

Efecto de la fertilización orgánica sobre la evolución de las propiedades microbiológicas de estériles de mina de Cromo.

Ismael Alvarez Cardoso¹, Lisbet Font Vila² & Pavel Chaveli Chávez³

Fecha de recibido: 05 julio 2016

Fecha de aceptado: 03 noviembre 2016

RESUMEN

En Camagüey, Cuba existe una mina de cromo a cielo abierto por lo que se hace necesario buscar alternativas para su restauración. Se ha empleado la estimulación inicial de los microorganismos del suelo con fertilizantes minerales, pero debido al alto costo que supone la implementación de este método, se investigó el uso de abono orgánico como sustituto de la fertilización inorgánica. Se montó en la UCTB de Suelos Camagüey, un experimento en condiciones semi controladas con un diseño completamente aleatorizado y seis tratamientos (estériles de la mina, suelo Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnesial origen de la mina procedente de un área no perturbada, mezclas de estériles de la mina con suelo, estiércoles composteados (vacuno o gallinaza) y un tratamiento con mezcla de fertilizantes minerales: sulfato de amonio más superfosfato triple) para determinar la variante con mejor estado microbiológico. Los resultados alcanzados mostraron que el estéril de la mina presenta un estado alto de degradación con respecto al suelo presente anteriormente en el lugar. Las mezclas que contienen abonos orgánicos presentan un mayor desarrollo microbiano, destacándose el tratamiento donde se empleó la gallinaza composteada.

PALABRAS CLAVES/: Suelo, minería, restauración, microbiología, abonos orgánicos.

Effect of the organic fertilization in the evolution of the microbiological property of sterile mine of chromium.

ABSTRACT

In Camagüey, Cuba, there is an open sky chromium mine and its negative impact can be appreciated on the environment which makes it necessary to look for restoration alternatives. The initial stimulation of the soil microorganisms has been used with mineral fertilizers, but as the implementation of this method implies a high

¹Ing... Agrónomo, especialidad Agronomía. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz: ismael.alvarez@reduc.edu.cu

² Dr. C., Ing. Agrónoma, Instructora, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz: lisbet.font@reduc.edu.cu

³ Lic. en Microbiología, Investigador Agregado, UEB Suelos Camagüey: pchaveli@suelos.cmg.minag.cu

cost, a research was made substitute the use of inorganic fertilization by using organic manures. In order to was prepared an experiment under semi-controlled conditions with a totally randomized design and six treatments (mine sterile, Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnesian, origin of the mine from a virgin area, mine sterile mixed with soil and composted manures (bovine or chickens manure) and a treatment mixed with mineral fertilizers: ammonium sulfate and triple superphosphate) in the Camagüey Soils Institute to determine the variant with best microbiological condition. The results showed that the mine sterile presents a high level of degradation regarding the soil formerly found in the place. The mixtures that contain organic manures present a bigger microbial development, standing out the treatment where the composted chickens manure was used.

KEY WORDS/: Soil, mining, restoration, microbiologic, organic manures.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un importante recurso natural, considerado un sistema dinámico y vivo que constituye la interfaz entre la atmósfera, la litosfera, la biosfera y la hidrosfera, sistemas con los que mantiene un continuo intercambio de materia y energía. Esto lo convierte en una pieza clave del desarrollo de los ciclos biogeoquímicos superficiales y le confiere la capacidad para desarrollar una serie de funciones esenciales en la naturaleza de carácter medioambiental, ecológico, económico, social y cultural (Ortiz *et al.*, 2007).

El suelo en su interacción con el medio es afectado y transformado de varias formas, pero es la actividad del hombre, lo que de forma más violenta puede modificar un suelo y degradarlo.

En la actualidad, las actividades mineras son la práctica de extraer rocas de la tierra, trabajarlas y procesarlas para convertirlas en bienes de uso (Villarruel y Márquez, 2014). Las mismas, han jugado un papel central en el desarrollo económico de los grupos humanos, constituyéndose como un sector estratégico para el desarrollo y crecimiento de los países.

A pesar de su influencia positiva en la economía, la minería provoca una serie de impactos negativos durante el proceso de extracción, donde la minería a cielo abierto se considera que es una de las actividades con mayor alteración del ambiente, al afectar el equilibrio natural.

Toda minería a cielo abierto utiliza una técnica que conlleva a la destrucción y agotamiento de los ecosistemas del planeta. La eliminación de la capa boscosa, la destrucción de los suelos, la contaminación de las aguas superficiales y freáticas, la división en las comunidades y la violación de leyes y derechos, forman parte de las acciones rutinarias con las que se desenvuelve la minería a cielo abierto en muchas partes del mundo (Villarruel y Márquez, 2014)

Cuba se ha visto afectado por el impacto de la minería a cielo abierto. Cuba desde la década de los noventa conjuga el desarrollo económico y social sobre la base ética de propiciar el desarrollo sostenible en aras de conservar y proteger el medio ambiente.

Con el objetivo de darle solución a los problemas que acarrea la minería a cielo abierto, la Revolución Cubana ejecuta acciones para lograr la restauración de la tierra en atención a una planificación territorial dada. Estas pueden tener fines agropecuarios, forestal, hidroeconómico, recreativo, higiénico sanitario, constructivos y protectores de la naturaleza (NC, 1999).

