

EFICIENCIA DEL USO DE LAS ESPECIES COMO (GRAMINEAS Y FABACEAS) EN SUELOS DISTURBADOS POR MINERIA DE ARCILLA EN LA MINA “EL CIELO” CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE JESUS- CESAR

Gabriela Carolina Higidio Ferrer

Ingeniera Ambiental y Sanitario. Valledupar,
Colombia

Camilo Andrés Baquero Castilla

Ingeniero Ambiental y Sanitario. Valledupar,
Colombia

Karina Paola Torres Cervera

Msc. Medio Ambiente y Desarrollo
Sostenible, Docente Universitario del
Programa ingeniería ambiental y sanitaria,
Universidad Popular del Cesar

Adriana Carolina Royero Ibarra

Msc. Sistema de gestión, Docente
Universitario del Programa de ingeniería
ambiental y sanitaria, Universidad Popular
del Cesar

Yecid Gafit Acevedo Duran

Msc. en Literatura hispanoamericana y del
caribe, Docente Universitario del Programa
de Idiomas, Universidad Popular del Cesar

All content in this magazine is
licensed under a Creative Com-
mons Attribution License. Attri-
bution-Non-Commercial-Non-
Derivatives 4.0 International (CC
BY-NC-ND 4.0).



Resumen: La presente investigación se centró en la implementación de diferentes especies para evaluar la eficiencia de estas en suelos disturbados por la minera de arcilla. Se tomó una parte del terreno a la cual se le hizo una caracterización físico-química y microbiológica para conocer las condiciones del suelo en estudio antes de aplicar las especies, luego se dividió en cuatro parcelamientos de medidas iguales, de 1,5x1 m, uno de control y tres en los cuales aplicamos las respectivas especies, esto con el objetivo de evaluar la eficiencia de la interacción de las especies en el suelo contaminado por minería. Este estudio reveló la gran capacidad de las gramíneas (Maíz, pasto estrella y pasto brachiaria), y Fabáceas (Yaguaro y Acacia Riparia Kunth), para proporcionar materiales orgánicos y nutrientes que permitieron la evaluación de la eficiencia o la reactivación de los suelos contaminados. Cabe resaltar que el que tuvo una mayor una eficiencia fue el parcelamiento tres.

Palabras clave: Arcilla; gramíneas; suelo; fabáceas.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se refiere al tema de los suelos afectados por la actividad minera, específicamente la extracción de arcilla, para nadie en un secreto el grado de contaminación que se vive hoy en día por las explotaciones mineras las cuales pueden ser causa y origen de fuertes impactos sobre el suelo, debido principalmente a los grandes volúmenes de materiales que se desplazan, creando huecos y escombreras que cambian la fisiografía de la zona y alteran las características productivas del terreno, dando lugar a problemas ambientales, ecológicos y paisajísticos, allí donde se ubica la operación minera y trascendiendo a los alrededores en muchas ocasiones [1].

Así mismo, la degradación del suelo es la

pérdida de su productividad y utilidad actual o potencial, que implica el desmejoramiento del suelo en su capacidad inherente para producir bienes y servicios y para realizar sus funciones de regulación ambiental [2].

Debido a todas estas consecuencias que traen consigo las actividades mineras hemos decidido comenzar este proyecto para brindarle a la comunidad una mejor calidad de vida, donde pueden vivir en un ambiente limpio y sobre todo recuperar el suelo que está contaminado.

Nuestro proyecto de investigación consiste en analizar la eficiencia de la aplicación de especies (gramíneas y leguminosas - (fabáceas) como indicadoras de la recuperación de los suelos disturbados por minería de arcilla en la mina "El Cielo" en el corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar, el cual es muy rentable porque nos ayudara a rehabilitar las zonas afectas y así a futuro poder darle un aprovechamiento para cualquier actividad antropogénica. Identificaremos las propiedades físicas, químicas y microbiológicas para saber las condiciones con las que encontramos el suelo antes de remediarlo y así mismo al final analizar los resultados obtenidos después.

MATERIALES Y METODO

Nuestra investigación se realizó a través de análisis de campo y pruebas de laboratorio, El diseño consistió en dividir una sección del suelo en cuatro parcelamientos de 1,5 x 1 m cada uno. El factor principal evaluado fue la eficiencia de las especies: gramíneas (Maíz, pasto estrella y pasto brachiaria), fabáceas (Yaguaro y Acacia Riparia Kunth) por medio de las propiedades físico-químicas del suelo afectado por esta minera de arcilla.

Antes de realizar la respectiva aplicación de especies, se tomaron muestras del suelo a través de un muestreo compuesto para realizar las diferentes pruebas físicas (Textura, color, retención de humedad, densidad aparente,

consistencia, porosidad), químicas (Carbono orgánico, materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo, hierro, nitrógeno, micro y macro nutrientes [3] y microbiológicas (Entidades patógenas y no patógenas identificadas).

Luego se hizo la aplicación de las especies:

Primer parcelamiento: se aplicó Yaguaró (1 un), Acacia riparia kunth (1 un), Pasto Brachiaria (500gr) y Enmienda.

Segundo parcelamiento: se aplicó Maíz (500gr) + Yaguaró (1 un) + Pasto estrella (500 gr) + Enmienda.

Tercer parcelamiento: se aplicó Yaguaró (1 un) + Acacia riparia kunth (1 un) + Pasto Brachiaria (500gr) + Enmienda.

Esta enmienda está compuesta de heno con lombricompost y cascarilla de arroz.

Cuarto parcelamiento: se utilizó como control.

Después se realizó el respectivo seguimiento mediante observación directa de manera periódica a cada uno de los parcelamientos transcurrido un tiempo de 20 semanas y se tomarán muestras de suelo para observar la relación e interacción de las especies utilizadas y conocer las nuevas condiciones o parámetros del suelo a través de las respectivas pruebas físicas y químicas.

Por último, se realizó la comparación de los análisis antes y después de la aplicación de las especies y se determinó la efectividad de las especies teniendo en cuenta también los factores o condiciones ambientales (luz solar, precipitaciones, etc.) que pudieron influir en la recuperación del suelo.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas en las que se desarrolló este proyecto.

ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS INICIALES DEL SUELO

Se tomó una muestra del parcelamiento de control esto con el fin de conocer las condiciones iniciales del suelo en estudio, la cual se llevó a un laboratorio para realizar los respectivos análisis. Cabe aclarar que no se hizo la toma de muestra en diferentes puntos del espacio, sino solamente en uno ya que el terreno donde se realizó el proyecto de investigación, era un terreno regular, uniforme, sin pendientes.

En las tablas siguientes se pueden observar los resultados de cada uno de los análisis que se le realizó al parcelamiento de control:

De estos resultados iniciales físico-químicos se puede decir que el suelo presenta un pH ligeramente ácido el cual indica condiciones adecuadas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, niveles bajos de materia orgánica reflejando un impacto como la erosión y no favoreciendo la penetración y retención del agua, niveles deficientes de carbono orgánico los cuales se le atribuye a la pérdida de materia orgánica, la liberación del CO₂ y a los procesos de degradación que sufren los suelos en la minería, la conductividad eléctrica del suelo fue baja lo que nos indicó que los suelos no son salinos, lo cual es favorable para la rehabilitación del mismo, niveles altos de magnesio lo que nos lleva a concluir que el suelo inicial (control) no permitiría que las plantas absorbieran otros nutrientes importantes para su crecimiento, niveles medios de calcio, niveles bajos de fósforo, hierro, cobre, zinc, boro, niveles deficientes de potasio, nitrógeno total, azufre, una textura arcillo-limosa lo que demuestra que el suelo tiene más capacidad de retener agua por lo que los cultivos no necesitan ser irrigados con mucha frecuencia, por último la capacidad de intercambio catiónico presentó niveles altos lo que significa que posee altos

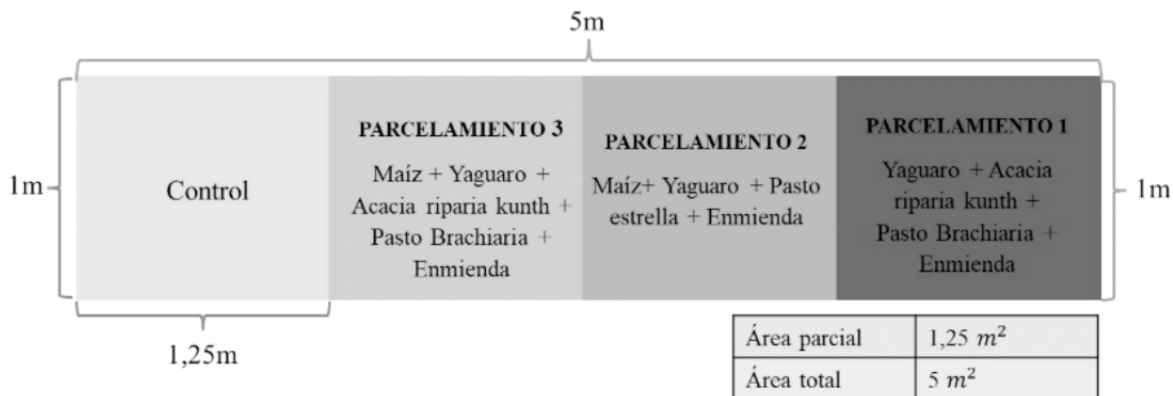


Figura 1. Parcelamientos demostrativos

TIPO DE MUESTRA	ESTRUCTURA		TEXTURA	DENSIDAD APARENTE G/CC	HUMEDAD %
Suelo	Arena	0 %	Arcillo-Limosa	1,20	42
	Limo	40 %			
	Arcilla	60 %			

Tabla 1. Análisis físicos iniciales

TIPO DE MUESTRA	PARÁMETROS				
	pH	M.O %	C.O %	C.E (mS/cm)	N-total %
Suelo	6,28	1,43	0,83	0,17	0,07
	C.I.C (meq/100g)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)
	29,43	115	0,30	1,30	0,38
	Mg (meq/100cc)	Ca (meq/100cc)	P (ppm)	K (meq/100cc)	S (ppm)
	6,51	11,99	14	0,08	6

Tabla 2. Análisis químicos iniciales

TRATAMIENTO	ESTRUCTURA		TEXTURA	DENSIDAD APARENTE G/CC	HUMEDAD %
Parcelamiento 1	Arena	33 %	Franca (F)	1,21	40
	Limo	43 %			
	Arcilla	24 %			
Parcelamiento 2	Arena	10 %	Franco- arcillo- limosa (FARL)	1,16	43
	Limo	60 %			
	Arcilla	30 %			
Parcelamiento 3	Arena	4%	Franco- arcillo- limosa (FARL)	1,16	43
	Limo	60%			
	Arcilla	36%			

Tabla 4. Análisis físicos post tratamiento

PARÁMETROS	TRATAMIENTOS		
	PARCELAMIENTO 1	PARCELAMIENTO 2	PARCELAMIENTO 3
pH	6,85	6,30	7,08
M.O %	3,03	3,02	3,06
C.O %	1,76	1,42	1,78
C.E (mS/cm)	0,20	0,20	0,37
N-total %	0,15	0,15	0,15
C.I.C (meq/100g)	16,93	22,41	23,46
Fe (ppm)	123	120	138
Cu (ppm)	0,40	0,32	0,50
Zn (ppm)	2,80	2,61	3,30
B (ppm)	0,19	0,17	0,23
Mg (meq/100cc)	5,78	5,70	6,74
Ca (meq/100cc)	15,25	12,3	13,74
P (ppm)	67	48	86
K (meq/100cc)	0,30	0,31	0,38
S (ppm)	2	1	1

Tabla 5. Análisis químicos post tratamiento

TRATAMIENTO	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN
Parcelamiento 1	Penicillium sp	2 X10E ³ UFC/g
	Pseudomonas sp	22 X10E ³ UFC/g
	Bacterias Mesófilas Aerobias	11 X10E ⁵ UFC/g
	Aspergillus sp	3 X10E ³ UFC/g
Parcelamiento 2	Penicillium sp	2 X10E ³ UFC/g
	Pseudomonas Sp	15 X10E ³ UFC/g
	Bacterias Mesófilas Aerobias	11 X10E ⁵ UFC/g
	Aspergillus sp	3 X10E ³ UFC/g
Parcelamiento 3	Penicillium Sp	5 X10E ³ UFC/g
	Pseudomonas sp	27 X10E ¹ UFC/g
	Aspergillus sp	7 X10E ³ UFC/g
	Trichoderma sp	4X10E ² UFC/g
	Mucor sp	1 X10E ³ UFC/g
	Fusarium sp	2 X10E ³ UFC/g

Tabla 6. Análisis microbiológicos post tratamiento

contenidos de arcilla, al ser alta les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles.

