

**Análisis de la microbiota de los suelos
impactados y no impactados por minería
metálica en República Dominicana**

Pierina Méndez Guillermo

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Análisis de la microbiota de los suelos impactados y no impactados por minería metálica en República Dominicana

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Pierina Méndez Guillermo

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2016

Análisis de la microbiota de los suelos impactados y no impactados por minería metálica en República Dominicana

Pierina Méndez Guillermo

Resumen: La minería, actividad dedicada a la extracción de minerales o cualquier elemento de valor económico en el suelo, esta ocasiona impactos como erosión, degradación y contaminación. Originalmente existe una población de microorganismos o microbiota, que mantienen el equilibrio ecológico, fertilidad y la dinámica del suelo. Dentro de estos organismos encontramos las bacterias, actinomicetos, hongos y nemátodos. República Dominicana no cuenta con datos que detallen los daños que las minas provocan al suelo; por lo que, los objetivos de este estudio fueron; i) determinar si la actividad minera influye en la cantidad de microorganismos del suelo, ii) determinar si existen diferencias en la cantidad de microorganismos entre los suelos impactados y no impactados por las minas e iii) identificar a nivel de género los hongos y nemátodos de ambos tipos de suelos. Se realizó una prueba T-Student, para determinar si existieron diferencias significativas en la cantidad de organismos evaluados. En la mina CM existieron diferencias significativas en la cantidad de nemátodos ($P < 0.05$) y en la mina FB hubo diferencias significativas en la cantidad de bacterias y nemátodos con un valor ($P < 0.05$). El hongo con mayor presencia fue *Aspergillus* sp. en ambos suelos (impactado y no impactado) y el nemátodo con más presencia fue *Rhabditida* también en ambos suelos. Se concluye, que las actividades mineras metálicas impactan sobre las cantidades de microorganismos del suelo y que en promedio los recuentos de los microorganismos evaluados son mayores en los suelos no impactados por la minería.

Palabras clave: Actinomicetos, bacterias, degradación de suelo, hongos y nemátodos.

Abstract: Mining, is the activity dedicated to the extraction of minerals or any other elements of economic value from the soil. Mining causes impacts such as erosion, degradation and pollution. Originally, the soil contains a microbiota that maintains the ecological equilibrium, fertility and dynamics of the soil. This microbiota includes: bacteria, actinomycetes, fungi and nematodes. Dominican Republic doesn't have official statistics the impact of mining in its soil. The aims of this study were; i) to determine if mining affects the amount of soil. Microorganisms (Minery Cerro Maimón and Falconbridge); to identify fungi genders and nematodes in both types of soils. A Student's T-Test was applied to determine the differences between quantities of organisms found in each type of soil. In Minery Cerro Maimón there was a difference on nematode quantity, and in Falconbridge Minery there was a difference on the quantity of bacteria and nematodes. The fungus was more presence in *Aspergillus* sp. in both (impacted and non-impacted) soil and nematode presence was more *Rhabditida* also in both soils. It is concluded that metal mining activities impact on the amounts of soil microorganisms and on average counts of microorganisms evaluated are higher in non-impacted by mining soils.

Key words: Actinomycetes, bacteria, fungi, nematodes, soil degradation.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	15
5. RECOMENDACIONES.....	16
6. LITERATURA CITADA.....	17
7. ANEXOS.....	20

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Valores normales de microorganismos observados en diferentes suelos.....	2
2. Características de microorganismos que habitan en el suelo.....	2
3. Conteo y significancia de los microorganismos de las muestras de suelo de la mina Cerro Maimón, República Dominicana.....	10
4. Conteo y significancia de los microorganismos de las muestras de suelo de la mina Falconbridge, República Dominicana	10
5. Géneros de hongos de las minas Cerro Maimón y Falconbridge, República Dominicana.....	12
6. Géneros de nemátodos de las minas Cerro Maimón y Falconbridge, República Dominicana	13

Figuras	Página
1. Mina Cerro Maimón, República Dominicana.....	4
2. Sitios de recolección de muestras en Cerro Maimón, República Dominicana.....	5
3. Mina Falconbridge, República Dominicana.....	6
4. Sitios de recolección de muestras en Falconbridge, República Dominicana.....	6
5. Procesamiento de muestras para análisis nematológicos.....	7
6. Procesamiento de muestras para análisis microbiológicos.....	8

Anexos	Página
1. Análisis microbiológicos	20
2. Análisis nematológicos	20
3. Caldera de explotación en Cerro Maimón.	21

1. INTRODUCCIÓN

El producto interno bruto mundial es conformado por varios rubros como es la minería que contribuye en un 11.5% (Coletto y Bueno, 2012). De acuerdo a Sadee (2013) “se calcula que el sector minero y de metales tuvo a nivel mundial un crecimiento de 27.6% durante 2010, pasando de 1, 661,000.00 a 2, 119,000.00 dólares, también se calculó que sólo para 2011 el sector creció en un 13%” (p. 5-6).

La minería es la actividad económica que se basa en la extracción selectiva de sustancias y minerales de la corteza terrestre (Coletto y Bueno, 2012). Existen diversos tipos de minería, entre ellas la minería a cielo abierto, que remueve la capa superficial de la tierra para extraer los minerales de interés accesibles para quien los explota, clasificándola como una actividad de alto impacto ambiental (Asociación Ecologistas Costarricenses-Amigos de la Tierra [AEC-AT], 2002).

