

IMPACTO DEL VERTIMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LAVADO DE CARBÓN EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO

Impact of dumping of wastewater from carbon washing on the physicochemical properties of the soil

Josselyn Azucena Aquino Montoro¹, Geraldine Paola García Martínez², Laura Valentina García Reyes³
¹Universidad César Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Perú. ²⁻³Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingeniería Ambiental, Colombia. Email: ¹josselyn.aquino@usantoto.edu.co, ²geraldine.garcia@usantoto.edu.co, ³laura.garcia@usantoto.edu.co

(Recibido junio 13 de 2019 y aceptado junio 15 de 2021)

Resumen

El proceso de carbón es una de las actividades más importantes en el crecimiento económico en el país, sin embargo, en estos últimos años la propia naturaleza ha dado muestras que evidencian los impactos al suelo por la mala gestión y la falta de concientización del hombre, como el deterioro y la pérdida de fertilidad. Por lo tanto, en este estudio se determinó los impactos fisicoquímicos en la capa orgánica del suelo provocados por el vertimiento de aguas residuales del proceso de lavado de carbón en los suelos circunvecinos a las plantas de lavado, o fuentes directas de vertimiento. En este sentido, y por medio de un estudio cuantitativo y cualitativo del agua residual, se determinó la presencia de sustancias por el método de Espectrómetro infrarrojo cercano, conductividad, pH con multiparámetro, turbidez por el método de Nefelómetro y la Demanda Biológica de Oxígeno con la medición de DBO BD 600. De igual manera, para las muestras representativas del suelo se evaluó, pH, porosidad, densidad aparente, humedad de saturación por el método del cilindro de volumen conocido, conductividad y materia orgánica de forma empírica. Los resultados mostraron presencia de metales pesados, pH de 3,45 a 8,64 dentro de los rangos de acidez, valores altos en elementos pesados como el CA2+ en 23500 hasta 80 784 mg/kg de suelo, demostrando que es un suelo altamente contaminado.

Palabras clave: *aguas residuales, impacto, parámetro fisicoquímico, producción de carbón, suelo.*

Abstract

The coal process is one of the most important activities in economic growth in the country, however, in recent years nature itself has given evidence that show the impacts on the soil due to mismanagement and lack of human awareness, such as deterioration and loss of fertility. Therefore, this study determined the physicochemical impacts on the organic layer of the soil caused by the dumping of wastewater from the carbon washing process in the surrounding soils to the washing plants, or direct sources of dumping. In this sense, and through a quantitative and qualitative study of wastewater, the presence of substances was determined by the near infrared spectrometer method, conductivity, pH with multiparameter, turbidity by the Nephelometer method and the Biological Oxygen Demand with the measurement of DBO BD 600. In the same way, for representative soil samples, pH, porosity, apparent density, saturation humidity was evaluated by the cylinder method of known volume, conductivity and organic matter empirically. The results showed the presence of heavy metals, pH from 3.45 to 8.64 within the acidity ranges, high values in heavy elements such as CA2 + in 23500 to 80 784 mg / kg of soil, demonstrating that it is a highly contaminated soil.

Key words: *wastewater, impact, physicochemical parameter, coal production, soil.*

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se producen más de 4.030 millones de toneladas de carbón, siendo este un incremento del 38% en comparación con las últimas dos décadas, el crecimiento de esta producción se ha visto reflejada en Asia, mientras que en otros lugares se ha observado un descenso significativo como es el caso de los países europeos. Los cinco principales productores son China, EE. UU., India, Australia y Sudáfrica. Actualmente, el carbón es el segundo recurso natural no renovable, después del petróleo, utilizado para procesos tecnológicos e industriales, que de manera directa o indirecta hace parte del sustento económico y capacidad de desarrollo de las naciones a nivel mundial [1]

La exportación de carbón en Colombia es una de las actividades antropogénicas más extendidas y productivas que surgió a través de la crisis energética en 1973, despertando en la economía el interés de sustitución energética del petróleo [2]. Cabe destacar que entre el 2003 al 2007, la producción de carbón presentó un incremento en su producción de 39.72%, con 70 millones de toneladas.

