M3 B	30%	17,80%	0,71%	15,70%	9,50%	5,70%	4,50%	5,60%
M3 C	39,10%	10,10%	0,58%	9,60%	6,80%	6,20%	13,90%	5,62%
M3 FB	38,70%	19,90%	0,32%	8,30%	4,60%	5,20%	4,40%	8,10%
M4 FB	37,40%	13,60%	0,22%	8,20%	5,20%	16,80%	2,30%	7,14%
Muestra	Gemmatimonadetes	Spirochaetes	Ascomycota	Bacteroidetes	Thermotogae	Streptophyta	Planctomycetes	
M1 B	0,60%	0,15%	0,48%	0,13%		0,42%	6,22%	
M1 C	0,35%	0,29%	0,29%	0,24%	0,21%		7,27%	
M2 FB	0,79%	0,28%	0,47%	0,27%		0,27%	7,80%	
M3 B	0,70%	0,23%	0,58%	0,27%		0,44%	7,97%	
M3 C	0,42%	0,48%	0,44%		0,33%	0,13%	6,04%	
M3 FB	0,52%	1,39%	0,74%		0,36%	0,29%	6,76%	
M4 FB	0,36%		0,67%	0,24%		0,22%	6,09%	

Género

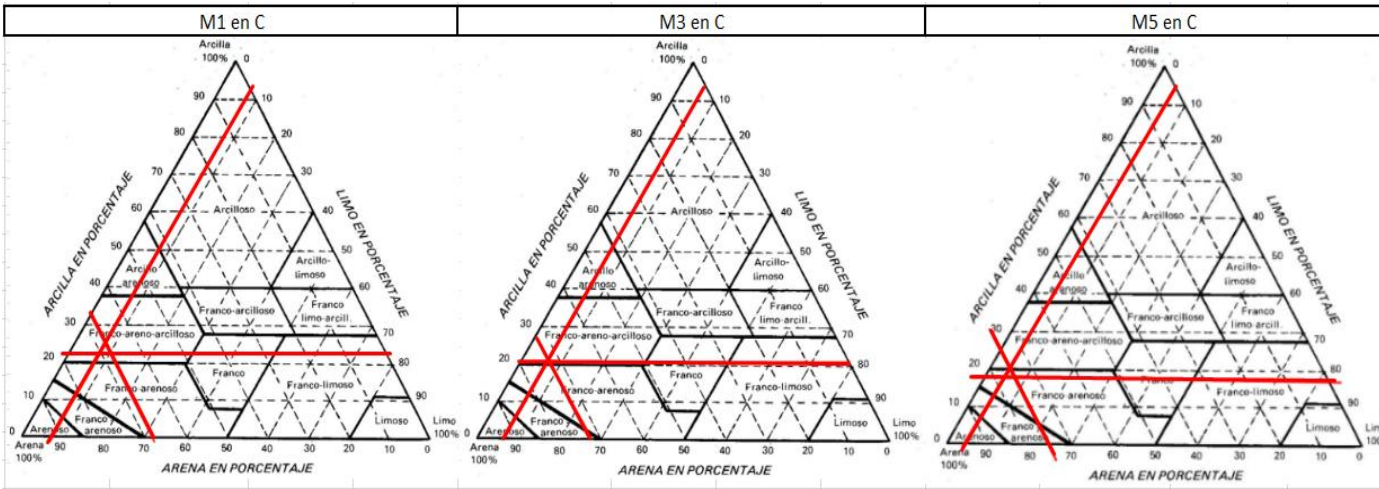
Muestra	SCB	Isosphaera	Streptomyces	Candidatus Koribacter	Conexibacter	Micobacterium	Candidatus Solibacter	Burkholderia	Actinomyces
M1 B	15,45%	5,62%	16,83%	7,06%			3,76%	5,14%	1,58%
M1 C	25,85%	7,87%	5,95%	5,74%	5,33%	3,21%	3,10%	3,07%	2,95%
M2 FB	29,18%	7,79%	2,39%	7,05%			5,54%		2,99%
M3 B	21,94%	6,36%		10,19%		3,09%	5,76%		4,70%
M3 C	14,83%	6,66%	5,48%	7,81%			3,04%	6,43%	2,63%
M3 FB	25,42%	6,82%	4,83%	4,50%			3,81%		5%
M4 FB	18,33%	5,63%	5,67%	5,25%		2,67%	3,28%		2,89%
Muestra	Ktedonobacter	Bacillus	Chthoniobacter	Micobacterium	Conexibacter	Stackebrandtia	Actinobacterium	Dehalogenimonas	Otros
M1 B		4,46%	6,45%	2,78%	2,10%			1,96%	25,02%
M1 C	2%	1,94%			5,49%			2,19%	25,31%
M2 FB	1,53%	2,13%	5,40%		3,62%	2,11%		3,16%	27,11%
M3 B	2,50%		6,09%		3,69%		2,29%	1,92%	31,47%
M3 C	2,49%	2,85%	7,28%	2,97%	6,75%		2,35%	3,15%	25,28%
M3 FB	2,89%	1,85%	3,58%	2,76%	5%			4,32%	29,22%
M4 FB	1,92%	15,26%	3,76%		4,14%			3,64%	27,56%

ANEXOS C. Reporte de los resultados obtenidos por medio del método de Bouyoucos en los suelos B, C y FB para las muestras M1, M3 y M5.

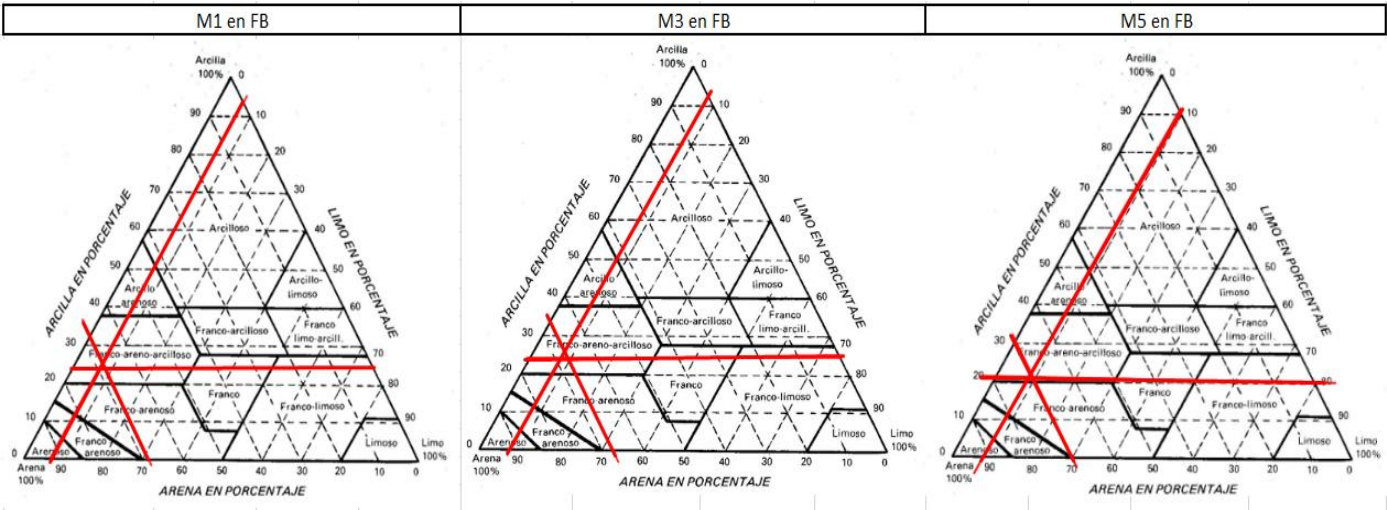
Cambio de la Textura para el suelo B en los muestreos M1, M3 y M5.