No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN
1	Bacterias Mesófilas Aerobias	10 X10E ⁵ UFC/g
2	Pseudomonas sp	13 X10E ³ UFC/g
3	Levaduras	11 X10E ¹ UFC/g
4	Penicillium sp	3 X10E ³ UFC/g

Tabla 3. Análisis microbiológicos iniciales

Es importante mencionar que los microorganismos (bacterias y hongos) en el suelo cumplen una función importante, puesto a que ellas proporcionan a la planta nutrientes, minerales y fitohormonas que promueven el crecimiento vegetal [4]. En nuestros análisis de suelos, encontramos diversos microorganismos que cada uno cumple e indican una función específica en el suelo.

Las Bacteria Mesófilas Aerobias, en su recuento encontramos 10 X10E⁵ UFC por gramo de suelo, ellas pueden ser un potencial fijador de nitrógeno en el suelo lo que ayuda a mejorar las condiciones de fertilidad de los mismos, pero a su vez pueden ser grandes absorbedores de magnesio disponible en el suelo, del mismo modo encontramos Pseudomonas sp con una población de 13 X10E³ UFC por gramo de suelo quienes producen un incremento de la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo y además sirven como estimuladoras de la actividad vegetativa, así como la degradación de precursores del etileno, también se detectó la presencia de Levaduras con una población de 11 X10E¹ UFC/g, estas juegan un papel importante en la agregación del suelo, ayudando además a llevar a cabo el ciclo de todos los nutrientes que se encuentran disponibles en el suelo, se identificó el microorganismo Penicillium sp en 3 X10E³UFC/g que nos indica que el suelo presenta una alta humedad pero que a su vez

una temperatura bastante elevada, por último, encontramos la Trichoderma sp con una población de 2 X10E² UFC/gramo de suelo lo que es una evidencia de que absorbe del suelo nutrientes como carbono orgánico, magnesio y hierro.

ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL SUELO POST IMPLEMENTACION DEL TRATAMIENTO

Las siguientes tablas muestran los resultados de las características físico-químicas y microbiológicas del suelo disturbado por minería de arcilla en cada uno de los parcelamientos una vez aplicadas las especies.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

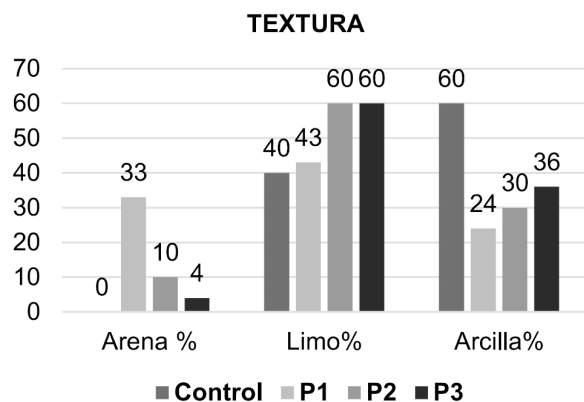
A partir de los resultados obtenidos en cada uno de los parcelamientos tanto pre como post aplicación, realizamos una comparación entre el parcelamiento de control y los parcelamientos a los cuales se les aplicó el tratamiento y se realizó un análisis con cada uno de ellos como se puede observar a continuación:

TEXTURA

La textura es una propiedad que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo, como se pudo observar en la tabla anterior después de la implementación del tratamiento en cada uno de los parcelamientos la textura del suelo cambió, pasamos de un suelo arcillo-limoso a una textura franca en el primer parcelamiento y franco-arcillo-limoso en los parcelamientos 2 y 3, este cambio se pudo producir ya que en el momento de hacer la recolección de la muestra varió un poco la profundidad del muestreo ya que entre un horizonte y otro se pueden encontrar variaciones de texturas, además de

la distancia entre muestreo, cabe resaltar que los 4 parcelamientos en términos generales presentaron muy buenas texturas.

Villaroel (1988), afirma que la textura arcillo-limosa son suelos muy fértiles pero debido a la presencia de arcilla y limos muy finos, pueden hacer difícil el manejo de estos suelos, debido a la formación de costras superficiales, o a la poca estabilidad superficial, por otro lado los suelos con textura franco son los más adecuados para la agricultura, presentan muy buena capacidad de retención de la humedad y condiciones físicas favorables e ideales, la presencia de nutrientes en general es muy buena y por último, la textura franco-arcillo-limosa, en general, se los considera suelos excelentes agrícolamente, su manejo puede presentar algunos problemas cuando el contenido de arena es bajo y el de arcilla es alto [5].

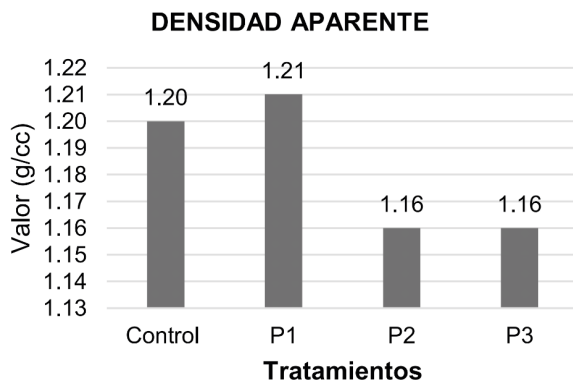


Gráfica 1. Comparación de la textura en cada uno de los parcelamientos

DENSIDAD APARENTE - G/CC

De acuerdo a la gráfica 2 la cual muestra la variación de densidad aparente en cada uno de los parcelamientos podemos decir que no hubo diferencia significativa entre el suelo de control y el parcelamiento 1, en cuanto a los otros dos parcelamientos se observa que hubo diferencia significativa con respecto al valor del parcelamiento de control. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el