El desarrollo de ciertos procesos en la minería del carbón como la exploración, explotación, el beneficio, la transformación y el transporte constituye una serie de impactos medioambientales tales como el deterioro y la contaminación de suelo, aire y agua; efectos de la mala gestión, carencia en la regulación legislativa y ejecución de las actividades correspondientes a este proceso [3].

El suelo es un recurso importante por su función como soporte de todas las actividades cotidianas de la humanidad, su fertilidad juega un papel muy importante en el desarrollo de actividades agrícolas y alimentarias; sin embargo, la problemática del vertimiento irregular de aguas residuales provenientes del proceso lavado de carbón, concentra altos grados de sólidos suspendidos que contaminan y afectan las condiciones físicas y originarias como la fertilidad y estructura de los suelos [4].

Algunas investigaciones demuestran que el vertimiento de aguas residuales al suelo puede generar cambios en sus características originarias como el grado de compactación, acidez, salinidad y mineralización [5], debido a la acumulación de altas concentraciones de carbono orgánico, metales pesados en el horizonte superficial, poniendo en riesgo la salud de la población aledaña a los vertimientos [6].

Aunque en los últimos años, en Colombia la legislación ambiental y la normatividad ha consagrado a las empresas explotadoras de carbón, normando la implementación de circuitos semicerrados que recirculan un cierto porcentaje de sus efluentes generados en sus instalaciones interiores; no obstante, se ha podido comprobar que en muchos casos se siguen produciendo aguas residuales contaminadas que podrían ser vertidos en los cauces públicos o en el suelo circundante, a los lugares en los que se realiza el proceso de lavado de carbón [7].

Por medio de esta investigación, se plantea identificar los impactos fisicoquímicos en la capa orgánica del suelo por el vertimiento de aguas residuales provenientes del proceso de lavado de carbón, a través de una revisión bibliográfica para determinar los parámetros fisicoquímicos como el pH, conductividad, turbiedad y DBO del agua residual; así mismo, el análisis de sustancias en el suelo afectado y, posteriormente, una comparación con los estándares de calidad de suelo y límites máximos permisibles de vertimiento, para la formulación de alternativas de mitigación ante esta problemática.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo del agua residual

La toma de muestras de agua residual para el análisis fisicoquímico se puede realizar a partir de un método manual directo, donde se seleccionan dos muestras con una capacidad de 2 litros [8]. Para este procedimiento se usan envases de plástico para la recolección, almacenamiento y transporte de la muestra; en seguida, se realiza el análisis fisicoquímico de la composición del agua residual en los laboratorios.

El pH, es un parámetro químico del agua, donde se expresa la concentración de ion hidrógeno, el cual posee dos rangos según los valores que se obtenga, como la condición ácida o alcalina de una solución [6].

Para su medición se utilizará un ph metro HANNA, donde, inicialmente, se verterá en el electrodo el agua destilada para quitar impurezas o restos de otras muestras en el envase, después de prender el equipo se espera cierto tiempo para que el instrumento se estabilice y calibre. Al tener dos vasos precipitados de 250 ml con la muestra de agua residual, se inserta el phmetro y se espera de 3 a 4 minutos para su respectiva lectura, aparte del valor de pH, este también proporciona el valor de la temperatura en °C [8].

La turbiedad en el agua es un parámetro físico con altas concentraciones de materia suspendida y coloidal, el cual se puede medir en Unidades Nefelométricas de turbidez (NTU) (Carpio Galván, 2007). Este parámetro se determina con un nefelómetro o Turbidímetro, empezando con la limpieza del contenedor del equipo con agua destilada para asegurar un margen de error mínimo, posteriormente, se vierte un poco de la muestra, con el fin de impregnar el contenedor con la misma. Luego, se vierte la muestra hasta la línea límite del envase, en seguida, se tapa y se introduce en el turbidímetro. Se debe fijar en el triángulo del equipo y que estos coincidan para obtener un buen resultado. Finalmente, se espera de 3 a 4 minutos y se obtiene el valor de turbidez en NTU [8].