Cambio de la Textura para el suelo C en los muestreos M1, M3 y M5.

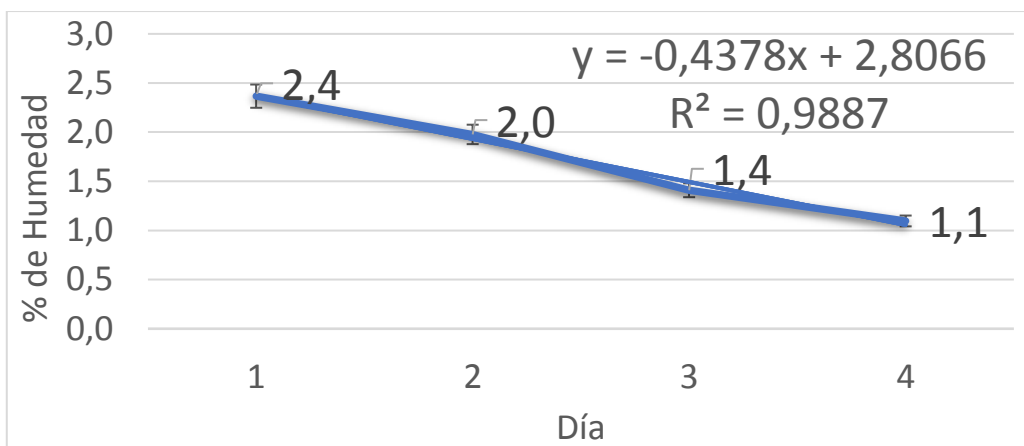


Cambio de la Textura para el suelo FB en los muestreos M1, M3 y M5.

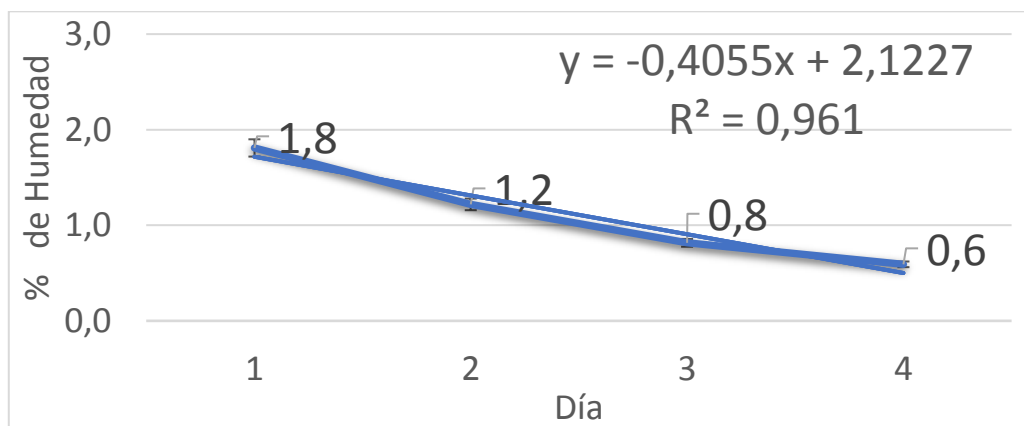


ANEXOS D. Graficas de las pérdidas de humedad.

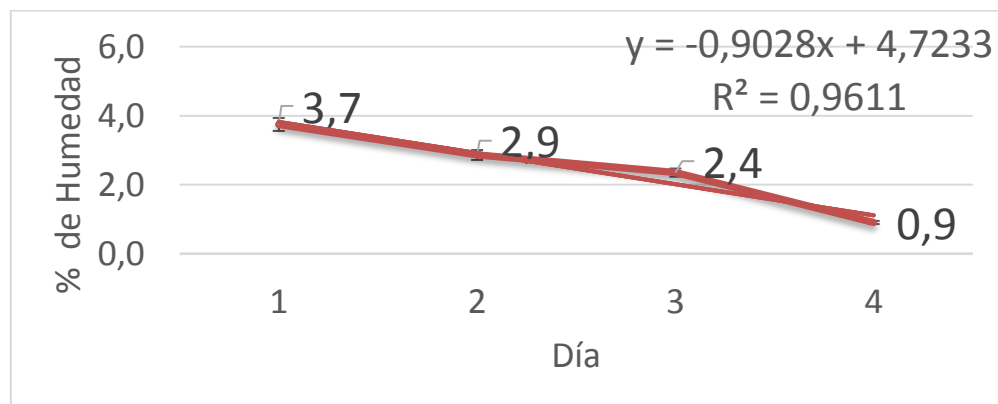
Curva de humedad gravimétrica en el suelo B en M1.



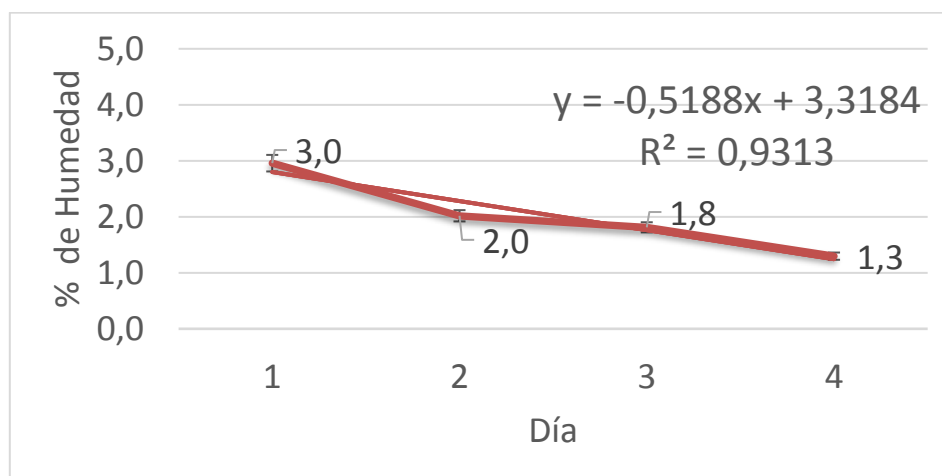
Curva de humedad gravimétrica en el suelo B en M5.