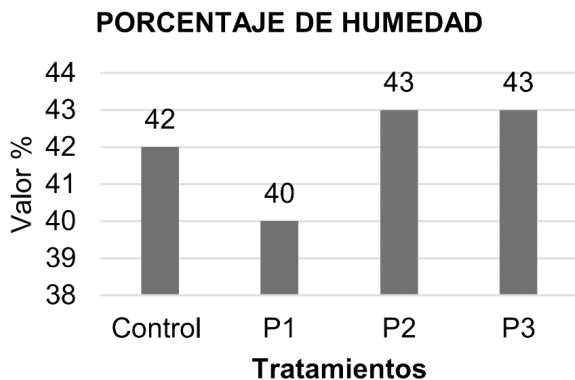
contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes [6]. A medida que aumenta la MO y el espacio poroso, disminuye la DA y viceversa.



Gráfica 2. Comparación de la densidad aparente en cada uno de los parcelamientos

PORCENTAJE DE HUMEDAD - %

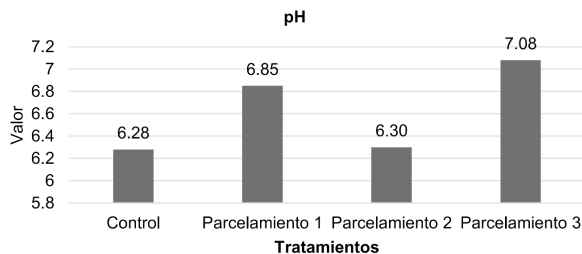
La humedad del suelo depende de las precipitaciones, la intensidad del consumo de agua por parte de las plantas o la temperatura del aire, entre otros factores. Como se muestra en la gráfica a continuación se podría decir que el porcentaje de humedad no mostró un gran cambio en relación con el de control y los otros parcelamientos, sin embargo, es importante mencionar que el P1 tuvo un porcentaje de humedad de 40 % lo que quiere decir que bajó un 2% esto se produce después de un evento de lluvia o de riego que satura el suelo, hay un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad, durante el proceso de drenaje, la humedad del suelo disminuye continuamente. Por otro lado, los otros dos parcelamientos aumentaron un 1% con relación al de control esto se debe a la temperatura ya que, al disminuir la temperatura, el aire se vuelve más húmedo, por lo tanto, el porcentaje de humedad aumenta.



Gráfica 3. Comparación del % de humedad en cada uno de los parcelamiento

PH

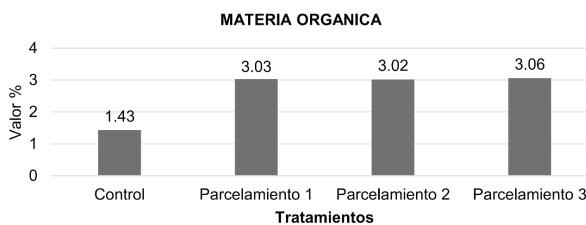
De acuerdo al análisis inicial del suelo disturbado por minería de arcilla, y el análisis post tratamiento se puede decir que el pH aumentó en los tres parcelamientos en donde se aplicaron los tratamientos, como se puede observar en la gráfica 4. El parcelamiento de control y el parcelamiento 2 dieron un pH de 6,28 y 6,30 que según la tabla de interpretación de parámetros en grados de acidez o alcalinidad del IGAC para calidad de suelo, es ligeramente ácido, lo significa que posee condiciones adecuadas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, por el contrario, el parcelamiento 1 y 3 dieron pH de 6,85 y 7,08, lo que quiere decir que tienen un pH neutro que es cuando presenta porcentajes equilibrados y disponibilidad de los elementos químicos primarios y secundarios. Cabe resaltar que a pesar de que los parcelamientos 1 y 3 tuvieron pH neutro, el parcelamiento que mayor valor tuvo fue el parcelamiento 3. Se podría decir que el aumento del pH en los parcelamientos es debido a la enmienda que utilizamos ya que la cascarilla de arroz ayuda a corregir la acidez de los suelos.



Gráfica 4. Comparación del pH en cada uno de los parcelamientos

MATERIA ORGANICA – M.O%

En relación con el parcelamiento de control se puede decir que la materia orgánica aumentó en los tres parcelamientos en los cuales aplicamos los tratamientos como podemos observar en la gráfica a continuación, ya que en el análisis de control se presentó niveles bajos de materia orgánica con un valor de 1,43% y los parcelamientos 1, 2 y 3 presentaron niveles altos de materia orgánica con porcentajes del 3,03%, 3,02% y 3,06%, esto se consiguió gracias al lombricompost y la enmienda aplicada en cada uno de los tratamientos. Cabe resaltar que el que tuvo mayor porcentaje de materia orgánica fue el parcelamiento 3.

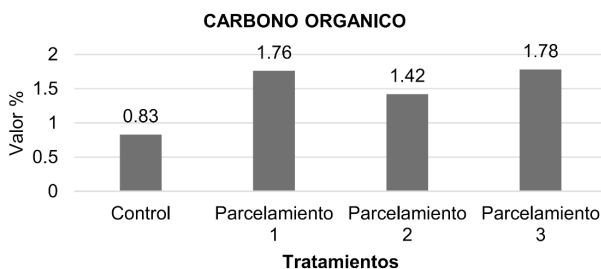


Gráfica 5. Comparación de la materia orgánica en cada uno de los parcelamientos

CARBONO ORGANICO – C.O%

El carbono orgánico fue uno de los elementos que aumentó considerablemente en todos los tratamientos aplicados, la gráfica 6 muestra el comportamiento del suelo antes y después de la aplicación de las especies, en esta podemos observar que en todos los parcelamientos hubo un aumento del carbono orgánico pero en el que mayor

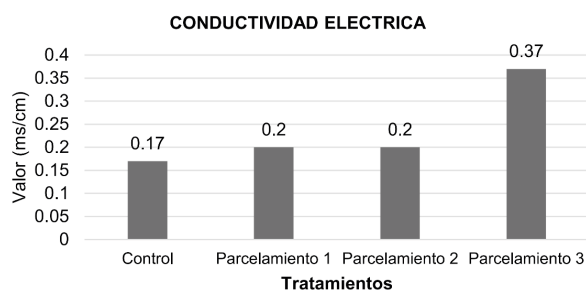
aporte de carbono orgánico hubo fue en el parcelamiento 3, el aumento de este se debe al aporte continuo de material orgánico y la salida de carbono del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera, por erosión y lixiviación [7]. Es necesario mencionar que el rango óptimo de clasificación de suelos en el IGAC es de (1,2 % -2,3 %) valor que para nuestros resultados el más aceptable es el P3.