Análisis fisicoquímico del agua residual

Conductividad. Es una medida de la propiedad que posee las soluciones acuosas con el fin de transmitir la corriente eléctrica. Para su respectiva medición en laboratorio, su unidad en el sistema internacional de unidades es equivalente a micro siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) [9].

Demanda biológica de oxígeno (DBO). Se diagnostica a través de un instrumento llamado "Sistema de medición de DBO BD 600" el cual determina la cantidad de DBO presente en las muestras debido a la diferencia de presión

en el sistema. Donde se encuentra una relación entre el DBO a esperar y el volumen a emplear, encontrándose un rango de 0 a 4000 mg/l, en cuanto a los intervalos de medida de DBO, con relación al volumen de la muestra en ml y la dosificación de inhibidor de nitrificación ATU [8].

En el frasco de muestra se encuentra el espacio del volumen, y por encima un espacio para gases con cantidad de aire definida, donde la presencia de bacterias genera el consumo del oxígeno disuelto en la muestra, que al mismo tiempo, produce el dióxido de carbono, el cual se combina con el hidróxido de potasio, creando una disminución de presión en el sistema, como resultado, se obtiene el valor para el DBO [8].

Para su respectivo análisis, se llevará a cabo una comparación de los parámetros hallados del agua residual proveniente de la planta de lavado San Francisco, con la Resolución 631 del 2015, Art.10. "Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería".

Muestreo de suelo

Se toman muestras de suelo en la zona circundante a la planta de lavado de carbón, que recibe las aguas residuales del proceso. Para llevar a cabo el análisis de condiciones edáficas, se debe realizar una cajuela en la zona de estudio para la recolección de las muestras de suelo, además, identificar *in situ* sobre el color del suelo utilizando la tabla Munsell.

Posteriormente, se procede a realizar una recolección de muestra de suelo que se depositarán en bolsas ziploc limpias para que no se generen cambios en las condiciones fisicoquímicas del suelo recolectado, las cuales serán llevadas para el debido estudio en laboratorio.

Análisis fisicoquímico del suelo

La presencia de sustancias. Se determina por el método de espectrofotómetro infrarrojo cercano NIRS con una ventana de cuarzo de 25 cm² y un rango de 1100 a 2500

nm para 2 mm teniendo en cuenta la primera medida del tamaño de la partícula. La cantidad requerida para este método de muestra de suelo es de 200 g, colocando la muestra sobre una placa de vidrio y se mide con la sonda. La sonda fue limpiada después de cada medición. El intervalo del rango útil fue de 1100 nm a 2000 nm, y el rango espectral se promedió cada 2 nm, generando 450 puntos de datos para cada observación tomando un tiempo aproximado de 3 minutos en el estudio.

Los modelos de regresión se construyen utilizando la concentración de SOM obtenida de la muestra con el método de Walkley-Black, como la variable independiente y las lecturas de los espectros NIRS como la variable dependiente [10].

El pH, se puede medir por el método Potenciométrico a partir de la toma de una muestra, que previamente se secará a unos 40°C durante varias horas, se tamizará con un tamiz de 2mm, después se toman 20g de tierra previamente tamizada y se agrega en un vaso de precipitados con 50 ml de agua destilada, agitando durante tres minutos, aproximadamente. Se deja reposar durante 15 minutos y, finalmente, se toma el valor del pH usando el potenciómetro [11].

La porosidad y la densidad aparente en el suelo se puede medir de forma directa realizando una suposición, que es igual a la humedad de saturación.

Para su determinación puede presentar variaciones según el grado de desarrollo y el tipo de estructura que posee (Gómez Giraldo, 2013), en este caso, se determina mediante el método del cilindro de volumen conocido. En el laboratorio se extrae el suelo contenido dentro del cilindro en un recipiente con un peso conocido y se realiza la medición de peso neto de suelo; a continuación, se introduce el recipiente con el suelo a un horno hasta que este se encuentre totalmente seco y así poderlo retirar del horno y realizar la toma del peso en seco (Castro Franco).