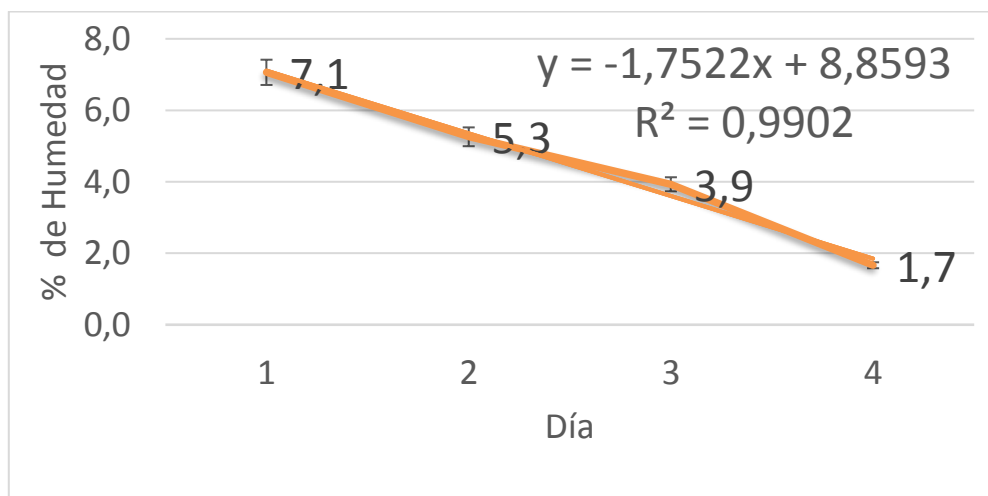
Curva de humedad gravimétrica en el suelo C en M1.



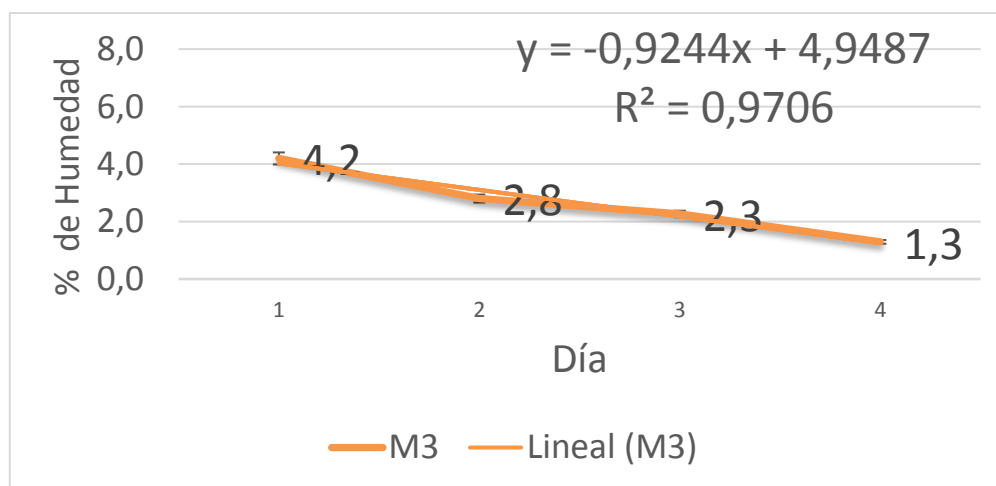
Curva de humedad gravimétrica en el suelo C en M5.



Curva de humedad gravimétrica en el suelo FB en M1.



Curva de humedad gravimétrica en el suelo FB en M5.



ANEXOS E. Análisis realizados en los suelos B, C y FB a las muestras M4, en el Laboratorio de Estudios Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana, relación a los parámetros de Carbón Orgánica, Fosforo Total y Nitrógeno Total.

Reportes de C.O, P y N en el suelo FB (M1).

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Vicerrectoría Investigación	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 05
	Reporte No: 026-018

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	PROYECTO BI 066-0118-2400.
Dirección:	Km. 7 Vía a Piedecuesta
Código:	26
Tipo de muestra:	SUELO – Primer Viaje
Lugar de Muestreo:	Sin Insecticida Biológico
Fecha de Muestreo:	2018-02-02 - Hora: 6:13
Fecha de Recepción:	2018-04-06
Fecha de Reporte:	2018-05-04

2. REPORTE DE RESULTADOS					
VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE DE DETECCIÓN	FECHA DE ANALISIS	METODO
Carbón Orgánico Total*	%C	0.96	----	2018-05-04	Colorimétrico, Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$
Fosforo Total	mg PO ₄ /kg	179	0.26	2018-04-18	SM 4500 P B,E
Nitrógeno Total	mg NTK/kg	420	5.00	2018-04-16 - 2018-04-17	SM 4500 Norg B - SM 4500 NH ₃ B, C

*Parámetros Subcontratados.

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____
 Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas
 Tarjeta Profesional: PQ-4230
 Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales

"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

FIN DEL REPORTE

1 de 1

Reportes de C.O, P y N en el suelo FB (M2).

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Vigilante Mineducación	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 05
--	--

Reporte No: 027-018

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	PROYECTO BI 066-0118-2400.
Dirección:	Km. 7 Vía a Piedecuesta
Código:	27
Tipo de muestra:	SUELO – Primer Viaje
Lugar de Muestreo:	Biológico con 1 día de Insecticida
Fecha de Muestreo:	2018-02-10 – Hora: 3:16
Fecha de Recepción:	2018-04-06
Fecha de Reporte:	2018-05-04

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE DE DETECCIÓN	FECHA DE ANALISIS	METODO
Carbón Orgánico Total*	%C	0.73	----	2018-05-04	Colorimétrico, Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$
Fosforo Total	mg PO_4 /kg	140	0.26	2018-04-18	SM 4500 P B,E
Nitrógeno Total	mg NTK/kg	532	5.00	2018-04-16 a 2018-04-17	SM 4500 Norg B - SM 4500 NH_3 B, C

*Parámetros Subcontratados.

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente

Revisó y Aprobó:

Firma: _____
 Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas
 Tarjeta Profesional: PQ-4230
 Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales

"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

FIN DEL REPORTE

1 de 1

Reportes de C.O, P y N en el suelo FB (M3).

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Vigilada Mineducación	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 05

Reporte No: 032-018

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	PROYECTO BI 066-0118-2400.
Dirección:	Km. 7 Vía a Piedecuesta
Código:	32
Tipo de muestra:	SUELO – Segundo Viaje
Lugar de Muestreo:	BIOLOGICO 1 MES DE APLICACIÓN
Fecha de Muestreo:	2018-03-10 – Hora
Fecha de Recepción:	2018-04-06
Fecha de Reporte:	2018-05-02

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE DE DETECCIÓN	FECHA DE ANALISIS	METODO
Carbón Orgánico Total*	%C	0.74	----	2018-05-04	Colorimétrico, Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$
Fosforo Total	mg PO ₄ /kg	133	0.26	2018-04-18	SM 4500 P B.E
Nitrógeno Total	mg NTK/kg	560	5.00	2018-04-16 - 2018-04-17	SM 4500 Norg B - SM 4500 NH ₃ B, C

*Parámetros Subcontratados.

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____
 Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas
 Tarjeta Profesional: PQ-4230
 Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales

"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

FIN DEL REPORTE

Reportes de C.O, P y N en el suelo FB (M4).