En el municipio de Camagüey, Cuba, existe una mina de Cromo en explotación que colinda con la UBPC Victoria 2, donde se encuentra el polígono demostrativo de conservación de suelos, aguas y bosques perteneciente a la empresa Agropecuaria de Camagüey. En este ecosistema se observan los impactos negativos que esta actividad ha provocado en el lugar. Los riesgos de que esta zona, se convierta en un terreno sin vida son muy altos y es necesario implementar actividades que permitan restablecer su productividad, su importancia socioeconómica y se mejoren las condiciones del medio ambiente.

Para disminuir el impacto de la minería, el retorno del material al lugar de donde fue extraído es evidentemente el mejor método de manejo de residuos, pues minimiza diversas consecuencias ambientales como la erosión acelerada y el impacto visual, y facilita la recuperación del área (Enrique, 1995). Pero a pesar de esto, el suelo queda muy afectado y las alteraciones a la estructura y composición son muy altas, provocando en las propiedades microbiológicas cambios negativos.

En la actualidad, varios investigadores concuerdan que el grado de recuperación de un suelo degradado debe estimarse al evaluar en qué medida sus propiedades microbiológicas se aproximan a los niveles característicos de los suelos naturales no degradados de la zona (Gil-Sotres *et al.*, 2002).

Una práctica utilizada en la recuperación de suelos en estériles de mina, es la de fertilizar los mismos con abonos inorgánicos para generar el rápido desarrollo de un horizonte superficial rico en materia orgánica que tiende a presentar propiedades similares a las de los suelos naturales (Varela *et al.*, 1993).

Dado el alto costo de recuperación que tiene un manejo de este tipo, tiene como objetivo: Evaluar el efecto de abonos orgánicos, como sustituto de la fertilización inorgánica para fomentar un desarrollo más rápido de las propiedades microbiológicas del suelo recién creado de los estériles de la mina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio.

El trabajo se realizó en la Unidad Científico Tecnológica de Base de Suelos Camagüey, perteneciente al Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura. Se utilizaron estériles de la mina de cromo colindante a la UBPC Victoria 2 de la empresa Agropecuaria de Camagüey, la cual se encuentra a 20 metros de la excavación y donde está implementado el polígono demostrativo de conservación de suelos, aguas y bosques.

Descripción del sitio.

La mina de cromo se ubica al Noreste de la ciudad de Camagüey, a 20 km de los límites de la ciudad y se comunica mediante la carretera de Nuevitas la cual es la vía acceso más importante (Figura 1). La excavación están emplazadas en áreas aledañas a la UBPC Victoria 2, en el poblado de Altagracia, perteneciente al municipio de Camagüey. Se ubica entre las coordenadas (-77.7245089°) de longitud Norte y (21.4879689°) de latitud Este en la hoja cartográfica San Serapio (4680-II-A) a escala 1:25 000. Los límites principales son: al Norte por Área del Polígono Militar de Lesca, la sur se encuentra la Carretera de Nuevitas, poblado de Altagracia, la este por el camino Pollera La Lucha a Paso Lesca y al oeste se encuentra la GENT Victoria 1.

El suelo que existía antes de la excavación y en los alrededores de la mina es del tipo Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnesial sobre roca serpentinitasegún la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (1999) que correlaciona como un suelo Fersialítico Pardo Rojizo (FrsPR) según la Nueva Clasificación de Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015).

Diseño experimental.

Se realizó un experimento de laboratorio en condiciones semi-controladas para determinar la evolución de las propiedades microbiológicas en las diferentes variantes experimentales en el tiempo (Tabla 1). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con seis tratamientos y tres repeticiones.

Se emplearon bandejas metálicas con un Polietileno en la parte inferior para evitar contaminación de los materiales y el deterioro de la bandeja. Las mezclas se depositaron de forma plana a la superficie. Las mismas se colocaron en condiciones semi-protegidas a temperatura ambiente y manteniéndolas a un 70% de la capacidad máxima de retención de humedad.

Como material principal para elaborar las mezclas se seleccionó el estéril dentro del cráter de la mina de cromo. Las muestras de suelo no perturbado por la actividad se obtuvieron de la zona minera alejado de las excavaciones y sin perturbar, teniendo en cuenta que coincidiera con el mismo tipo de suelo

presente antes de la excavación. Ambos materiales fueron tamizados (4 mm) para eliminar las piedras y los terrones.

Como mejoradores del estéril de mina se utilizaron, en la elaboración de las mezclas, los abonos: estiércol vacuno y gallinaza, ambos sometidos previamente a un proceso de compostaje, con una humedad de 40%; y como fertilizante mineral superfosfato triple (SPT) y sulfato de amonio (SA).

La dosis a emplear en cada variante se determinó teniendo en cuenta la cantidad de fertilizante orgánico empleada en los sistemas de mejoramiento de suelos para estos casos en condiciones de campo, recomendado por Fuentes (2008). En el caso de los fertilizantes minerales se tuvo en cuenta la dosis recomendada por Varela *et al.* (1993).

Tabla 1: Tratamientos empleados en el estudio.