La República Dominicana cuenta con actividades mineras que traen consigo ciertos problemas al ambiente como: contaminación de suelos y aguas por metales pesados, erosión del suelo y pérdida o disminución de la biodiversidad del ecosistema (Pérez et al., 2012). Actualmente, el país cuenta con el segundo depósito más grande de oro de América y extrae una gama de recursos mineros tales como: plata, bauxita, ferromanganeso y arcilla, de ahí la importancia de los recursos minerales del país. Este sector es uno de los rubros más importantes para la inversión nacional y extranjera (Centro de Exportación e Inversión de la República Dominicana [CEI-RD], 2014).

Los impactos de una mina se expresan en los siguientes factores: en el aire, en forma de polvo y emisiones de gases proveniente de la maquinaria utilizada; en el agua, con la intervención en cursos de agua superficial y subterránea; en el suelo, con la intervención de la topografía por excavaciones y deposición de botaderos de escorias (Canfield, 2012). La minería incluye remoción de suelo para la extracción del material de interés, provocando variaciones físicas (pérdida de estructura), químicas (reducción de macro y micronutrientes) y biológicas (pérdida de microorganismos) (Lillo, 2011).

La pérdida de microorganismos afecta el desarrollo de la vida en el suelo, ya que estos son los responsables de la dinámica, transformación y desarrollo del mismo. Los microorganismos proporcionan nutrientes de forma permanente para que el suelo sea fértil y pueda alcanzar un balance que permita el desarrollo ambiental (Morales, 2009). La microbiota del suelo consta de tres grandes grupos: bacterias, donde se incluyen los actinomicetos; hongos y algas, que transforman compuestos complejos y los convierten en fuentes de carbono y energía (Carballas, 2004). Uribe (1999) describe rangos de valores

normales de bacterias, actinomicetos y hongos que podríamos encontrar en un suelo en buen estado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores normales de microorganismos observados en diferentes suelos.

Organismo	(UFC × 10³)/gr de suelo
Bacterias	1,000-100,000
Actinomicetos	100-10,000
Hongos	1-100

UFC: Unidades Formadoras de Colonia. Fuente: Uribe (1999).

Cada uno de estos grupos de microorganismos posee características metabólicas que les permiten llevar a cabo los diversos procesos de transformación en el suelo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de los organismos que habitan en el suelo.

Organismo	Características
Bacterias	<ul style="list-style-type: none"> -Microorganismos más numerosos y pequeños del suelo [1]. -Importantes en los procesos de descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de energía y nutrientes [1] -Algunos tienen la capacidad de sobrevivir en condiciones desfavorables para su desarrollo [2].
Actinomicetos	<ul style="list-style-type: none"> -Microorganismos con características similares a los hongos y a las bacterias [3]. -Presentes en suelos aireados y con alto contenido de materia orgánica [3]. -Constituyen alrededor del 10 al 50% de la comunidad microbiana del suelo [3]. -Son claves en la descomposición de compuestos complejos del suelo y encargados de la humificación [1].
Hongos	<ul style="list-style-type: none"> -Constituyen la segunda porción más elevada de la biomasa microbiana del suelo [2]. -Su presencia depende de la disponibilidad de carbono orgánico y generalmente se encuentran en la capa superior del suelo [2]. -Forman simbiosis con la raíces y participan activamente en la descomposición de la hojarasca [1]
Nemátodos	<ul style="list-style-type: none"> -Son animales pluricelulares [1]. -Importantes en la descomposición de la materia orgánica del suelo [1].

Fuente: [1] Jaramillo (2002), [2] Coyne (2000), [3] Sánchez (2013), adaptado por el autor.

Actualmente en República Dominicana no se tienen datos del impacto que causa la explotación minera en el recurso suelo y más específicamente en la microbiota del mismo. Por consiguiente los objetivos de este estudio fueron: i) analizar si la actividad minera influye en la cantidad de microorganismos del suelo; ii) determinar si existen diferencias en la cantidad de microorganismos entre los suelos impactados y no impactados; e iii) identificar a nivel de género los hongos y nemátodos de los suelos impactado y no impactados por las minas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de muestreo. La mina Cerro Maimón o CORMIDOM es una mina a cielo abierto de extracción de oro, ubicada en el municipio de Maimón, provincia Monseñor Nouel, a 70 kilómetros de Santo Domingo, República Dominicana. Tiene operaciones en aproximadamente 4 km² con una técnica de explotación denominada caldera o taludes (Acosta, 2013) (Figura 1 y 2). La mina Falconbridge o Falcondon, también está ubicada en la provincia Monseñor Nouel en el municipio Piedra Blanca de Bonao. En esta mina se extrae ferroníquel y otros metales. Al igual que Cerro Maimón es una mina a cielo abierto que utiliza la técnica de explotación llamada frente abierto (Falconbridge Dominicana, 2015) (Figura 1 y 2).



Mina Cerro Maimon,
Bonao,
Monseñor Nouel,
REP.DOM.