	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 05
	Reporte No: 033-018

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	PROYECTO BI 066-0118-2400.
Dirección:	Km. 7 Vía a Piedecuesta
Código:	33
Tipo de muestra:	SUELO – Segundo Viaje
Lugar de Muestreo:	Biológico con 1 mes y 1 día de aplicación
Fecha de Muestreo:	2018-03-10
Fecha de Recepción:	2018-04-06
Fecha de Reporte:	2018-05-04

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE DE DETECCIÓN	FECHA DE ANALISIS	METODO
Carbón Orgánico Total*	%C	0.73	---	2018-05-04	Colorimétrico, Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$
Fosforo Total	mg PO_4/kg	136	0.26	2018-04-18	SM 4500 P B,E
Nitrógeno Total	mg NTK/kg	504	5.00	2018-04-16 - 2018-04-17	SM 4500 Norg B - SM 4500 NH_3 B, C

*Parámetros Subcontratados.

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____
 Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas
 Tarjeta Profesional: PQ-4230
 Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales

"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

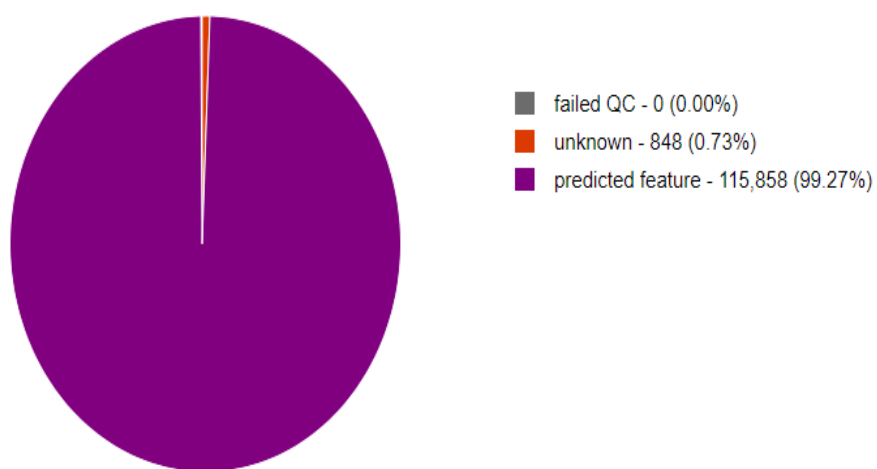
"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

FIN DEL REPORTE

ANEXOS F. Reportes metagenómicos para el suelo FB M4, en MG-RAST secuencias emparejadas.

The data set `Biologico_2A_` was uploaded on 2018-11-27 at 23:06:55 and contains 116,706 sequences totaling 52,403,948 basepairs with an average length of 449 bps. 0 sequences (0.00%) failed to pass the QC pipeline.

Sequence Breakdown



Analysis Statistics



Upload: bp Count	52,403,948 bp
Upload: Sequences Count	116,706
Upload: Mean Sequence Length	449 ± 10 bp
Upload: Mean GC percent	58 ± 2 %
Artificial Duplicate Reads: Sequence Count	110,795
Post QC: bp Count	2,666,244 bp
Post QC: Sequences Count	5,911
Post QC: Mean Sequence Length	451 ± 12 bp
Post QC: Mean GC percent	58 ± 3 %
Processed: Predicted Protein Features	3
Processed: Predicted rRNA Features	29,759
Alignment: Identified Protein Features	0

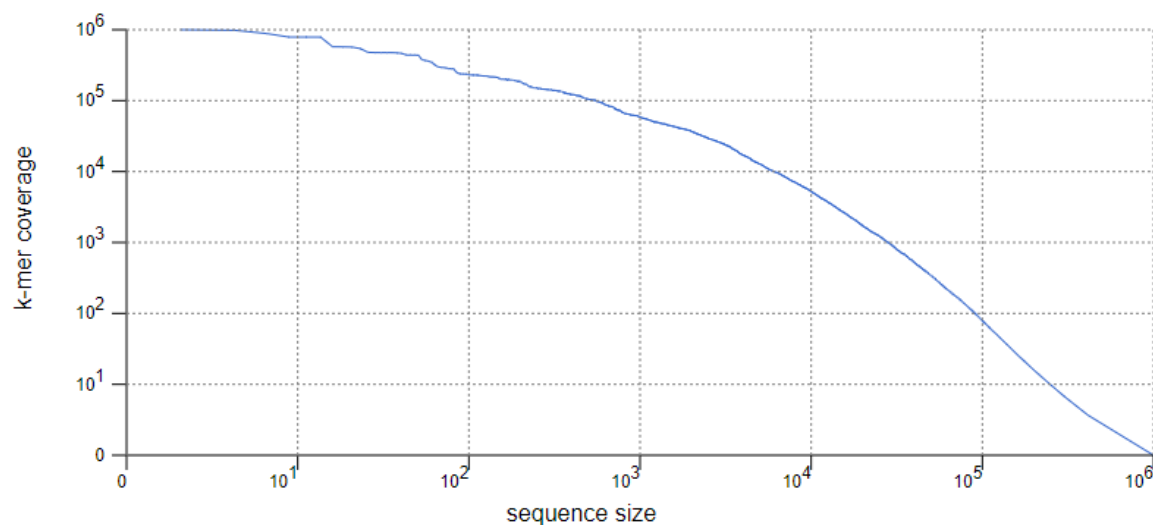
GSC MixS Info



Investigation Type	Amplicon
Study Name	INNOVA_UPB_UDES
Latitude and Longitude	1 1
Country and/or Sea, Location	Lebrija
Collection Date	2018-03-09T15:36:00-0500
Environment (Biome)	cropland biome
Environment (Feature)	microbial feature
Environment (Material)	soil
Environmental Package	soil
Sequencing Method	illumina
More Metadata	click for full table

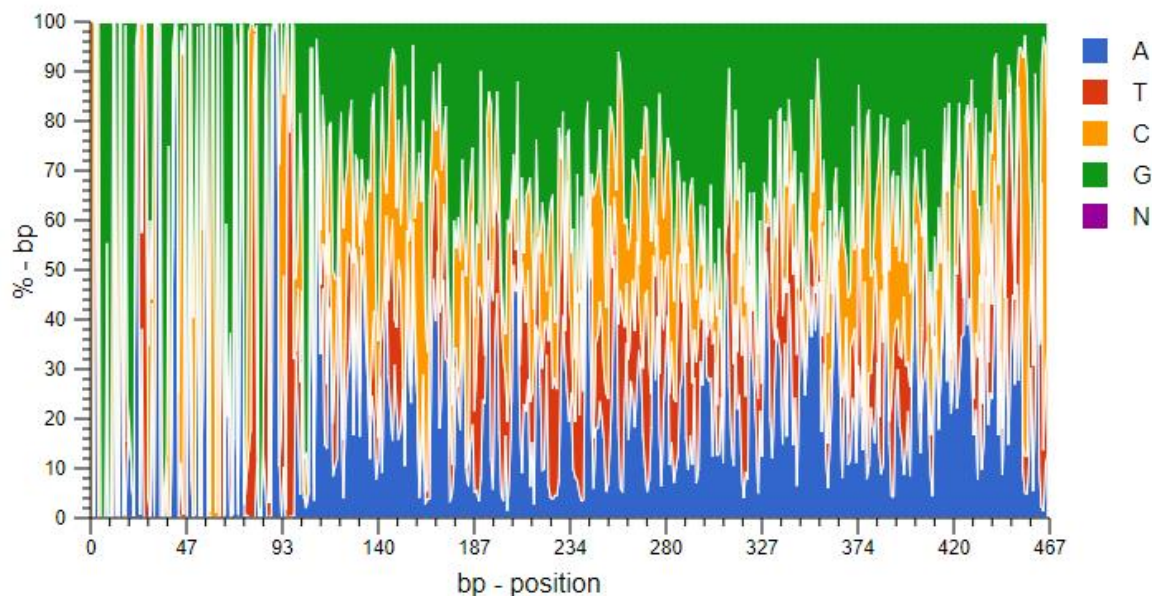
K-mer Profile

The kmer rank abundance graph plots the kmer coverage as a function of abundance rank, with the most abundant sequences at the left.