Trat	Variantes
1	Estériles de la mina (2kg) (E).
2	Suelo (2kg) (S).
3	Estériles de la mina (2kg) + suelo (0,04kg) (E+S).
4	Estériles de la mina (2kg) + estiércol vacuno (0,04kg) + suelo (0,04kg) (E+S+EV).
5	Estériles de la mina (2kg) + gallinaza (0,04kg) + suelo (0,04kg) (E+S+G).
6	Estériles de la mina (2kg) + fertilizante mineral (SPT) 0,01809 kg + (SA) 0,00096 kg + suelo (0,04kg) (E+S+FM).

Se realizaron determinaciones biológicas en tres momentos (al inicio, a los 4 y 6 meses). Los análisis químicos se realizaron al inicio y a los seis meses, considerando el tiempo de variación de los mismos respecto a los biológicos de acuerdo con Anderson *et al.* (1997).

Los indicadores utilizados son: para los análisis químicos fueron el pH en cloruro de potasio pH(KCl), utilizando el método potenciométrico NC ISO 10390 (1999); el P₂O₅ y K₂O con el método Oniani NC 52 (1999) y para la obtención de la capacidad de intercambio catiónico en suelos (CIC) fue utilizado el método Melich modificado (Schachtschabel) NC 65 (2000). Los métodos empleados en análisis biológicos fueron la materia orgánica en suelo (MO) que se determinó por método Walkley-Black colorimétrico MINAG (1999); la respiración basal (RB), humedecimiento de 25 g de suelo al 70% de la capacidad máxima de retención de humedad y la determinación del CO₂ al cabo de 24 horas de incubación a 30°C (Calero *et al.*, 1999); la capacidad nitrificadora real (NR) recurriendo al método Fenoldisulfónico propuesto por Bolotina y Abramova (1968) y la descomposición de la celulosa con el empleo de tubos de ensayo y tiras de papel celulosa, con una escala en el sistema para cuantificar el % de celulosa descompuesta en el tiempo (Szegui, 1988).

Análisis y procesamiento de datos.

Se conformó una base de datos y se procesaron los mismos estadísticamente mediante un análisis de varianza de las medias (ANOVA) de clasificación simple para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$) con una confiabilidad del 95% para comparar las medias. Los datos se procesaron mediante el programa estadístico SPSS® para Windows versión 11.5.1 (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química del material.

En los resultados de la caracterización química (Tabla 2); el pH (KCl) se encuentra en un rango desde neutro a ligeramente alcalino, excepto en el suelo FsPR (T2) donde resulta ligeramente ácido siendo característico en este tipo de suelo (Hernández *et al.*, 2015). El mayor valor lo presentó el T5, lo cual se puede atribuir al tipo de material empleado (gallinaza composteada) coincidiendo con Tortosa *et al.* (2012) el cual registra valores altos de pH (KCl) en este abono debido a la incorporación de huevos, restos de pienso y plumas que caen junto con el estiércol, en el proceso productivo de las granjas avícolas.

Tabla 2: Caracterización inicial de los indicadores químicos.

Trat	pH (KCl)	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	CIC
		mg.100g ⁻¹		%	cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹				
1	7,65b	2,10c	1,35c	0,37c	0,63cd	0,19b	0,04c	16,11c	18,16bc
2	6,15cd	0,60d	15,21b	6,35a	5,44a	0,08c	0,39b	30,23a	38,54a
3	7,44a	1,35cd	2,02c	0,65b	0,61cd	0,19b	0,04c	16,9bc	18,81b
4	7,6ab	4,68b	12,25bc	0,70b	1,25b	0,21b	0,27bc	17,20b	18,55b
5	7,96d	10,52a	57,64a	0,78b	0,77c	0,52a	1,26a	16,44bc	16,82d
6	7,74bc	1,28cd	2,09c	0,55bc	0,46d	0,20b	0,05c	16,31bc	17,38cd
ESx	0,056*	0,435*	3,882*	0,078*	0,093*	0,016*	0,082*	0,310*	0,283*

a, b, c ... Medias con letras iguales no difieren a $p \leq 0,05$ según la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

Los valores elevados de pH (KCl) que presentan las mezclas con respecto al suelo se debe a que todas tienen en su composición una porción importante de estéril de mina, lo cual hace que el pH (KCl) se incremente en cada una de ellas, resultados similares fueron obtenidos en análisis realizados a desechos mineros por Aduvire *et al.* (2006) que además plantearon que los suelos de mina pueden presentar situaciones extremas en los principales parámetros químicos y estos pueden influir en las medidas de restauración utilizadas.

Los valores de pH (KCl) registrados, coinciden con los obtenidos por Huerta (2010) en la evaluación de diferentes suelos contaminados *con mercurio* por la actividad minera en la región de San Joaquín, Querétaro, en México; además las variaciones en este indicador en suelos con explotación minera también fueron obtenidas por Aridio (2012), al obtener deficiencias químicas y pH extremos en estos suelos.

En el caso de los contenidos de P_2O_5 y K_2O se puede observar que, de manera general, los mayores valores se mostraron en los tratamientos en los que se usaron abonos orgánicos para constituir las mezclas (T4 y T5), valores elevados de estos nutrientes fueron obtenidos en análisis químicos realizados a estos abonos orgánicos por Estrada (2005) en el caso de la gallinaza, y Crespo y Fraga (2006) con el estiércol vacuno. El T5 mostró los mayores valores de potasio (K_2O y K^+) debido a que estas mezclas contienen gallinaza, el cual es un abono orgánico que se caracteriza por presentar valores elevados de este nutriente, estos resultados coinciden con los análisis realizados a diferentes tipos de gallinaza por Tortosa *et al.* (2012).