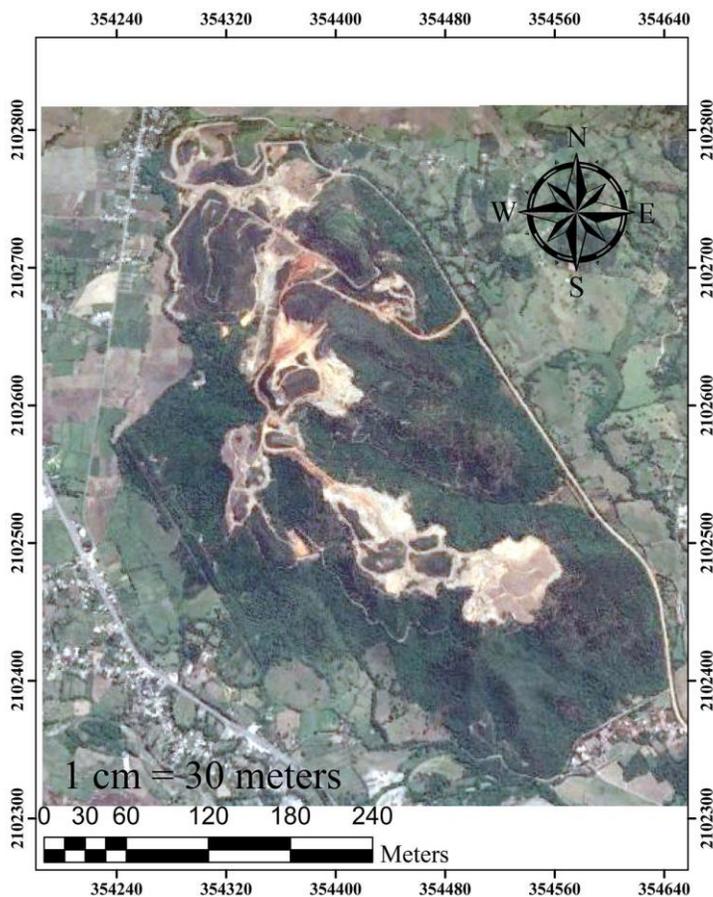
Autor:
Pierina Méndez Guillermo

Fuente:
Datos de campo,
Mina Cerro Maimon, 2016.

Fecha:
21 de Agosto del 2016.

Coordenadas:
WGS 1984, UTM, Zona 19 N.

Figura 1. Mina Cerro Maimón, República Dominicana.



Mina Falconbridge,
Piedra Blanca,
Monseñor Nouel,
REP.DOM.

Autor:
Pierina Méndez Guillermo

Fuente:
Datos de campo,
Falconbridge, 2016.

Fecha:
21 de Agosto del 2016.

Coordenadas:
WGS 1984, UTM, Zona 19 N.

Figura 2. Mina Falconbridge, República Dominicana.

Recolección e identificación de muestras de suelo. Se tomaron 15 muestras de suelo de cada una de las minas para un total de 30 muestras. Las muestras se dividieron de la siguiente manera: cinco muestras de los suelos no impactados y diez muestras de suelos impactados. La recolección se realizó en días que no hubo eventos de precipitación previa. Para muestrear se tomó el punto más alto del área de la mina y se hicieron submuestras a diferentes alturas para que las muestras fueran representativas del área. (Figura 3 y 4). Las muestras se identificaron utilizando la siguiente codificación, Cerro Maimón: CMV-1 a CMV-5 y Falconbridge: FBV-1 a FBV-5 para muestras de suelo no impactado y CMM-1 a CMM-10 y FBM-1 a FBM-10 para muestras de suelos impactados.

Las muestras se transportaron al laboratorio en bolsas de polietileno, selladas y codificadas; en el laboratorio las muestras fueron homogenizadas y tamizadas en mallas de acero inoxidable de 400 micras (cuatro mm) tal como venían del campo para luego comenzar los análisis nematológicos y microbiológicos. Los análisis se realizaron en el laboratorio del Instituto Dominicano de Investigación Agrícola y Forestal (IDIAF) con sede en la provincia San Francisco de Macorís en República Dominicana.

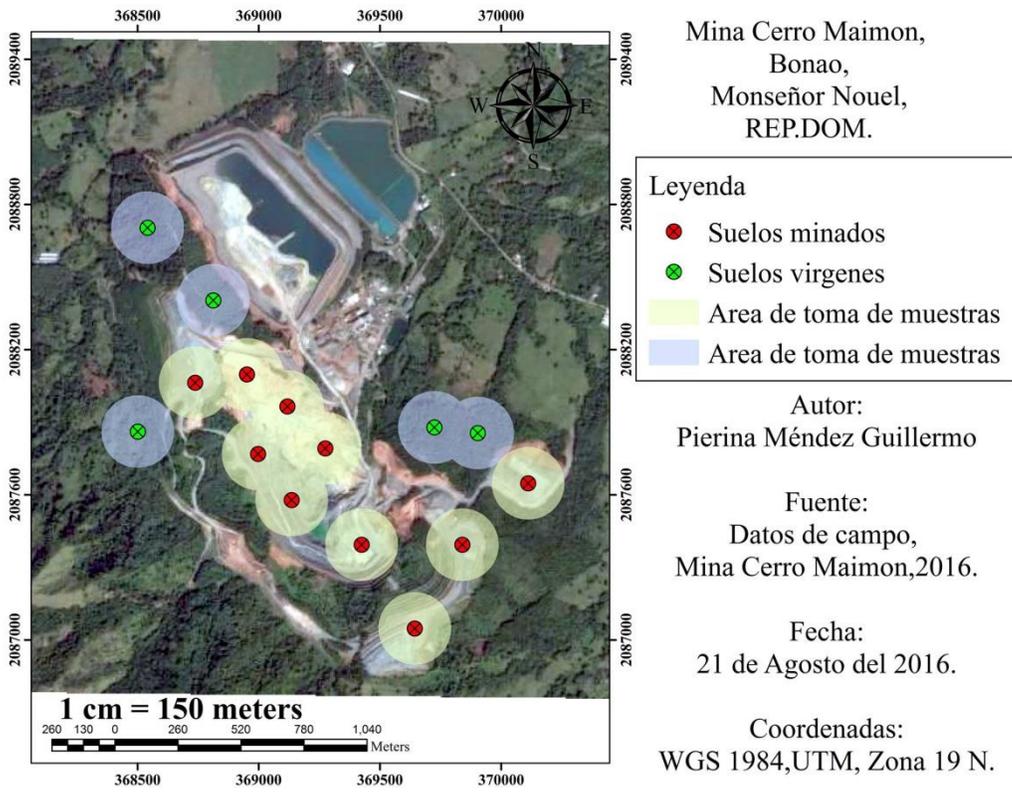


Figura 3. Sitios de recolección de muestras en Cerro Maimón, República Dominicana.