Gráfica 6. Comparación del carbono orgánico en cada uno de los parcelamientos

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA - C.E (MS/CM)

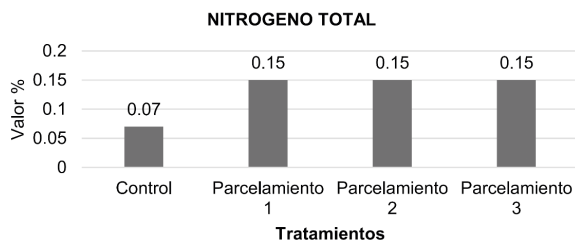
De acuerdo a los resultados obtenidos podemos observar que en la gráfica 7 se muestra que hubo un aumento de sales sin embargo el valor normal está comprendido entre (0 -2) dS/m, lo que significa que el suelo no presenta problemas de salinidad. No se recomienda superar este rango ya que presentaría limitantes en cultivos. Se puede decir que se presentó ese ligero aumento por la utilización de fertilizantes (urea) ya que estos contienen sales que incrementan el valor de la conductividad eléctrica del suelo.



Gráfica 7. Comparación de la conductividad eléctrica en cada uno de los parcelamientos

NITROGENO TOTAL - N. TOTAL %

Como se puede observar en la gráfica a continuación el valor del nitrógeno total aumentó significativamente en los parcelamientos en los cuales fueron aplicados los tratamientos, el parcelamiento de control tuvo un valor de 0,07% y los parcelamientos 1, 2 y 3 tuvieron un valor del 0,15%, según la tabla de interpretación de % de nitrógeno total, los parcelamientos tienen un medio porcentaje de nitrógeno total. Paredes, M. C. 2013, afirma que el aumento de este parámetro se debe a las leguminosas ya que estas son beneficiosas para la tierra al fijar nitrógeno en el suelo debido a la acción de determinadas bacterias en nódulos en sus raíces que producen nitratos, además del fertilizante (urea) que también puede subir los niveles de nitrógeno. [8]



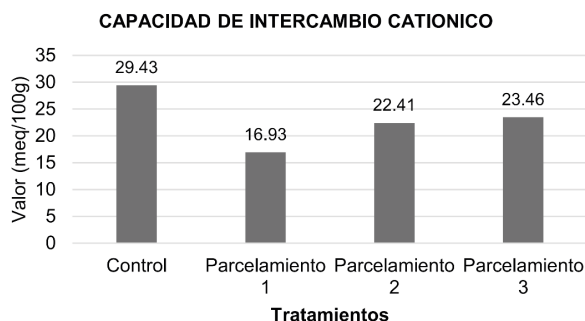
Gráfica 8. Comparación del nitrógeno total en cada uno de los parcelamientos

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - C.I.C (MEQ/100G)

De acuerdo a la gráfica 9 podemos observar que la capacidad de intercambio catiónico bajó considerablemente ya que en el parcelamiento de control dio un valor de 29,43 meq/100g, lo que quiere decir que es alta según la tabla de parámetros para medir la CIC, por otro lado, el parcelamiento 1 el cual dio un valor del 16,93 meq/100g significa que es media, y los parcelamientos 2 y 3 dieron valores de 22,41 meq/100g y 23,46 meq/100g lo cual indica que es alta, sin embargo en comparación con la de control disminuyeron esto se debe a la textura del suelo ya que esta influye en el valor de CIC, suelos con bajo contenido de arcilla

posee una CIC más baja y viceversa.

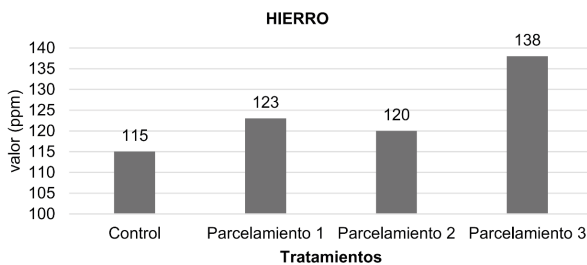
La CIC se disminuye como producto de la pérdida de la materia orgánica y alteraciones estructurales de las arcillas [9]. Intagri, (2019) afirma que la materia orgánica del suelo proporciona mayor capacidad de retención de nutrientes, es decir, posee mayor capacidad de intercambio catiónico que las propias partículas de arcillas. Por tal razón los aportes de materia orgánica al suelo son muy beneficiosos en la mejora de la fertilidad del suelo [10].



Gráfica 9. Comparación de la C.I.C en cada uno de los parcelamientos

HIERRO – FE (PPM)

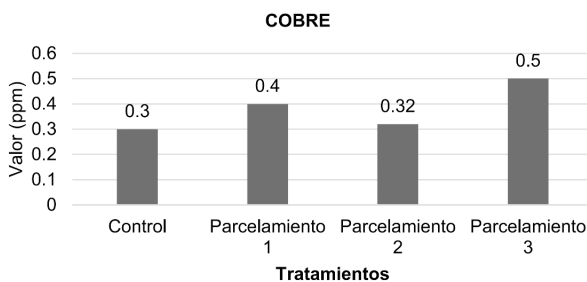
Según los datos obtenidos en los resultados de los análisis pre y post tratamiento podemos observar en la siguiente grafica que hubo un incremento del hierro en el suelo disturbado por minería de arcilla, sin embargo, los niveles siguen estando bajos, porque según Juárez, 2016, los niveles más adecuados en suelo están entre 300 y 900 mg/Kg de hierro. Cabe mencionar que el parcelamiento que tiene mejor incremento del hierro fue el parcelamiento 3. Este incremento del hierro puede deberse a las leguminosas ya que contienen buena fuente de minerales como en este caso el hierro, lo cual ayudó a subir los niveles en el suelo.