El contenido de materia orgánica (%) fue significativamente menor en todos los tratamientos con respecto al tratamiento 2, que contiene suelo y no posee estéril de mina, el cual es un material casi inerte con muy bajo porcentaje de materia orgánica. Resultados similares fueron obtenidos en los indicadores Mg^{2+} y Ca^{2+} , donde se aprecia que la relación Ca^{2+}/Mg^{2+} es por debajo de 1, lo cual es característico de este tipo de suelo (Hernández *et al.*, 2015).

En sentido general, el estéril de mina (T1) fue el de más bajo porcentaje de materia orgánica y nutrientes lo cual coincide con los estudios realizados por CITME (2007) en cuanto a las afectaciones químicas ocasionadas por las actividades mineras.

El análisis químico a los seis meses de confeccionadas las mezclas (Tabla 3), muestra cómo de manera general, los valores de pH(KCl) de todos los tratamientos disminuyeron con respecto al muestreo inicial (Tabla 3), lo que manifiesta una recuperación con respecto a este indicador. Similares resultados obtuvieron Gómez *et al.* (2011), los cuales afirman que los abonos orgánicos mejoran el nivel de pH del suelo, facilitando la liberación de nutrientes para las plantas.

Sin embargo, los valores que más se acercaron al neutro corresponden con los obtenidos en las mezclas 3, 4, 6. Por otro lado el pH (KCl) del T5, a pesar de su ligera disminución, sigue siendo el más alcalino, esto se debe a la composición química de la gallinaza presente en estas mezclas y fue obtenido también por Estrada (2005) y Tortosa *et al.* (2012) los que afirman que la incorporación de este abono pudo incrementar el pH del suelo.

Tabla 3: Caracterización final de algunos indicadores químicos .

Tras	pH (KCl)	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	CIC
		mg/ 100g		%	cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹				
1	7,65b	1,15d	2,64c	0,37d	0,63b	0,19c	0,04e	16,11d	18,16d
2	6,15b	1,15d	19,00b	6,35a	5,44a	0,08d	0,39c	30,23a	38,54a
3	7,26a	1,38cd	3,06c	1,1c	0,68b	0,42b	0,80b	18,03bc	19,79c
4	7,33a	7,92b	12,29b	1,28c	0,82b	0,43b	0,24d	18,71b	21,01b
5	7,77b	13,92a	56,66a	1,48b	0,65b	0,63a	1,26a	17,53c	19,01cd
6	7,20a	1,81c	3,47c	1,1c	0,68b	0,42b	0,08e	17,53c	18,87cd
ESx	0,087*	0,164*	3,289*	0,060*	0,095*	0,019*	0,020*	0,347*	0,393*

a, b, c ... Medias con letras iguales no difieren a $p \leq 0,05$ según la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

Con respecto al resto de los indicadores estudiados, es importante destacar que los mejores resultados de manera general, fueron alcanzados por los tratamientos con abonos orgánicos (T4 y T5); coincidiendo con resultados reportados por Gómez *et al.* (2008) en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

y rábano (*Raphanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco, los cuales confirmaron que la aplicación de abono orgánico en el suelo incrementa significativamente los valores de CIC, MO, Ca²⁺, Mg²⁺, P₂O₅ y K₂O y plantean que el efecto favorable de la aplicación de compost al suelo está dado por la composición química del mismo, donde se destacan los altos contenidos de MO, nitrógeno, P₂O₅, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺.

Se observa en el análisis final los altos contenidos de P₂O₅ y K₂O que mostraron las mezclas con abonos orgánicos con respecto al resto de los tratamientos, destacándose el T5 al igual que en el análisis inicial (Tabla 2). Estos resultados confirman la efectividad de estos abonos para recuperar algunas de las propiedades químicas de los suelos de minas analizados.

Evolución de los indicadores microbiológicos.

Respiración basal (RB).

En el caso de los indicadores microbiológicos, la RB al inicio fue nula o cercana a cero en todas las variantes estudiadas, a excepción del suelo no perturbado (T2) (Figura 2). Este resultado está dado por la muy baja o nula actividad microbiana que tienen los estériles de la mina, semejante a un mineral inerte.