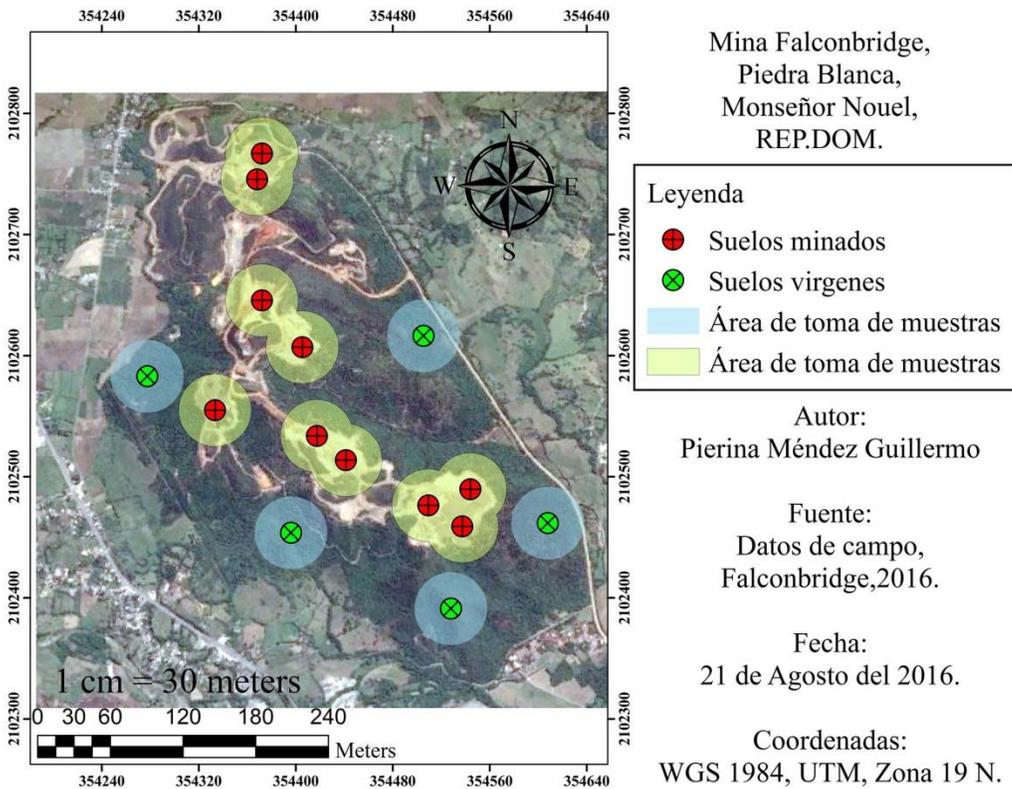


Figura 4. Sitios de recolección de muestras en Falconbridge, República Dominicana.

Análisis nematológicos. Se extrajeron los nemátodos de las muestras mediante el método de Baermann con algunas variantes en el procedimiento, siguiendo el estándar del laboratorio del IDIAF (Figura 5).