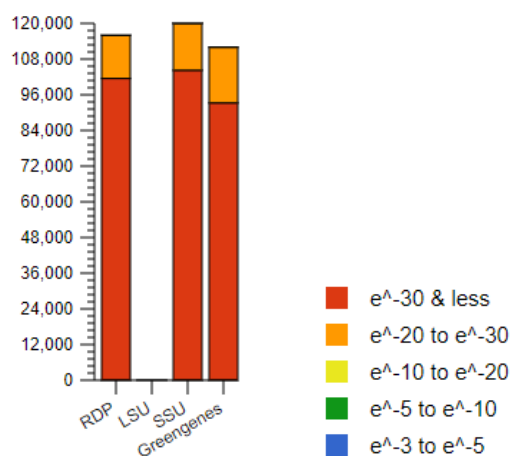
Nucleotide Histogram

This graph shows the fraction of base pairs of each type (A, C, G, T, or ambiguous base N) at each position starting from the beginning of each read. Amplicon data sets should show consensus sequences.



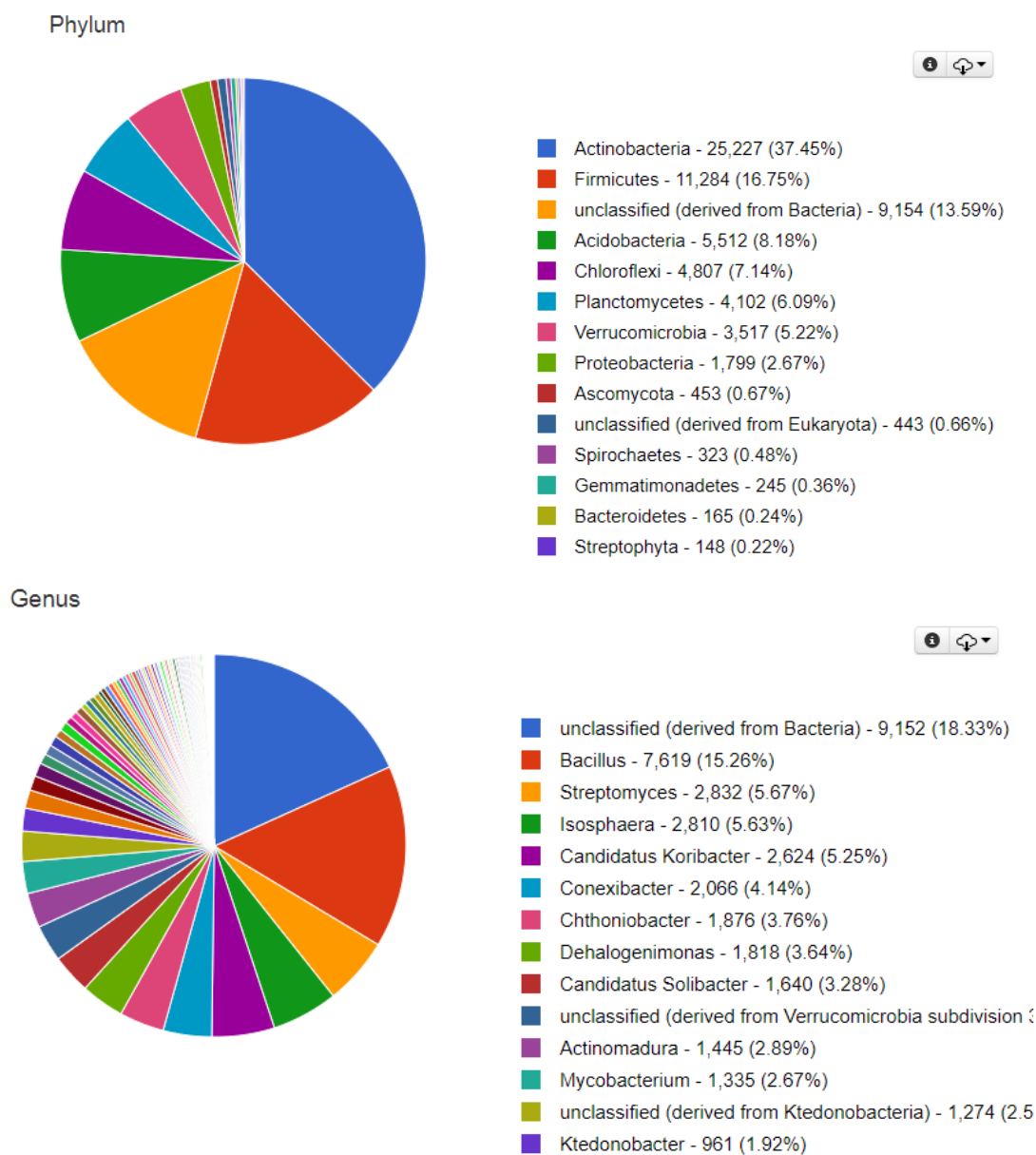
Source Hits Distribution

The graph below displays the number of database hits in the different ribosomal RNA databases. The bars representing annotated reads are colored by e-value range. Different databases have different numbers of hits, but can also have different types of annotation data.



Taxonomic Hits Distribution

The charts below represent the distribution of taxa using a contigLCA algorithm finding a single consensus taxonomic entity for all features on each individual sequence.

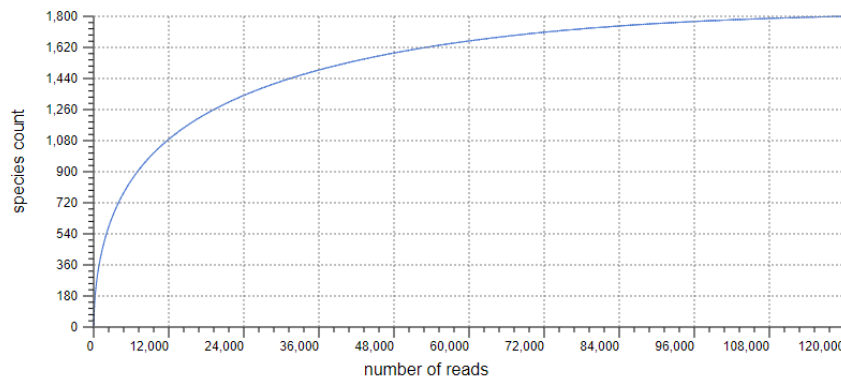


Rarefaction Curve

The plot below shows the rarefaction curve of annotated species richness. This curve is a plot of the total number of distinct species annotations as a function of the number of sequences sampled. On