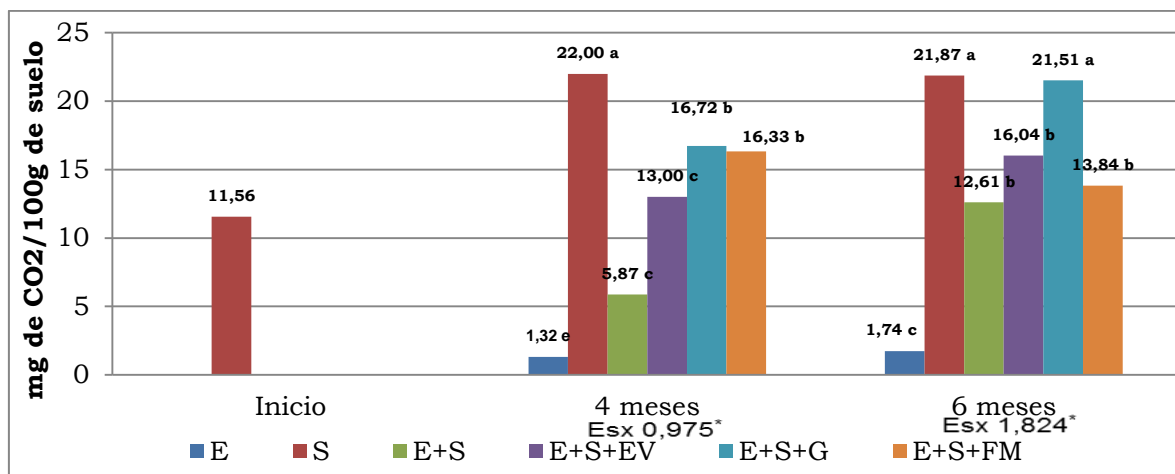


Figura 2: Comportamiento de la respiración basal en los diferentes tratamientos estudiados.

Los resultados de la RB muestran que a los cuatro meses de establecidas las mezclas existe una actividad microbiana activa en todos los tratamientos, aunque se destaca el suelo (T2) con los mayores valores. No obstante, transcurridos seis meses, la mezcla con gallinaza (T5) mostró un aumento de la actividad con respecto a los demás tratamientos y sin diferencia significativa con respecto al suelo (T2). Esto puede deberse a que el T5 mostró buenos contenidos de nutrientes (P_2O_5 y K_2O) y contenido de materia orgánica al cabo de los seis meses de realizadas las mezclas (Tabla 3). Resultados similares obtuvieron Mogollón *et al.* (2004) con la utilización del vermicompost, al lograr un incremento en la respiración basal de suelos degradados por sales, con el uso de este abono; o sea que se puede afirmar que con la utilización del estiércol vacuno y la gallinaza se logra recuperar al cabo de los seis meses la población microbiana existente inicialmente en este tipo de suelo.

Así mismo, Chaveli *et al.* (2009) alcanzaron resultados semejantes en relación a la actividad microbiana (RB) en un estudio de comportamiento de la estabilidad de abonos órgano minerales, al obtener una mayor respiración de los microorganismos al cabo de los 60 días de establecidas las mezclas.

Capacidad nitrificadora real (NR).

La capacidad nitrificadora real (NR) brinda una referencia de la presencia y actividad de los grupos microbianos capaces de transformar formas complejas o poco asimilables de nitrógeno, en formas más simples y por ende, asimilables para las plantas. La Figura 3 muestra los resultados obtenidos de este indicador en el estudio realizado, los cuales presentaron un comportamiento similar a la RB. A los cuatro meses se aprecia una respuesta de la actividad que alcanza valores superiores en los tratamientos 2 y 5, que posteriormente, disminuye en el T5 (gallinaza composteada) al cabo de los seis meses con igual

comportamiento que el T4 (estiércol vacuno composteado), manteniéndose el T2 (suelo no perturbado) con el mayor valor.

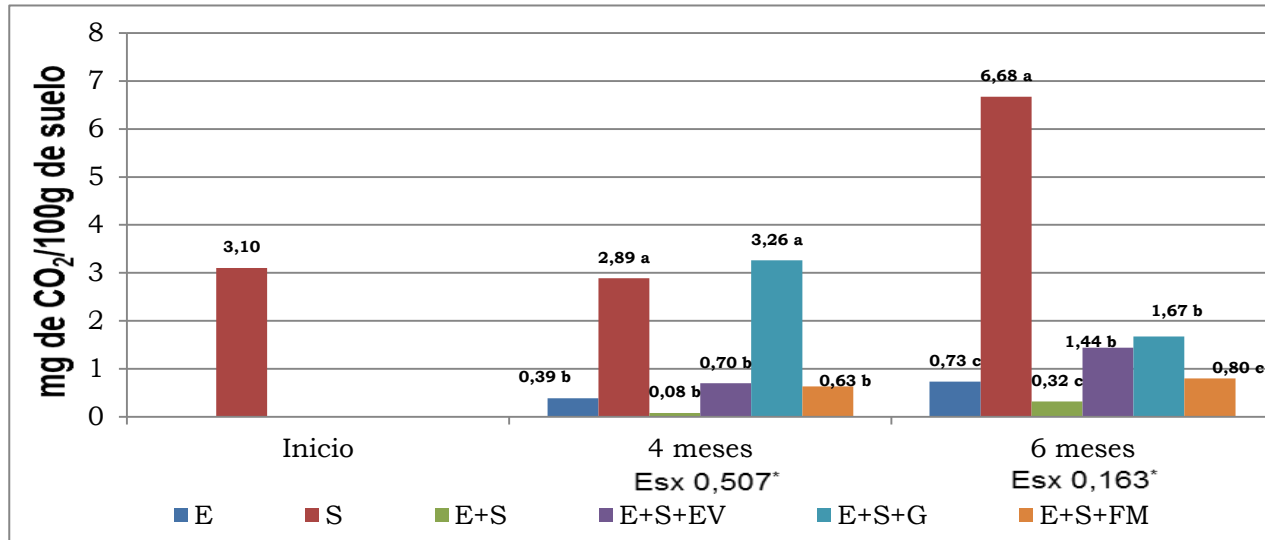


Figura 3: Comportamiento de la nitrificación real en los diferentes tratamientos estudiados.