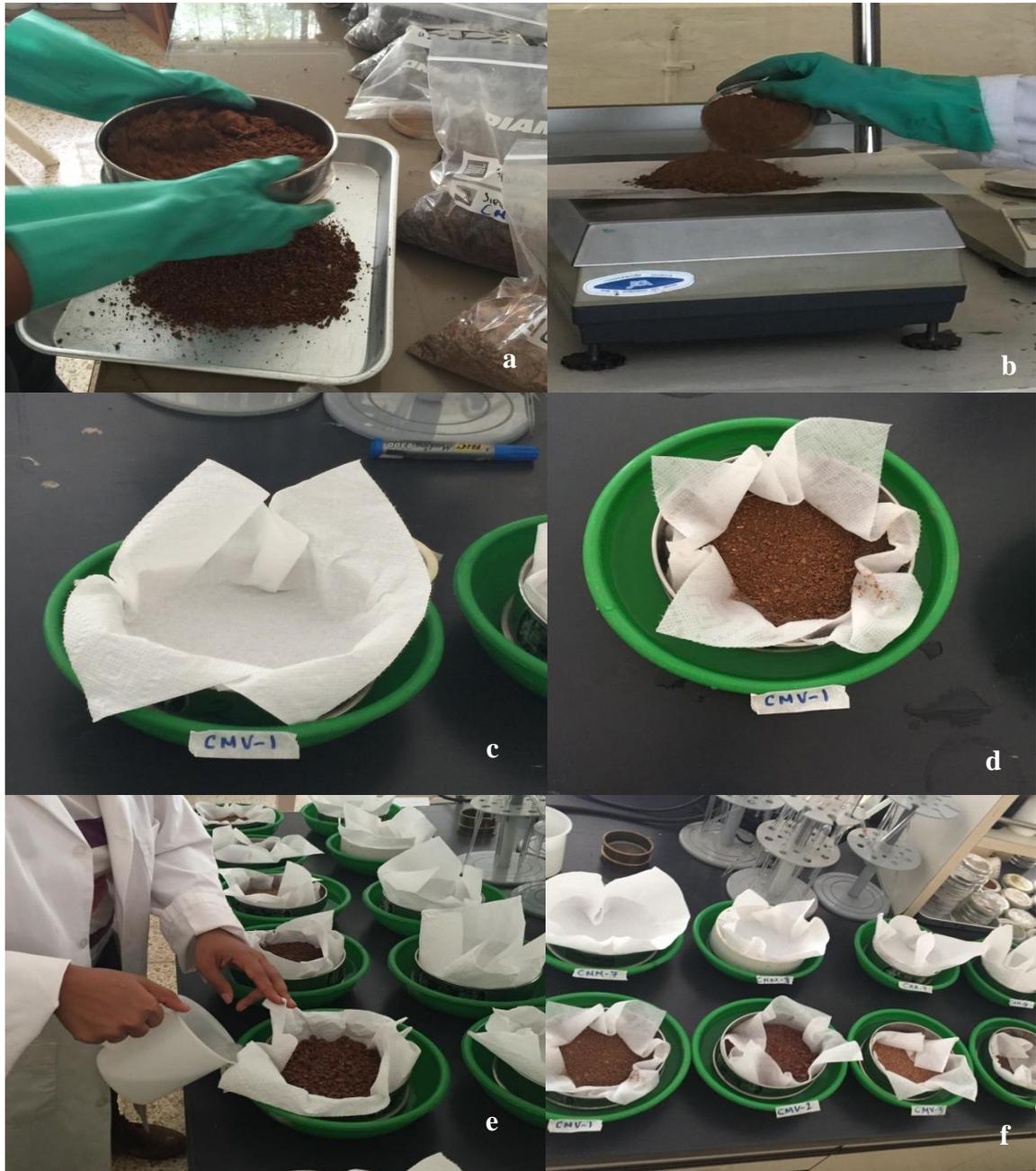


Figura 5. Procesamiento de muestras para análisis nematológicos. a) Homogenización y tamizado de la muestras, b) Pesado de la muestra, c) Contenedor de la muestra, d) Muestra depositada, e) Humedecimiento de la muestra, f) Muestras en reposo.

Análisis microbiológicos. Para los análisis microbiológicos (bacterias, hongos y actinomicetos) el procesamiento de las muestras se realizó en condiciones de esterilidad en una cámara de flujo laminar, siguiendo el procedimiento estándar del laboratorio detallada a continuación (Figura 6).



Figura 6. Procesamiento de muestras para los análisis microbiológicos. : a) Pesado de 10 g. de muestra, b) Muestra agitada en agua destilada, c) Alícuota de dilución madre, d) Inoculación de muestra, e) Esparcimiento de la muestra, f) Rotulado de muestras.

Para la cuantificación de los microorganismos se utilizó la siguiente ecuación [1]:

$$\text{UFC} = (\sum \text{del conteo UFC B, A y H} / 2 \times 10) / 2.5 \quad [1]$$

Dónde:

UFC: Unidades formadoras de colonia

B: Bacterias

A: Actinomicetos

H: Hongo

Identificación de hongos. Los hongos aislados fueron identificados mediante observación al microscopio haciendo uso de la clave de identificación de hongos de Watanabe (1993).

Identificación de nemátodos. Las observaciones se realizaron al microscopio y para la identificación se usó la guía de identificación de nemátodos de Hunt (2005).

Análisis estadísticos. Para conocer la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk y Levene (igualdad de varianza), ambas pruebas estadísticas indicaron que los datos no provenían de una población normal ($P < 0.05$). Como resultado se procedió a realizar un tratamiento estadístico con Log10 a todas las variables previo a su análisis. Posteriormente, se aplicó una prueba T-Student a las variables bacterias, actinomicetos, hongos y nemátodos en los sitios impactados y no impactados de las minas Cerro Maimón y Falconbridge. Las diferencias son reportadas como estadísticamente significativas cuando $P < 0.05$. Los análisis de los datos se llevaron a cabo con el programa estadístico SPSS versión 19.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las muestras de cada mina en cuanto a las unidades formadoras de colonias de bacterias, hongos y actinomicetos en un gr de suelo y número de individuos de nemátodos en 250 gr de suelo. Los primeros valores son un promedio de las muestras de los suelos impactados y no impactados y el valor P es la probabilidad (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Conteo promedio y significancia de los microorganismos de las muestras de suelo de la mina Cerro Maimón, República Dominicana.

Escenario	UFC $\times 10^3$ /gr de suelo			No. Individuos
	Bacterias	Actinomicetos	Hongos	Nemátodos
Suelo no impactado	1,650.000	580.000	7.100	27.000
Suelo impactado	750.000	295.000	4.900	2.000
Valor P	0.190	0.310	0.430	0.047*

Donde P es probabilidad estadística, ***P=0.000-0.001 (altamente significativa); **P=0.001-0.05 (mediamente significativa); *P<0.05 (baja significancia).

En la mina CM el recuento promedio de bacterias en suelos no impactados e impactados fue de $1,650 \times 10^3$ y 750×10^3 UFC respectivamente. Los actinomicetos presentaron recuentos promedios de 580×10^3 y 295×10^3 UFC. Los hongos presentaron recuentos promedios de 7.1×10^3 y 4.9×10^3 UFC. Los nemátodos 27 individuos en suelos no impactado y 2 en suelos impactados (Cuadro 3).

Cuadro 4. Conteo promedio y significancia de los microorganismos de las muestras de suelo de la mina Falconbridge, República Dominicana.