Gráfica 10. Comparación del hierro en cada uno de los parcelamientos

COBRE – CU (PPM)

Como podemos observar en la gráfica 11 existe un aumento en los niveles del cobre en el suelo, ya que en el parcelamiento de control obtuvimos un valor de 0,3 ppm lo que significa que es bajo, y en los parcelamiento 1, 2 y 3 se presentaron valores de 0,4 ppm, 0,32 ppm y 0,5 ppm, que a pesar de ser mayores que el valor del parcelamiento de control siguen estando en niveles bajos de cobre, ya que el rango recomendado por el IGAC es (10-15 ppm). Es importante mencionar que de los parcelamientos a los cuales se le aplicaron los tratamientos el que tuvo un “mayor” nivel de cobre fue el parcelamiento 3. Este incremento del cobre puede deberse a las leguminosas que son una buena fuente de proteínas y minerales como en este caso el cobre.

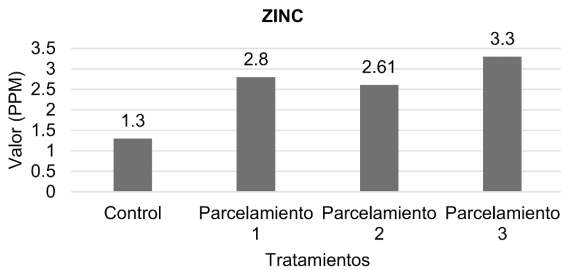


Gráfica 11. Comparación del cobre en cada uno de los parcelamientos

ZINC – ZN (PPM)

Como se muestra en la gráfica el zinc subió sus niveles en comparación con el valor del parcelamiento de control ya que este tuvo niveles bajo de zinc con un 1,30

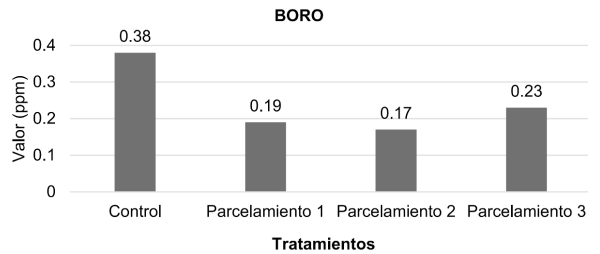
ppm y los parcelamientos 1, 2 y 3 tuvieron niveles medios de zinc. El incremento de los niveles del zinc se produce por la aplicación de la enmienda de lombricompost y compost ya que estos aportan diferentes minerales y micronutrientes como es el caso del zinc. Cabe resaltar que de los tres parcelamientos a los cuales se les aplicó el tratamiento, el parcelamiento 3 fue el que tuvo niveles más alto de zinc.



Gráfica 12. Comparación del zinc en cada uno de los parcelamientos

BORO – B (PPM)

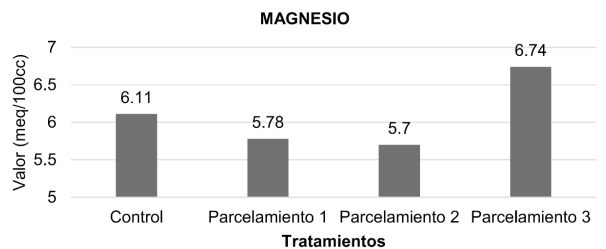
De acuerdo a la siguiente gráfica y después de estudiar los análisis pre y post tratamiento podemos observar que hubo una disminución considerable en los niveles del boro en el suelo ya que pasamos de un 0,38 ppm a valores bajos en los parcelamientos 1, 2 y 3 con valores de 0,19 ppm, 0,17ppm y 0,23ppm, según el IGAC el contenido de boro en el suelo varía entre 5 - 80 ppm, esto puede deberse a diferentes factores el pH del suelo como se pudo observar anterior mente este subió y a medida que sube, el boro disminuye, este suceso pasa cuando hay exceso de arcilla como es este tipo de suelos debido a la fuerte adsorción del ion borato, también por la humedad del suelo, ya que las fuertes lluvias que se presentaron en la época de invierno pudieron lavar el boro del perfil del suelo y por ultimo a la fuerte temperatura e intensidad luminosa que acentúan los síntomas de deficiencia del boro.



Gráfica 13. Comparación del boro en cada uno de los parcelamientos

MAGNESIO – MG (MEQ/100CC)

Como podemos observar en la grafico a continuación y según la tabla de niveles de magnesio en los suelos, los valores que nos dio antes y después del tratamiento fueron en términos generales niveles altos, sin embargo, es necesario mencionar que en los parcelamientos 1 y 2 bajó el nivel de magnesio con relación al de control, esto pudo se debido por la presencia de bacterias mesófilas aerobias quienes son microorganismos que tienen la capacidad de absorber el magnesio disponible en el suelo, en cambio en el parcelamiento 3 subieron los niveles, esto se debe a que las gramíneas en este caso (pasto brachiaria y maíz) contribuyen aportaciones energéticas lo que trae consigo que los niveles de magnesio se vean incrementados por la presencia de estas especies en el suelo.



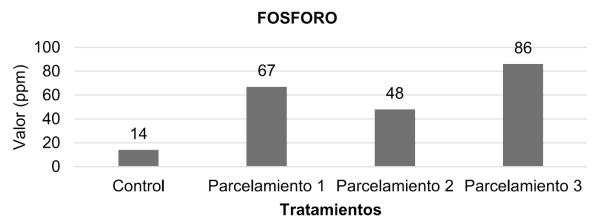
Gráfica 14. Comparación del magnesio en cada parcelamientos

CALCIO – CA (MEQ/100CC)