Se reconoce el volumen del cilindro mediante la siguiente fórmula (1) y (2):

$$\text{Volumen cilindro (cm}^3\text{)} = 3.1416 * h * R^2 \quad (1)$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso seco del suelo (gr)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

La conductividad se mide con un conductímetro, donde, inicialmente, se pesa aproximadamente de 100 g a 200 g de suelo, se agrega agua y se mezcla con una espátula hasta obtener la pasta saturada, la cual se deja en reposo por 4 horas. Después, se transfiriere la muestra a un embudo Buchner con papel filtro y se aplica al vacío. La extracción al vacío termina cuando el aire comienza a pasar a través del filtro. Finalmente, la conductividad del extracto se puede observar en el conductímetro usando el KCl para calibrar el metro [12].

La presencia de materia orgánica se mide mediante el proceso de oxidación incompleto del carbono orgánico producido por una mezcla del oxidante de dicromato de potasio y el ácido sulfúrico considerado con un calor de dilución entre los 110 ° C a los 130 ° C. Así también, se determina la temperatura antes de este proceso, la cantidad de materia orgánica presente y se establece el tamaño de los recipientes de medición. Para el consumo del agente oxidante al final de este procedimiento, se determina mediante espectrofotometría Ultravioleta visible [1].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímico del agua residual

Para las Guía De Orientación Para El Minero Sobre El Correcto Manejo De Vertimientos Para La Minería De Metales Preciosos Y De Carbón expone este proceso de lavado con el cual se desea el porcentaje de cenizas e impurezas para minimizar los impactos ambientales negativos asociados con la combustión del carbón. El proceso puede ser en húmedo, según tamaño y forma, o en seco, según las diferencias en densidad y fricciones [13].

“Assessing the fate of antibiotic contaminants in metal contaminated soils four years after cessation of long-term wastewater” es un estudio en el cual sus autores investigan acerca de la contaminación de los suelos agrícolas de riego con antibióticos y metales pesados a través de la aplicación de aguas residuales urbanas no tratadas de la región de París, aproximadamente a 6 km del PTAR Sena Aval [14].

Por otro lado, y a través de otras investigaciones y estudios a nivel mundial, se ha podido determinar que existe contaminación por metales pesados, algunos como el cromo, cadmio, plomo y concentraciones mínimas de mercurio, resultado del vertimiento de aguas residuales del proceso de explotación minera [15].

De la misma manera, para el estudio de optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera, se genera un resultado en cuanto los parámetros evaluados como el pH, donde específica que se genera una relación de tendencia alcalina o ácida del agua, mas no, una medida de la cantidad de ácido o alcalino presente en la muestra, lo que revela que, entre mayor sea la acidez de la muestra, hay una mayor acción de corrosión [16].

En cuanto a la conductividad eléctrica, determina que depende del contenido de sales que se encuentren presentes en la muestra. De otro lado, los metales pesados debido a su efecto nocivo en la salud humana, deben ser monitoreados y que no superen los valores límite máximos permisibles; de esta manera, se reconoce los metales y metaloides, los cuales no se reportan como “no detectables” entre los que se encuentra: el Cadmio, Arsénico, Plomo, Níquel y plata [16].

Análisis fisicoquímico del suelo

Para el análisis del pH, según estudios previos en la zona minera de Rasgata Bajo (Tausa) se evaluó el pH en 4 muestras de suelo, donde se obtuvo un valor de 3,45 a 8,64 dentro de los rangos de acidez, el cual predice que este valor es causado por la presencia de grandes cantidades de metales pesados que provienen de los

vertimientos de lixiviados de dicha industria, así mismo, en la medición de conductividad eléctrica del suelo se obtuvo como datos menores de 1dS/cm, perteneciente al grupo de no salinos según el EPA de suelo en Colombia y normal en el IGAC; por otro lado, se determinó el porcentaje de materia orgánica del suelo y los resultados obtenidos según el EPA, los cuales ilustran que solo la muestra 1 y 2 se clasifican en orgánicos con valores de 6.4 a 10.4 y, seguidamente, la muestra 3 y 4 con 1.9 a 0.9, los cuales presentan acumulación de minerales en la superficie del suelo [17].