Escenario	UFC $\times 10^3$ /gr de suelo			No. Individuos
	Bacterias	Actinomicetos	Hongos	Nemátodos
Suelo no impactada	47,310.000	5,400.000	3.900	49.000
Suelo impactada	28,790.000	2,842.000	3.700	3.000
Valor P	0.048*	0.370	0.600	0.000***

Donde P es significancia estadística, ***P=0.000-0.001 (altamente significativa); **P=0.001-0.05 (mediamente significativa); *P<0.05 (baja significancia).

En la mina Falconbridge (FB) se obtuvo recuentos promedios de bacterias en los suelos no impactados e impactados de $4,731 \times 10^3$ y $2,879 \times 10^3$ UFC respectivamente. El recuento promedio de actinomicetos fue de 540×10^3 y 284.2×10^3 UFC. Los hongos presentaron recuentos promedio de 3.9×10^3 y 3.7×10^3 UFC. El conteo de número de individuos de nemátodos fue de 49 en suelos no impactados y 3 en impactados. En promedio ambas minas muestran menos cantidad de microorganismos en los suelos impactados que en los no impactados (Cuadro 3 y 4).

Uribe (1999) establece rangos normales de microorganismos como bacterias, actinomicetos y hongos en diferentes tipos suelos (Cuadro 1). En los suelos de las minas CM y FB los recuentos de los diversos organismos se encontraron dentro del rango normal a excepción de las bacterias de los suelos impactados de la mina CM que están por debajo del rango normal. En ambos casos (suelos impactados y no impactados) los valores se acercan bastante a los límites inferiores normales.

La prueba T-Student aplicada a las variables: bacterias, actinomicetos, hongos y nemátodos en las minas CM y FB indicó que existen diferencias significativas en los recuentos de microorganismos como bacterias en el caso de la mina FB y nemátodos en ambas minas (Cuadro 3 y 4).

Los nemátodos son organismos usados como indicadores para la predicción de perturbaciones ambientales (Benavides, 2013). Los nemátodos son clasificados según su fuente de alimentación en: bacterívoros, fungívoros, predadores, omnívoros y los que se alimentan de raíces (Food and Agriculture Organization [FAO], s.f), lo que significa que pueden alimentarse de casi cualquier organismo.

Los valores encontrados en bacterias, hongos y actinomicetos son bastante bajos lo que podría estar ligado a la significancia que arrojó la variable nemátodos con $P=0.047$ y $P=0.000$ en CM y FB respectivamente. Esto podría indicar que los nemátodos no cuentan una fuente suficiente de alimentación porque posiblemente las actividades mineras de CM y FB estén afectando negativamente las poblaciones que le sirven como fuente de sustento.

Aunque las bacterias son organismos versátiles con capacidad de sustentarse de muchas formas (Varela y Gotriuz, 2006). Estudios realizados por Atlas y Bartha (2002) describen que entre los nemátodos y las bacterias existe una asociación parásita-depredadora. En este contexto la disminución de la cantidad de nemátodos en el suelo podría tener cierto impacto en las poblaciones bacterianas; pudiendo ser la causa de la significancia mayor en la variable bacterias en la mina FB.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las muestras en cuanto a la identificación de los géneros de hongos encontrados en las muestras de suelo de la mina CM (Cuadro 5).

Cuadro 5. Géneros de hongos de las minas Cerro Maimón y Falconbridge, República Dominicana.

Escenario	Porcentaje de presencia en hongos			
	Mina CM	%	Mina FB	%
No impactado	<i>Aspergillus</i> sp.	44	<i>Aspergillus</i> sp.	50
	<i>Trichoderma</i> sp.	33	<i>Trichoderma</i> sp.	40
	<i>Penicillium</i> sp.	11	<i>Penicillium</i> sp.	10
	<i>Fusarium</i> sp.	11	<i>Fusarium</i> sp.	-
	<i>Geotrichum</i> sp.	-	<i>Geotrichum</i> sp.	-
	<i>Mucor</i> sp.	-	<i>Mucor</i> sp.	-
	No presencia	-	No presencia	-
Impactado	<i>Aspergillus</i> sp.	54	<i>Aspergillus</i> sp.	83
	<i>Trichoderma</i> sp.	-	<i>Trichoderma</i> sp.	8
	<i>Penicillium</i> sp.	-	<i>Penicillium</i> sp.	8
	<i>Fusarium</i> sp.	-	<i>Fusarium</i> sp.	-
	<i>Geotrichum</i> sp.	27	<i>Geotrichum</i> sp.	-
	<i>Mucor</i> sp.	-	<i>Mucor</i> sp.	-
	No presencia	18	No presencia	-

Los géneros de hongos presentes en los suelos no impactados fueron: *Aspergillus* sp., considerado un productor de micotoxinas que son liberadas durante la descomposición de la materia orgánica. Este hongo crece en casi cualquier sustrato, con regularidad en suelo con materiales descompuestos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT], 2012). *Trichoderma* sp., capaz de hacer simbiosis con raíces y colonizar medios como el suelo o material vegetativo (Asero y Suquilanda, 2007). *Penicillium* sp., que en conjunto con el *Aspergillus* sp., son de los hongos con mayor incidencia en el suelo. *Fusarium* sp., uno de los géneros menos comunes en el suelo (Cifuentes *et al.*, 2008). En cuanto a los suelos impactados se encontraron en su mayoría *Aspergillus* sp. y *Geotrichum* sp., este último encontrado regularmente en los daños en postcosecha de productos agrícola (Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias [INIA], 2014).