Estos resultados corroboran los obtenidos en la RB (Figura 2), donde los tratamientos en los que se mejoró el estéril de minas con abonos orgánicos, mostraron la mayor actividad microbiana, coincidiendo con los resultados obtenidos por (Gil-Sotres *et al.*, 2002) el cual determinó que la utilización del abono orgánico purín permite un desarrollo más rápido de las propiedades que definen la calidad del suelo en los estériles incluso mejor que los fertilizantes inorgánicos.

En el caso del T5 donde hubo una explosión de la actividad microbiana a los cuatro meses que luego disminuyó a los seis, pudiera deberse a la presencia de amonio en este tipo de material que tiende a estabilizarse por los procesos de mineralización y a los contenidos de fósforo y calcio que favorecen este proceso de nitrificación (Fernández y Novo, 1988).

Descomposición de la celulosa.

La descomposición de la celulosa (DC), refleja la potencialidad de la microflora para degradar compuestos carbonados complejos como la celulosa de gran abundancia en la naturaleza. La Figura 4 muestra que al inicio del estudio hubo muy poca actividad celulolítica, lo cual es característico de este tipo de suelo, (Hernández *et al.*, 2015), solo el T2 y T5 mostraron actividad. En la medida que fue transcurriendo el tiempo y en condiciones ideales de temperatura y humedad, se evidencia el aumento de la actividad microbiana en todos los tratamientos, lo que demuestra la recuperación del material inicial, estéril de mina.

No obstante, el mejor comportamiento siempre se mostró en las mezclas donde se emplea el abono orgánico para la recuperación (T4, T5). En este

sentido se destaca que donde se aplicó la gallinaza hubo una respuesta más activa al punto que no presentó diferencias significativas con respecto al suelo (T2) al cabo de los seis meses.

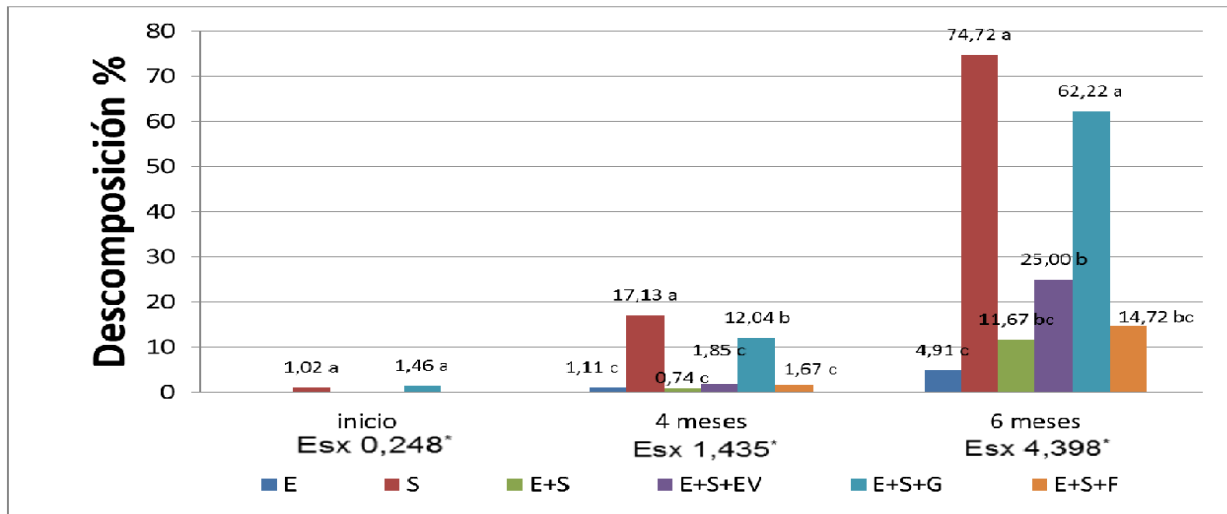


Figura 4: Comportamiento de la descomposición de la celulosa a la cuarta semana de incubación en los tratamientos estudiados.

Este resultado pudo estar influenciado por la actividad celulítica que es estimulada en medios con suficiente cantidad de calcio, ricos en nitrógeno y fósforo asimilable lo cual concuerda con lo demostrado por (Burgos, 2000) y la gallinaza se caracteriza por presentar valores altos de estos elementos, los parámetros coinciden con los análisis realizados por Tortosa *et al.* (2012) a diferentes tipos de gallinaza; además afirman que en el caso del contenido de calcio, es superior para la gallinaza de crías intensivas en jaulas porque generalmente caen huevos que pasan a formar parte del abono y lo enriquecen.

La Tabla 4 muestra la dinámica de DC en las cuatro primeras semanas al cabo de los seis meses de incubadas las mezclas, donde se puede apreciar un desarrollo progresivo de la actividad microbiana en todos los tratamientos estudiados. Los abonos orgánicos mostraron los mejores valores siendo el T5 el que se comportó al final de la evaluación de forma más cercana al T2.

Tabla 4: Dinámica de la descomposición de la celulosa a los seis meses de elaboradas las mezclas (%).