Para el análisis de la densidad en el suelo, tomando como referencia un estudio de análisis físicos en el suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia, se obtuvo valores que oscilaban entre 0,88 g/cm³ y 1,34 g/cm³, los cuales aumentaban con el tiempo del uso de suelo, como el deterioro del suelo por las malas prácticas en la zona andina colombiana de sus suelos agrícolas, pero a pesar de ello la evaluación de la porosidad total en esos suelos con una disminución del 10%, que afecta el crecimiento de las raíces y la intercepción del agua [18].

Para la determinación de sustancias en el suelo, en un estudio realizado en San José de las Lajas por el vertimiento de sus aguas residuales en el cuerpo edáfico circundante, por medio del método de espectrofotometría, se obtuvo valores altos en elementos pesados como el CA²⁺ en 23500 hasta 80 784 mg/kg de suelo entre una distancia de 10 m a 50 m de la Empresa, MG²⁺ en 650 hasta 11 176 mg/kg de suelo con las mismas distancias, MN²⁺ en 50 hasta 1460 mg/kg de suelo, PB²⁺ en 219 hasta 62 800 mg/kg, entre otros. Donde se infiere que, a medida que incrementa la distancia, mayor se concentran las sustancias, debido al proceso de lavado y continuos vertimientos de aguas residuales al suelo [19].

Además, cabe mencionar que los cambios e impactos a la capa superficial del suelo, son provocados por la falta de legislación y el mal manejo de estas sustancias, trayendo como segunda consecuencia, daños irreversibles en la actividad agrícola, como también, problemas sociales y

salud de los habitantes circundantes a la minera [20].

No obstante, estos cambios pueden ser remediados con la formulación de posibles alternativas de mitigación sobre los impactos fisicoquímicos al suelo por el vertimientos de las aguas residuales del lavado de carbón, tales como el diseño de una cápsula que cumpla el objetivo de minimizar y dar una disposición final a los lixiviados y aguas residuales provenientes de la minería, además, de poseer resistencia, soportar temperaturas entre 1100 a 1300 °C y mantenerse constante sin sufrir ningún tipo de reacción al óxido [21]. Como otra alternativa para recuperación de suelos degradado, son las plantaciones forestales de Azadirachita como modelo de restauración activa, esto fue aplicado en Santa fe de Antioquia, cuenca del río Cauca, el cual generó beneficios positivos como el mejoramiento significativo del ciclo biogeoquímico e incremento de la materia orgánica y nutrientes como P y K [22].

Así mismo, [23] plantea otro método de restauración de suelo a través de la fertilización orgánica por compost producido a partir de dos tipos de hojarasca, esto fue aplicado en el Pasto de Piata, municipio El Dorado, donde se mostraron resultados crecientes en su fertilidad.

4. CONCLUSIONES

Los parámetros analizados en el agua residual proveniente de la planta de lavado de carbón, como el pH, arrojan un valor menor a 5, resultado que indica que el agua al salir del proceso de lavado adhiere algunas características del carbón y otras sustancias que se agregan en su lavado. Como consecuencia, esto afecta su condición natural, además, se convierte en un agente contaminante de otras áreas como el suelo, por su vertimiento al exterior.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos de la capa orgánica del suelo circundante a la planta de lavado de carbón, tienden a tomar un valor de pH 3,5, es decir, altamente ácido, porque el cuerpo de agua al tener contacto con el suelo, le transmite ciertas sustancias cambiando su condición natural, como la pérdida de

materia orgánica y la disminución del 10 % de la porosidad del suelo.

Las posibles alternativas de mitigación a emplear, tales como la aplicación de compost orgánico al suelo degradado o con falta de nutrientes y materia orgánica, es de gran ayuda, ya que lo enriquece de manera progresiva y no se realiza un gasto innecesario, este puede ser preparado manualmente con excretas de ciertos animales. Así mismo, para las aguas residuales se recomienda realizar un tratamiento previo para eliminar algunas sustancias tóxicas o metálicas, y después ser vertidas al exterior.