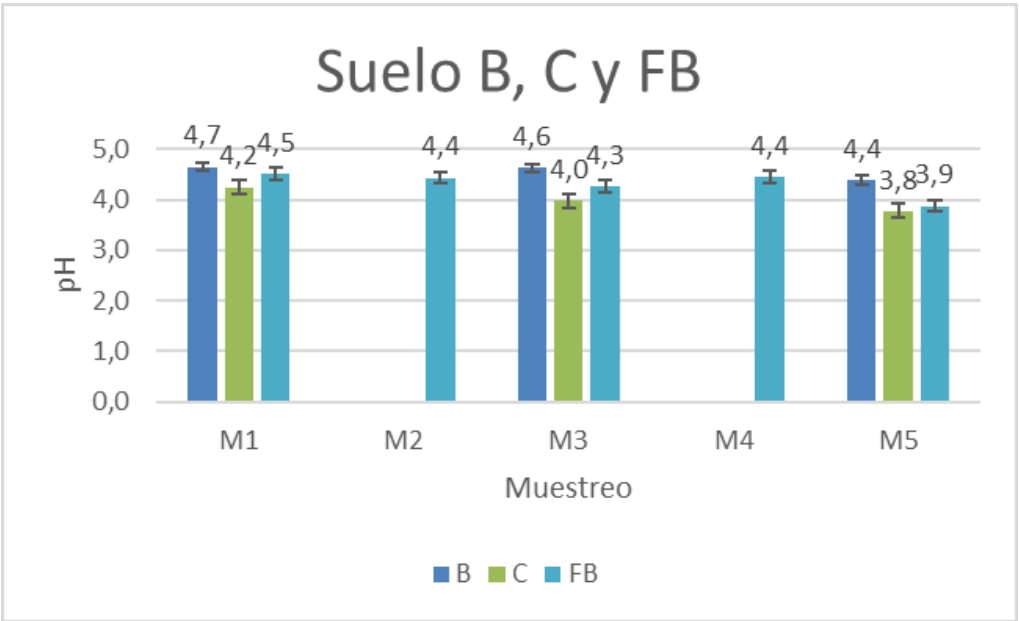
the left, a steep slope indicates that a large fraction of the species diversity remains to be discovered. If the curve becomes flatter to the right, a reasonable number of individuals is sampled: more intensive sampling is likely to yield only few additional species.

Sampling curves generally rise very quickly at first and then level off toward an asymptote as fewer new species are found per unit of individuals collected. These rarefaction curves are calculated from the table of species abundance. The curves represent the average number of different species annotations for subsamples of the complete data set.

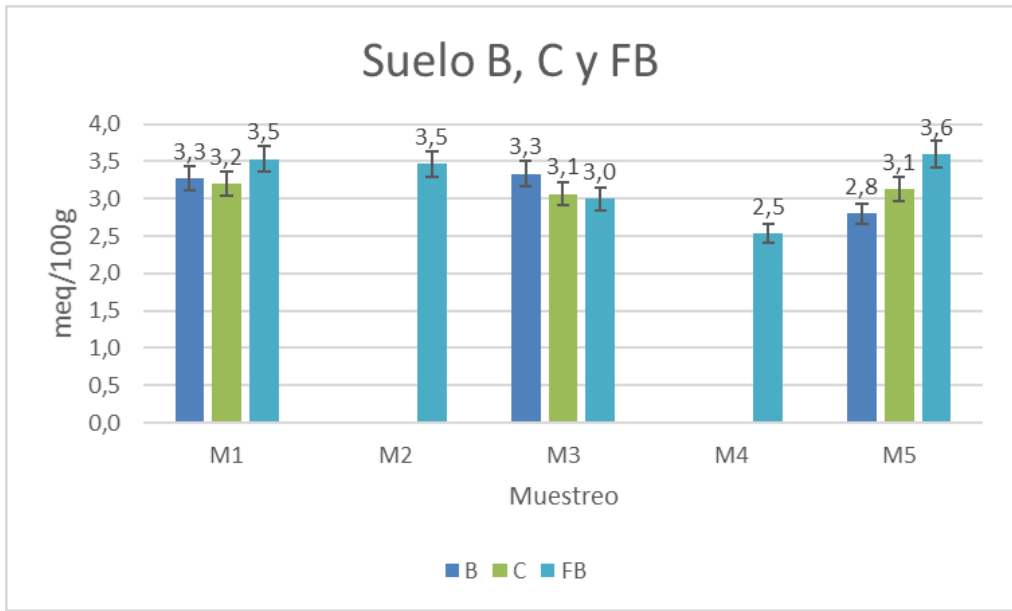


ANEXOS G. Reportes fisicoquímicos.

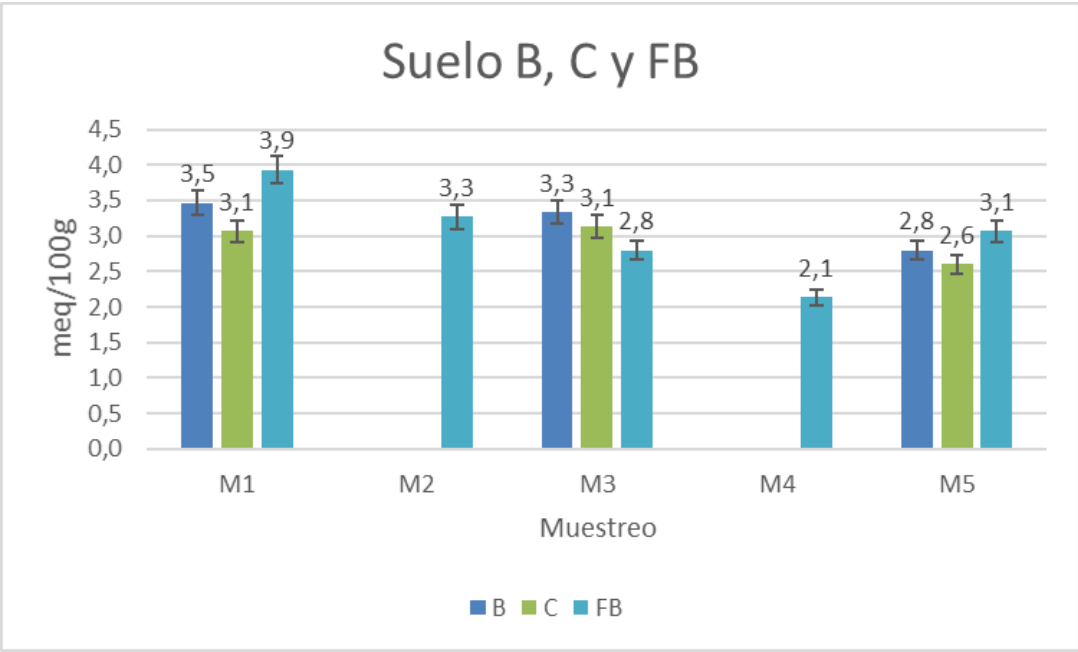
Datos de pH.