Tratamientos	1	2	3	4
S	0,96	6,11	29,72	74,72
E+S	1,11	3,33	2,96	11,67
E+S+EV	1,11	2,78	6,94	25,00
E+S+G	5,83	13,33	35,28	62,22
E+S+FM	1,11	2,22	7,59	14,72
E	0,56	1,39	3,33	4,91
Esx	0,632	1,815	3,727	4,398

Se destaca que el T5 en las primeras semanas tuvo una actividad significativa incluso por encima del T2. Este comportamiento se mantuvo hasta la semana 3 donde la actividad celulítica del suelo superó al T5. Esto puede deberse al alto contenido de nitrógeno que presenta este abono, coincidiendo con las investigaciones de (Estrada, 2005; Tortosa *et al.*, 2012), por lo que se estimula la actividad microbiana de la mezcla hasta alcanzar un punto de equilibrio en su actividad.

Relación de los indicadores evaluados.

Los resultados obtenidos en la DC son similares a los obtenidos con la RB y la NR, indicando la viabilidad de los abonos orgánicos como mejoradores del suelo, lo que fue demostrado también por Hernández *et al.* (2010) que admiten que además de mejorar las propiedades microbiológicas del suelo se mejoran las propiedades físicas y químicas del mismo, lo cual influye directamente en el crecimiento de las plantas.

Estos indicadores microbiológicos han sido usados por diferentes autores para diagnosticar degradación y erosión, (Font *et al.*, 2003; Chaveliet *al.*, 2003) fertilidad de los suelos (Calero *et al.*, 1999; Chaveliet *al.*, 2006; Font *et al.*, 2011), dosis de fertilización en algunos cultivos (Burgos, 2000; Font *et al.*, 2004), efecto de metales pesados sobre la calidad de sustratos orgánicos (Rodríguez, *et al.*, 2012; Monaga, *et al.*, 2015) y estimación de la calidad del suelo (Font, 2007; Font *et al.*, 2012, Ginebra, 2014) con resultados satisfactorios.

En general, todas las mezclas presentaron una mejora de sus características químicas y biológicas con respecto al estéril de mina; pero es necesario destacar que, como muestran los resultados de esta investigación, la incorporación del suelo al estéril con las dosis utilizadas en el tratamiento 3, no son efectivas para lograr una buena restauración del suelo, incluso con la aplicación de fertilizantes minerales donde el desarrollo de las propiedades del suelo

estudiadas no fue significativo, debido a que la calidad del estéril de la mina es muy pobre y los fertilizantes utilizados en las dosis propuestas no son efectivos para la recuperación de la calidad del suelo degradado de la zona.

Además, las mezclas utilizadas con abonos orgánicos (T4 y T5) denotaron indicadores cercanos y en ocasiones superiores a los del T2 lo que demuestra su viabilidad para restaurar estos suelos tan degradados, siendo el T5 con la gallinaza composteada el que mantuvo los mejores indicadores en la mayoría de las evaluaciones.

CONCLUSIONES

El estéril de mina presentó alto grado de degradación con bajos contenidos de nutrientes y materia orgánica lo cual provoca una baja actividad microbiana. Además el empleo de los abonos orgánicos mejoró las propiedades químicas del estéril de mina y proporcionó a través del tiempo (seis meses) un estado microbiológico adecuado cercano a las características del suelo sin perturbar, lo que posibilita la sustitución del fertilizante químico demostrando mayor viabilidad para su utilización en el proceso de restauración.

REFERENCIAS

- Aduvire, O., Escribano, M., García, P., López, C., Mataix, C. y Vaquero, I. (2006). *Manual de Construcción y Restauración de Escombreras*. España: ETSIM-UPM.
- Anderson, T. y Joergensen, R. (1997). Relationship between SIR and FE estimates of microbial C in deciduous forest soils at different pH. *Soil Biol, Biochem*, 29(1), 1033-1042.
- Aridio, P., Céspedes, C., Isidro, A., Sotomayor, D., Cruz, C.E. y Núñez, P.A. (2012). Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 201-211.
- Bolotina, N.I. y Abramova, E.A. (1968). Método para determinar la capacidad nitrificadora del suelo. *Agrojimia*, 4(1), 136- 14.
- Burgos, O.B. (2000). *Evaluación de diferentes sistemas de manejo de suelo en un agro ecosistema cítrica mediante el uso de indicadores microbiológicos*. Trabajo de grado, Ingeniería agrónoma, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Calero, B.J., Guerrero, A., Alfonso, C.A., Somoza, V. y Camacho, E. (1999). Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. *La Ciencia y el Hombre*, 9(1), 89-94.
- Chaveli, P. Font, L., Calero, B., Francisco, A.M., López, P., Caballero, R., et al. (2003). Uso de indicadores microbiológicos para la evaluación de la degradación de suelos Oscuros Plásticos arroceros de la provincia de Camagüey. *Centro Agrícola*, 3(1), 61-66.
- Chaveli, P., Font, L., Calero, B.J., López, P., Francisco, A.M., Caballero, R.D., et al. (2006). Evaluación de algunos indicadores microbiológicos en dos suelos arroceros