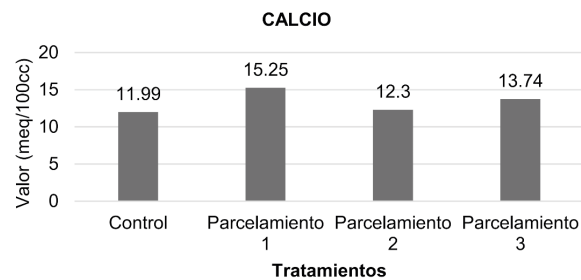
De acuerdo a la gráfica 15 los niveles de calcio en términos generales subieron en comparación con el de control el cual dio 11,99 lo significa que el suelo tiene niveles

medios de calcio, según la tabla de parámetro (ver anexo 14) en cambio los parcelamientos 1, 2 y 3 dieron valores de 15,25 meq/100cc, 12,3 meq/100cc y 13,74 meq/100cc respectivamente, lo que quiere decir que el suelo posee niveles altos de calcio después de ser aplicado el tratamiento. Estos niveles altos de calcio pueden deberse a la incorporación de las especies gramíneas (Maíz, pasto estrella y brachiaria) y leguminosas (Acacia y Yaguaro) ya que estas contienen una buena fuente de minerales como en ese caso el calcio.

vuelven a utilizar dentro de un ecosistema debido a la actividad metabólica de las plantas y los microbios del suelo [11].



Gráfica 15. Comparación del fosforo en cada uno de los parcelamientos



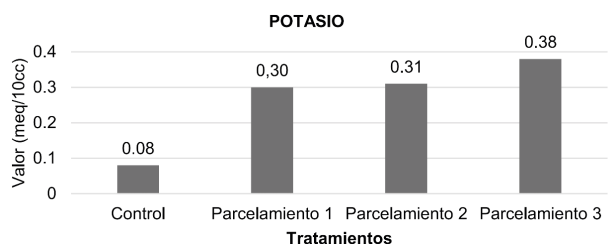
POTASIO - K (MEQ/100CC)

FOSFORO - P (PPM)

La grafica a continuación muestra la comparación entre los niveles de fosforo antes de la implementación de las especies y después de la implementación de estas, de la cual podemos observar un incremento significativo, ya que el parcelamiento de control obtuvo un valor de 14 ppm lo que indica que tiene niveles bajos de fosforo, en cambio los parcelamientos 1, 2 y 3 obtuvieron valores de 67 ppm, 48 ppm y 86 ppm respectivamente, lo que indica que tiene niveles altos de fosforo, según la tabla de fosforo (P) aprovechable en el suelo en ppm, cabe mencionar que el parcelamiento que obtuvo mayor nivel de fosforo en el suelo fue el parcelamiento 3, este incremento del fosforo se debe a la presencia de las especies utilizadas ya que hicieron un aporte importante de fosforo por medio de sus procesos metabólicos.

El ciclo de los nutrientes está muy ligada a la actividad microbiana del suelo, es el proceso por el cual el carbono, nitrógeno y fosforo se

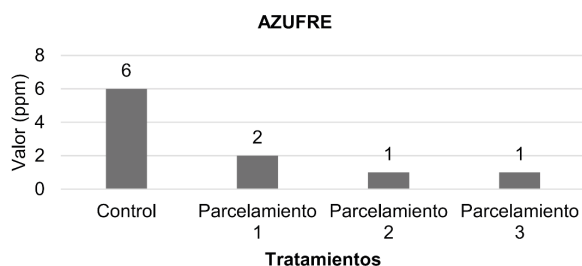
En la siguiente grafica muestra como los niveles de potasio en los diferentes parcelamientos fueron aumentando considerablemente en relación con el parcelamiento de control ya que este valor fue de 0,08 meq/100cc lo cual es deficiente, de acuerdo a tabla de niveles de interpretación del potasio en los suelos, sin embargo, los parcelamientos 1, 2 y 3, a los cuales se les aplicó el tratamiento obtuvieron valores un poco más altos, pero los niveles siguen estando bajos. Es importante mencionar que a pesar de que los niveles aún siguen bajos el parcelamiento que obtuvo mayor valor fue el parcelamiento 3. El reducido incremento del potasio en el suelo después del tratamiento puede deberse a las gramíneas ya que poseen niveles aceptables de potasio.



Gráfica 16. Comparación del potasio en cada uno de los parcelamientos

AZUFRE – S (PPM)

De acuerdo a los análisis realizados al suelo antes del tratamiento y después de este, podemos observar que hay una disminución considerable del azufre en el suelo, ya que en el parcelamiento de control nos dio un valor de 6 ppm lo cual indica que tiene niveles deficientes, pero en los parcelamiento 1, 2 y 3 nos dieron valores mucho más bajos de 2 y 1. Hay que tener en cuenta que los valores óptimos según el IGAC está entre (11-15 ppm). Yara, 2021 afirma que el Zn tiende a ser adsorbido por las arcillas y la materia orgánica, por lo que no se lixivias fácilmente y tiende a acumularse en la parte superficial del suelo [12].



Gráfica 17. Comparación del azufre en cada uno de los parcelamientos

MICROBIOLÓGICOS

Es importante saber que tanto los hongos como bacterias cumplen funciones esenciales en el suelo, de este modo las bacterias constituyen el grupo más diverso de microorganismos del suelo, y así mismo los hongos y otros como las micorrizas que viven en forma simbiótica en las raíces de plantas. Muchos hongos son importantes en los procesos de descomposición de la materia orgánica. Además de los hongos benéficos, también se pueden aislar del suelo los hongos fitopatógenos [13].

En el recuento de los microorganismos encontrados posterior a la aplicación de las especies y enmiendas encontramos la presencia de nuevos microorganismos,

mayores y menores unidades formadoras de colonias de las ya identificadas inicialmente en algunos de los casos, debido a la actividad que se realizó en el suelo durante este periodo de 121 días con el objetivo de aportar macro y micronutrientes al mismo y optimizar algunos para llevarlos a condiciones ideales.

En el parcelamiento 1 y 2 encontramos las mismas especies microscópicas (*Penicillium Sp*) 2×10^3 UFC/g disminuyendo un punto debido a la pérdida de humedad que se presentó en estos parcelamientos por la implementación de la remediación.

También se contó con la presencia de *Pseudomonas Sp* en el parcelamiento 1 y 2 (22×10^3 UFC/g y 15×10^3 UFC/g) respectivamente, en ambos aumentos en comparación con el inicial produciendo un incremento en el fósforo disponible en el suelo, y en el parcelamiento 3 (27×10^1 UFC/g) también aumentó lo cual tiene relación porque fue en el que se vio un alta significativa de los niveles de fósforo en el suelo.