Los géneros de hongos presentes en la mina Falconbridge fueron similares a Cerro Maimón a excepción del género *Mucor* sp. Los hongos presentes en los suelos no impactados de esta mina fueron en su mayoría: *Aspergillus* sp y *Trichoderma* sp. seguido de la presencia de *Penicillium* sp. En cuanto a los suelos impactados se encontró en su mayoría solo *Aspergillus* sp y dos crecimientos diferentes en donde hubo *Trichoderma* sp. y *Mucor* sp. Este último no es tan común como los hongos mencionados

anteriormente, forma parte de los mohos del suelo y generalmente representa un daño para la salud humana (Tangarife, 2011).

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos de las muestras en cuanto a la identificación de los géneros de nemátodos presentes en cada muestra de suelo. Entre los principales géneros encontrados se *Rhabditida*, *Dorylaimida*, *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, *Monhysterida*, *Rhabditida* y otros nemátodos.

Cuadro 6. Géneros de nemátodos de las minas Cerro Maimón y Falconbridge, República Dominicana.

Escenario	Porcentaje de presencia en nemátodos			
	Mina CM	%	Mina FB	%
No impactado	<i>Criconemoides</i>	-	<i>Criconemoides</i>	5
	<i>Dorylaimida</i>	14	<i>Dorylaimida</i>	21
	<i>Helicotylenchus</i>	21	<i>Helicotylenchus</i>	11
	<i>Meloidogyne</i>	7	<i>Meloidogyne</i>	16
	<i>Monhysterida</i>	14	<i>Monhysterida</i>	5
	<i>Mononchida</i>	7	<i>Mononchida</i>	5
	<i>Rhabditida</i>	29	<i>Rhabditida</i>	26
	<i>Pratylenchus</i>	-	<i>Pratylenchus</i>	-
	<i>Tylenchus</i>	7	<i>Tylenchus</i>	
	<i>Wilsonema</i>	-	<i>Wilsonema</i>	5
	<i>Xiphinema</i>	-	<i>Xiphinema</i>	5
	No presencia	-	No presencia	-
	Impactado	<i>Criconemoides</i>	-	<i>Criconemoides</i>
<i>Dorylaimida</i>		7	<i>Dorylaimida</i>	8
<i>Helicotylenchus</i>		7	<i>Helicotylenchus</i>	-
<i>Meloidogyne</i>		7	<i>Meloidogyne</i>	-
<i>Monhysterida</i>		-	<i>Monhysterida</i>	-
<i>Mononchida</i>		14	<i>Mononchida</i>	-
<i>Rhabditida</i>		29	<i>Rhabditida</i>	67
<i>Pratylenchus</i>		-	<i>Pratylenchus</i>	8
<i>Wilsonema</i>		-	<i>Wilsonema</i>	-
<i>Xiphinema</i>		-	<i>Xiphinema</i>	-
No presencia	36	No presencia	8	

En su mayoría los nemátodos tienden a provocar daños en las raíces y algunos en las partes aéreas de las plantas, pero no todos son dañinos, existen benéficos como el *Tylenchus* que vive en asociación con las plantas (Naranjo, 2015). Los géneros de nemátodos presentes en los suelos no impactados de la mina CM fueron: *Rhabditida* y *Monhysterida* que son bacterívoros y que pueden ser indicadores de que en el suelo hay medio de alimentación para otros organismos (Salazar, 2012). *Dorylaimida* que es omnívoro, también considerado como generalista al alimentarse de diversas fuentes ya sean hongos, bacterias u otros nemátodos (Salazar, 2012). *Helicotylenchus* y *Meloidogyne* que son parásitos, principalmente de plantas. En los suelos no impactados se encontró

Tylenchus que es un nemátodo asociado a plantas y *Mononchida* que es un con características similares a los del género *Dorylaimida* como organismos omnívoros generalista (Salazar, 2012).

En la mina Falconbridge hubo presencia de especies como: *Criconemoides* presente en suelos húmedos con la capacidad de daño en las raíces como degradación y pudrición de tejidos (Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [OIRSA], 2003). *Xiphinema* que es un parásito de plantas y *Wilsonema* que es bacterívoro. Dentro de los suelos minados hubo presencia de la mayoría de los mencionados anteriormente, a excepción de *Pratylenchus* considerado de los más lesionadores de plantas y que al igual que el género *Xiphinema* también es parásitos de plantas (Salazar, 2012).

4. CONCLUSIONES

- La actividad minera a cielo abierto muestra menor cantidad de microorganismos, particularmente de bacterias y nemátodos, independientemente del material de extracción.
- En promedio, los recuentos de los microorganismos evaluados fueron mayores en los suelos no impactados que en los impactados por la minería.
- El hongo *Aspergillus* sp. y el nemátodo *Rhabditida* se presentan en todos los suelos muestreados independientemente estén o no impactados por las actividades mineras.
- Los hongos *Geotrichum* sp. y *Mucor* sp. se encontraron únicamente en los suelos impactados.

5. RECOMENDACIONES

- Aumentar el número de muestras y réplicas de los suelos, tanto no impactados como los impactados, considerando la ubicación dentro del terreno y el tiempo transcurrido para la toma de muestra.
- Evaluar otros posibles organismos que sirvan de indicadores ambientales como micro y macro invertebrados, protozoos u otros organismos.
- Generar procedimientos post-minería válidos, es decir, acciones y tratamientos adecuados que la mina debería aplicar después de los procesos extractivos para disminuir los procesos de degradación y erosión del suelo.