- de la provincia de Camagüey, Cuba. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*, 102(1), 3-12.
- Chaveli, P., Font, L., Calero, B.J., Valenciano, M. y Corrales, I. (2009). Evaluación de la calidad y estabilidad de abonos órgano-minerales. *Centro Agrícola*, 36(3), 63-69
- CITME (2007) Técnicas de recuperación de suelos contaminados (Informe No. 6), Madrid, España: Autor.
- Crespo, G. y Fraga, S. (2006, septiembre). *Avances en el conocimiento del reciclaje de los nutrientes en sistemas silvopastoriles*. Ponencia presentada en el IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible, EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (1999). *NC 52 Calidad del Suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (1999). *NC ISO 10390 Calidad del Suelo. Determinación de pH*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (2000). *NC 65 Calidad del Suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de cationes intercambiables del suelo*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (2001). *NC 112 Calidad del Suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y sales solubles totales en suelos afectados por salinidad Relación suelo-agua*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Enrique, L. (1995). Manejo de residuos sólidos en minería. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, *UNESCO*, 239 (I).
- Estrada, M.M. (2005). *Manejo y procesamiento de la gallinaza*. Trabajo de grado, Ingeniero Agropecuario, Universidad de Lasallista, Medellín, Colombia.
- Fernández, C. y Novo, R. (1988). *Vida microbiana en el suelo*. (1a. ed., Vol1 y 2). La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Font L. (2007). *Estimación de la calidad del suelo: criterios físicos, químicos y biológicos*. Disertación doctoral publicada, INCA, La Habana, Cuba.
- Font, L., Calero, B. y Chaveli, P. (2011). Evaluación de la fertilidad del suelo Ferrítico en hortalizas bajo condiciones de cultivo protegido. *Agrisost*, 17(1), 43-54.
- Font, L., Calero, B., Chaveli, P., Pérez, D. y González, M. (2004). Efecto de la fertilización fosfórica y orgánica sobre la fertilidad del suelo Ferrítico en hortalizas bajo condiciones de cultivo protegido. *Centro agrícola*, 1, 67-73.
- Font, L., Calero, B., Muñiz, O., Chaveli, P., Lamadrid, R., Del Castillo, A., *et al.* (2012). Guía para la Evaluación y seguimiento de la calidad de los suelos. *Agricultura Orgánica*, 18(1), 16-18.

- Font, L., Chaveli, P., Calero, B., Francisco, A.M., López, P., Caballero, R., *et al.* (2003). Impacto de algunos procesos degradativos sobre el estado microbiológico de un suelo Ferrasol cultivado de arroz. *Centro agrícola*, 3, 67-72.
- Fuentes A., Soca M. y Gálvez V. (2008). *Manual oficial de procedimiento del programa nacional de mejoramiento y conservación de suelos de Cuba*. Habana, Cuba: Ministerio de la Agricultura
- Gil-Sotres, F. y Trasar, C. (2002). Influencia de la fertilización orgánica sobre la evolución de las propiedades bioquímicas de estériles de minas de lignito. *Ecosistemas*, 11(1), 32-46.
- Ginebra, M. (2014). *El carbono orgánico lábil del suelo. Indicador comparativo de la calidad del suelo*. Tesis de maestría publicada, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba.
- Gómez D., Vásquez, M., Rodríguez, I., Posas, F. y Matute D. (Ed.). (2011). Producción orgánica de hortalizas en clima templado. *Abonos orgánicos*, 119(3), 13-22.
- Gómez, R., Lázaro, G. y León, JA. (2008). Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad y ciencia*, 24(1), 320-353.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. y Rivero, L. (1999). *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. Instituto de Suelos. Cuba: AGRINFOR.
- Hernández, J.A.; Pérez, J.J.; Bosch, I.D.; Castro, S.N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Cuba: INCA.
- Hernández, O.A., Ojeda, D.I., López, J.C., Arras, A.M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(1), 78-88.
- Huerta, H.E. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, y su relación con el crecimiento bacteriano*. Trabajo de grado, Licenciatura En Biología, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- MINAG. (1999). Normas Cubanas NC-51. *Determinación de materia orgánica en suelo: Cuba*.
- Mogollón, J.P., Tremont, O. y Rodríguez, N. (2004). Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos*, 9(1 y 2), 48-57.
- Monaga, M., Rodríguez, M., Calero, B., Muñiz, O., Montero, A., Ginebra, M., *et al.* (2015 Junio). *Efecto del mercurio sobre indicadores biológicos de calidad en sustratos orgánicos*. Ponencia presentada en el Congreso Suelo 2015, La Habana, Cuba.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M. y Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Madrid, España: [s.n]

Rodríguez, M., Calero, B.J., Muñiz, O., Montero, A., Ginebra, M. y Leal, A. (2012 Noviembre). *Efecto de metales pesados sobre la respiración basal en sustratos orgánicos*. Ponencia presentada en el Congreso Científico del INCA, Mayabeque, Cuba.

Szegui, J. (1988). *Cellulose decomposition and soil fertility*. Disertación doctoral no publicada, Universidad de Budapest, Budapest, Hungría.

Tortosa, G., Alburquerque, J.A., Ait-Baddi G. y Cegarra, J. (2012). The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two-phase olive mill waste (alperujo). *Journal of Cleaner Production*, 26, 48-55.

Varela, C., Vázquez, C., González, M.V., Leirós, M. C. y Gil-Sotres, F. (1993). Chemical and physical properties of open cast lignite mine soils. *Soil Science*, 156, 193-204.

Villarruel, G. y Márquez, J.A. (2014). *Control topográfico aplicado a una mina a cielo abierto*. Trabajo de grado, Ingeniero Geomático, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, D.F.