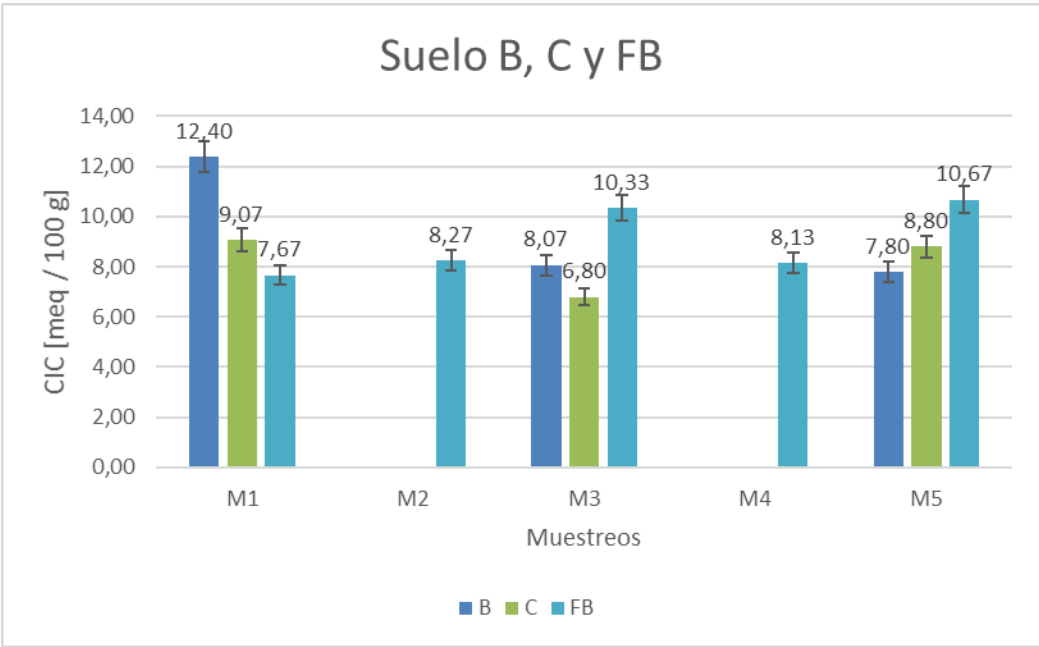
Datos de Acidez.



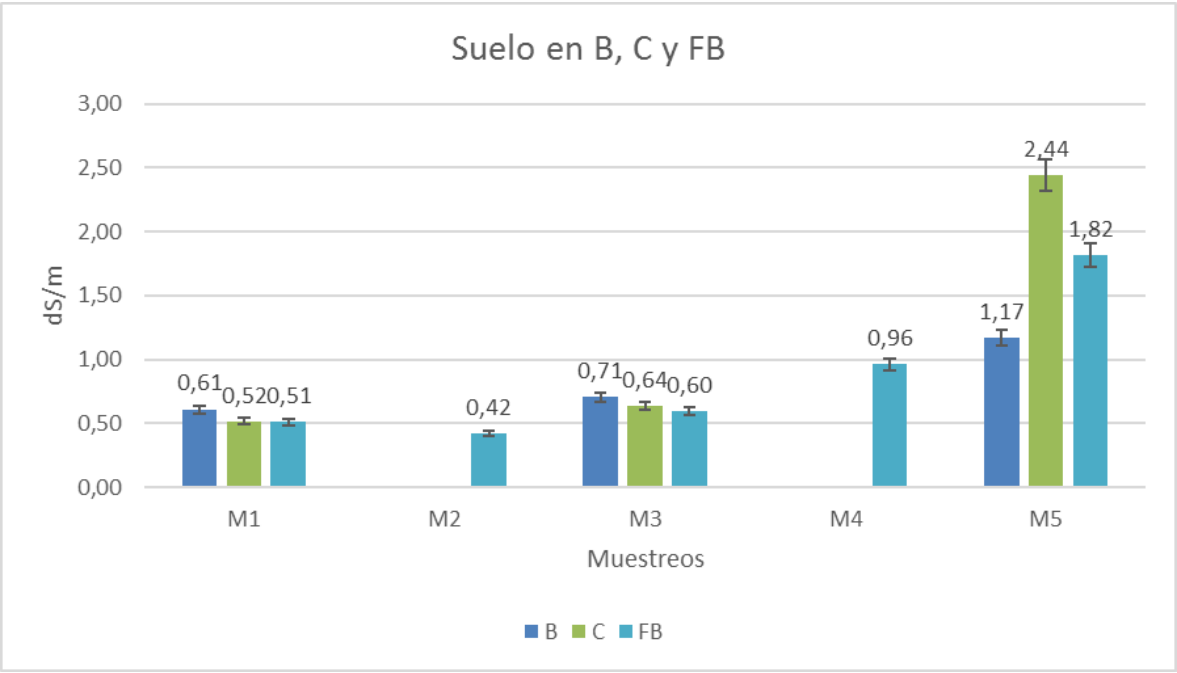
Datos de Aluminio.



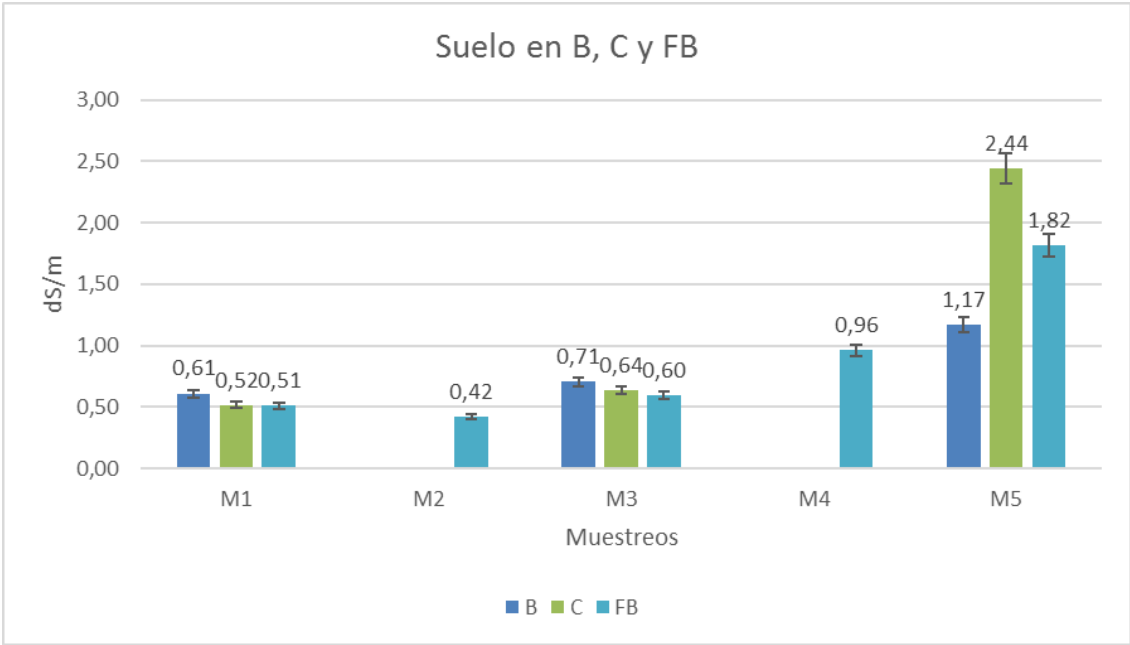
Datos de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).