Es importante recalcar que en el parcelamiento 3 se encontraron la presencia de nuevas especies de microorganismos *Trichoderma Sp* que promueven el crecimiento de las plantas de una manera acelerada por la relación simbiótica que hace con las raíces, *Mucor Sp* y *Aspergillus Sp* quienes son hongos productores de micotoxinas las cuales son secretadas por ellos mismos durante de la degradación de la materia orgánica, en donde también en este parcelamiento se determinó que fue el que presentó mayor nivel de M.O y por último el *Fusarium Sp* quien es el principal indicador de que en el suelo de este parcelamiento se encuentra materiales en descomposición ya que es su principal alimento, por lo tanto se desarrollan en estos ambientes.

CONCLUSIONES

Finalmente, podemos llegar a la conclusión que la implementación de estas especies (Gramíneas, Fabáceas y Leguminosas) además de la aplicación de enmiendas aportaron macro y micronutrientes al suelo disturbado por esta actividad minera mejorando así las condiciones iniciales.

No obstante, de los 3 parcelamientos que definimos para aplicar el proceso de remediación el que presento mejores resultados fue el número 3 en donde se encontraban las especies (Maíz, Pasto Brachiaria, Yaguaro, Acacia Riparia Kunt y enmienda), el maíz fue el encargado de mejorar el carbono orgánico presente en los parcelamientos en donde se aplicó, pero el nivel más elevado fue en el 3, esto debido a que el cultivo de maíz mejora el balance de este nutriente, del mismo modo coadyuvo a cambiar la estructura física del suelo, pasando de uno arcillo-limoso a uno Franco-arcillo limoso sabiendo que esto pudo ser resultado de los cambios cualitativos que experimento la materia orgánica en el mismo y la presencia de microorganismos que ayudan a degradarla.

En cuanto a la variación de pH, se pudo presentar por dos razones; la primera por la aplicación de la fertilizantes de origen químico (urea) la cual fue utilizada para acelerar el proceso de germinación de la semilla y el crecimiento de las especies o por los fenómenos de periodos lluviosos los cuales hacen que hayan grandes variaciones de pH debido a que hay reacciones químicas en la dinámica del suelo ocasionando combinaciones de algunos nutrientes que pudieron provocar variaciones aceleradas en el pH pasando de uno ligeramente ácido a uno totalmente neutro.

Por otra parte, la humedad también incremento en cuanto al análisis inicial pasando de 42% a 43% causado por la lluvia, ya que, al disminuir la temperatura, el aire se

vuelve más húmedo y por lo tanto el porcentaje de humedad del suelo se verá afectado.

En cuanto a lo que compete la materia orgánica, evidenciamos que en los 3 parcelamientos pasamos de un nivel bajo a un nivel alto de M.O presente, esto fue producto de la aplicación del compost y lombricompost, encontrando el mejor porcentaje en el parcelamiento 3, pero es importante mencionar que el *Aspergillus Sp* es un principal indicador de materia orgánica disponible en el suelo, y al realizar estos análisis evidenciamos la presencia de UFC de estos hongos.

Del mismo modo encontramos mejoras en los macronutrientes (calcio, magnesio, potasio, fósforo y azufre) producto de que las especies como las gramíneas y las leguminosas favorecen la actividad microbiana del suelo, lo que a su vez facilita la biodisponibilidad de y absorción de nutrientes. Y así mismos micronutrientes (Cobre, zinc, boro y hierro) enriqueciendo o incrementando la fertilidad de los suelos.

La aplicación de estas especies determina que la recuperación de suelos disturbados por la minería si es efectiva siempre y cuando se le realice un seguimiento, dándole cumplimiento al objetivo general de esta investigación y evidenciando que la interacción de las especies indica mejoras en el proceso de remediación del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente en primera instancia a Dios por permitirnos terminar este proyecto con éxito.

A una mujer que es ejemplo de superación, bondad y amor, nuestra directora MSc. Karina Torres, quien durante todo este tiempo nos apoyó en la realización de este trabajo de grado depositando su confianza y estando incondicionalmente siempre que tocábamos su puerta.

A nuestros padres por infundirnos amor y responsabilidad por el estudio, ayudarnos cada día a superarnos más, y a todos los que hicieron esto posible. Nuestra gratitud y respeto.

A nuestros amigos por su apoyo y colaboración en este proyecto durante toda la etapa de la realización del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Paradelo, R. 2013. Utilización de materiales compostados en la rehabilitación potencial de espacios afectados por residuos mineros y suelos de mina. *Boletín Geológico y Minero*, ISSN: 0366-0176, 124 (3): 405-419
- [2] Oldeman, L. y Van Lynden, G. 1998. Revisiting the GLASOD methodology. *Methods Assess Soils Degrad Advances Soils Science Series*: 423-440. Internet.
- [3] Ramírez, (1997). propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>
- [4] Desgarannes y Carrión, 2019. Las bacterias que ayudan a las plantas a crecer. Recuperado de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1360-las-bacterias-que-ayudan-a-las-plantas-a-crecer>
- [5] Villaruel, 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Recuperado de: <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/142/1/MANUAL%20PRACTICO%20ST10.pdf>
- [6] Taboada, M.A.; Alvarez, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- [7] Aguilera S., S. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>.
- [8] Paredes, M. C. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- [9] LERMA, T.; COMBATT, O.; PALENCIA, M. 2015. Efecto de la temperatura sobre coloides de suelos agrícolas mediante dispersión dinámica de la luz. *Rev. Cienc. Agr.* 32(2):94 - 103. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153202.17>
- [10] Intagri, 2019. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/lacapacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- [11] Señales de la AEMA, 2019. Ciclo de nutrientes de la naturaleza. Extraído de: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/infografia/ciclo-de-nutrientes-de-la-naturaleza/view>
- [12] Departamento Técnico Yara, 2021. El Zinc y el crecimiento de las plantas. Extraído de: <https://www.metroflorcolombia.com/el-zinc-y-el-crecimiento-de-las-plantas/>
- [13] Inta-costa rica, 2015. Análisis microbiológicos de suelos. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1820.PDF>