6. LITERATURA CITADA

- Acosta, C. (2013, Agosto 5). Las exportaciones netas de la Comporacion Minera Dominicana (Cormidon) durante 2'12 fueron US\$ 109 millones, segun la empresa. *Listin Diario*, pp. 1-2.
- Asero, J. y Suquilanda, M. (2007). Evaluación de *Trichoderma harzianum* y *Penicillium* sp. en el control de "OIDIO" en Rosas variedad Aalaser Gold. Pichincha, Ecuador: BuscAgro.
- Asociación Ecologistas Costarricense-Amigos de la Tierra. (2002). Minería de Oro a cielo abierto y sus impactos ambientales. San José, Costa Rica: Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales.
- Atlas, R. M. y Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y Microbiología Ambiental*. Madrid: Pearson Educacion, S. A.
- Benavides, I. V. (2013). Nematode communities as environmetal indicators. *Tecnología en marcha*, 2, pp. 30-37.
- Canfield, M. (2012). Etapas del proceso productivo de una mina. Santiago de Chile: SONAMI, Antofagasta Minerals.
- Carballas, T. (2004). Microbiología y bioquímica del suelo forestal. Instituto de Biodiversidad Agraria y Desarrollo Rural, pp. 6-10.
- Centro de Exportación e Inversión de la República Dominicana. (2014). Dossier del sector Minería. Santo Domingo, Rep. Dom.
- Coletto, J. P. y Bueno, C. P. (2012). La minería metálica en el mundo. El caso particular de Extremadura. Badajoz: Universidad de Extremadura.
- Coyne, M. (2000). La importancia de los microorganismos del suelo. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- Falconbridge Dominicana. (2015). Proceso Minero. La vega, República Dominicana: Falcondo- Falconbridge Dominicana.

- Food and Agriculture Organization. (s.f). Conservation of natural resources for sustainable agriculture. Sin lugar.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2014). Guía para la identificación de patógenos de poscosecha en frutos de arándanos. Montevideo, Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2012). *Aspergillus* sp. Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del Suelo. Medellín Colombia : Universidad Nacional de Colombia.
- Lillo, J. (2011). Impactos de la minería en el medio natural. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid.
- Morales, J. Á. (2009). La calidad microbiológica del suelo y de la composta del Parque Itchimbia en su proceso de recuperación. Pichincha, Ecuador : Escuela Politécnica del Ejército .
- Naranjo, R. P. (2015). Guía de muestreo de nemátodos fotoparásitos en cultivos agrícolas. San José, Costa Rica: Instituto de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2003). Enfermedades y artropodos asociados al cultivo de Loroco en El Salvador. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería y OIRSA.
- Pérez, A., Céspedes, I., Almonte, D., Ramírez, E., Cruz, P. A. y Núñez (2012). Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. *Terra Latinoamerica*, 30 (3): 1-12.
- Rincón, L. y Melgarejo L. M. (2005). Enzimas del suelo: indicadores de Salud y Calidad. *Acta Biológica Colombiana*, 5-18.
- Saade, C. L. (2013, Abril 08). La minería en el mundo y en México. *La jornada Ecológica*, 5-6.
- Salazar, J. M. (2012). Densidad y diversidad de nemátodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Jicotega, Nicaragua: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Sánchez, S. C. (2013). Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Statistical Package for the Social Sciences, versión 19.

Tangarife, V. (2011). *Mucor* sp. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.

Uribe, L. (1999). Uso de indicadores microbiológicos de suelos: ventajas y limitantes. San José, Costa Rica: Congreso Nacional de Suelos.

Watanabe, T. (1993). Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi. Boca Ratón, Florida. Taylor y Francis Group.

7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis nematológicos

1. Preparación e identificación del contenedor para la muestra.
2. Homogenización y tamizado de la muestra en una malla de 4mm.
3. Pesar 250 g. de suelo tamizado y colocar sobre filtro de papel toalla
4. Depositar los 250 g. en el contenedor preparado anteriormente y agregar agua destilada hasta humedecer completamente la muestra. En caso de que se seque volver a humedecer.
5. Poner la muestra en reposo de 24 a 48 horas
6. Filtrar el agua reposada anteriormente (paso 5) por un tamiz de 25 micras y coleccionar este sedimento en donde están contenidos los nemátodos.
7. Transferir los nemátodos a un pequeño beaker o un tubo de ensayo en caso de que se haga el conteo de inmediato.
8. Aforar 10 ml de la solución para hacer el conteo, montarlo en porta-objeto y realizar la identificación hasta un número de 100 nemátodos.
9. Repetir el paso anterior (paso 8) para promediar la cantidad de nemátodos.

Anexo 2. Análisis microbiológicos

1. Pesar 10 g de la muestra de suelo previamente homogenizada y colocar en la botella con 90 ml de agua esterilizada, agitar hasta suspensión total del suelo. Agregar al tubo rotulado 10-2 un alícuota de 1.0 ml de una solución de la botella.
2. Tomar 1.0 ml del tubo anterior y adicionarlo en el tubo rotulado 10-3. Repetir este paso hasta llegar a la dilución 10-5.
3. Colocar 0.1 ml de cada tubo marcado con las diluciones 10-2 y 10-3 por duplicado en Placas de Petri con medio agar papa dextrosa para hongos, luego, esparcir sobre toda la superficie (Figura 9).
4. Colocar 0.1 ml de cada tubo marcado con las diluciones 10-2 y 10-5 por duplicado en Placas de Petri con medio agar nutritivo para bacterias y actinomicetos, y esparcir sobre toda la superficie, luego identificarlas con el código de campo (Figura 10).
5. Incubar las placas sembradas a temperatura de 26° C entre 3 y 5 días hasta observar completo crecimiento de los microorganismos.
6. Realizar el recuento de los microorganismos.
7. Con el dato obtenido aplicar la fórmula para determinar el número total de bacterias, actinomicetos y hongos.



Anexo 3. Caldera de explotación en Cerro Maimón.