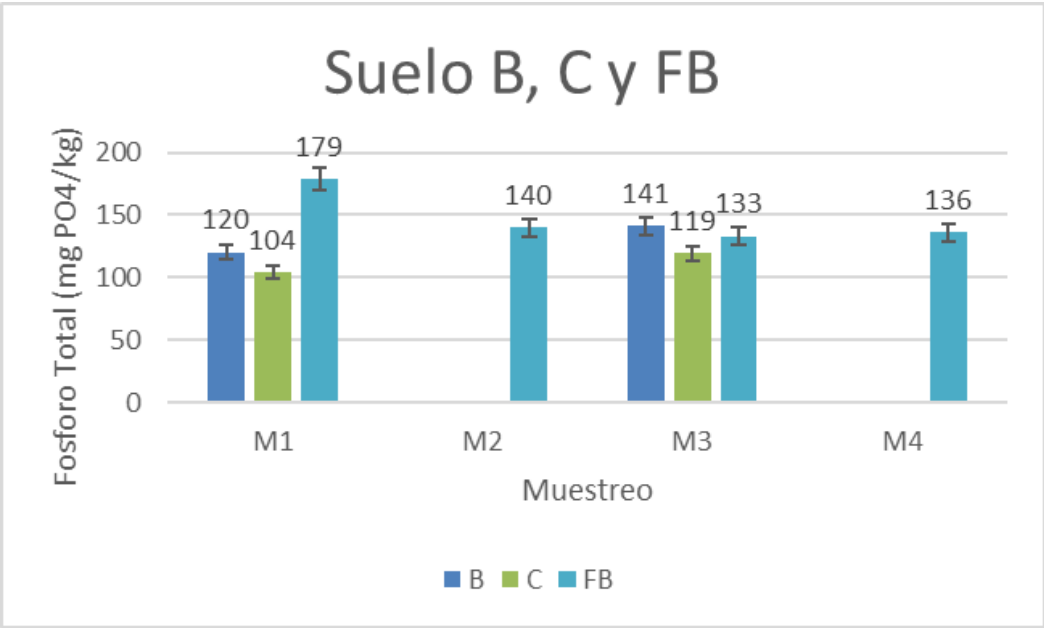
Datos de Conductividad Eléctrica (CE).



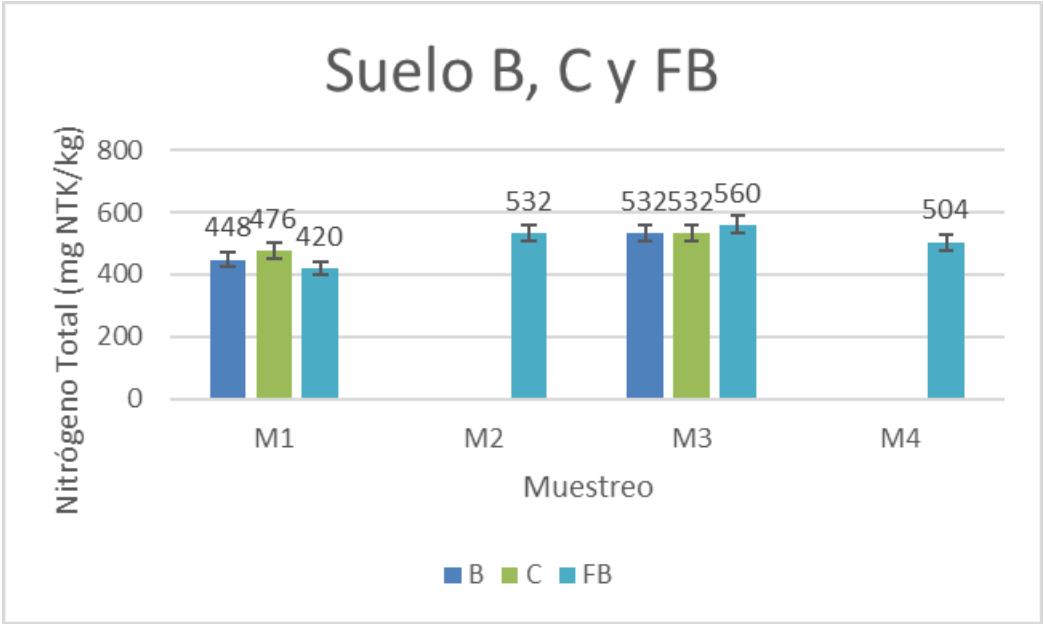
Datos del Porcentaje de Materia Orgánica.



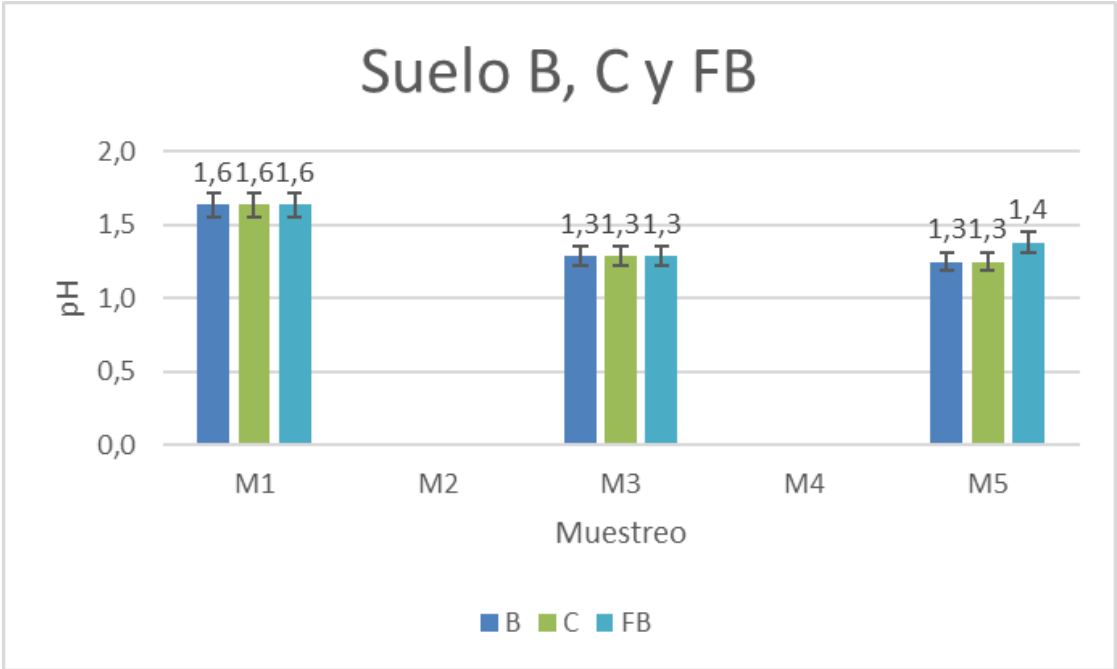
Datos de Fosforo Total.



Datos de Nitrógeno Total.



Datos de Densidad Aparente.



Datos de Densidad Real.