En conclusión, se puede afirmar que la producción del carbón con la contaminación de la capa orgánica del suelo, tiene una relación directa, ya que, si se tiene mayor demanda del producto, se utilizará mayores cantidades de agua; en consecuencia, esas cantidades de aguas residuales serán emitidas a los suelos circundantes de la zona del proyecto, provocando impactos como erosión y pérdida de su condición natural. No obstante, si son aplicadas correctamente algunas de las medidas de mitigación, entonces, la afectación sería mínima a comparación del anterior.

REFERENCIAS

- [1] I. M. Alemán Vásquez y F. P. Guido Paniagua, «Comparación De Dos Técnicas Para La Determinación De Carbono Orgánico Del Suelo, En El Lafqa Departamento De Química,» Repositorio Institucional UNAN-Managua, 2015.
- [2] B. d. I. r. d. Colombia, «La economía del carbón,» 1997.
- [3] u. m. e. UPME, «Guía minero ambiental,» 2005.
- [4] L. Faba Peon, «Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón,» p. 112, 2017.
- [5] M. Guerrero Useda y V. Pineda Acevedo, «Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá bajo (Tausa). Modelo conceptual,» *Ciencia e ingeniería neogranadina*, vol. II, nº 1, pp. 57-74.,

- 2016.
- [6] Fátima tamtam, Folkertvan Oort, BarbaraLe Bot, TucDinh, S. Mompelat, M. Chevreuil, I. Lamy y M. Thiryd, «Assessing the fate of antibiotic contaminants in metal contaminated soils four years after cessation of long-term waste water,» *Science of the total environment*, vol. 409, nº 3, pp. 540-547, 2010.
- [7] A. Gustavo, «Ph en agua por electrometría,» Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, 2007.
- [8] IDEAM, «Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales,» Bogotá, 2007.
- [9] Lovibond, «Sistema de medición DBO BD 600,» 2019.
- [10] D. Sanabria Suárez, «Conductividad Eléctrica Por El Método Electrométrico en agua,» Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, 2006.
- [11] A. Jarquín Sánchez, S. Salgado García, D. J. Palma López y W. Camacho Chiu, «Analysis of soil organic matter in tropical soils with near-infrared spectroscopy (NIRS) and chemometrics,» *Ciencia e investigación agraria.*, vol. 39, nº 2, pp. 387-394, 2012.
- [12] J. Espinosa y E. Molina, «Acidez y encalado de suelos,» *International Plant Nutrition Institute*, pp. 3-6, 1999.
- [13] Energético-UPME, «Guía de orientación para el minero sobre el correcto manejo de vertimientos para la minería de metales preciosos y de carbón,» 2015.
- [14] S. J. McKean, «Manual De Análisis De Suelos Y Tejido Vegetal,» *Centro Internacional de Agricultura Tropical*- CIAT, pp. 11-15, 1993.
- [15] B. d. I. República, «Minería en Colombia: Institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos,» Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, 2003.
- [16] A. Muñoz Ospino, «Optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera en la mina de carbón San Fernando, operada por carbones San Fernando SAS, vereda Paso Nivel, Amaga-Antioquia,» *Facultad de ciencias-Escuela de ingenieros de minas*, 2016.
- [17] M. Guerrero Useda y V. Pineda Acevedo, «Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá bajo (Tausa). Modelo conceptual,» *Ciencia e ingeniería neogranadina*, vol. 26, nº 1, pp. 57-74, 2016.
- [18] B. Gutierrez Rapalino y Y. Domínguez Haydar, «Contribución de Pheidole fallax y Ectatomma ruidum (Hymenoptera: Formicidae) en la dispersión y germinación de semillas en áreas rehabilitadas de la mina de carbón del Cerrejón, Colombia,» *Revista de Biología Tropical*, vol. 65, nº 2, 2017.
- [19] S. Ambar Guzmán, «Degradación de un suelo por efecto de residuales de la empresa cerámica del municipio San José de las Lajas,» *Ciencias técnicas agropecuarias*, vol. 17, nº 3, pp. 45-51, 2018.
- [20] Argota Correa, «Desarrollo socioeconómico regional: impactos de la minería artesanal en el bajo Cauca Antioqueño,» *Internacional de cooperación y desarrollo*, vol. 4, nº 1, pp. 46-61, 2017.
- [21] M. Gregory y A. Yaxley, «Methane-bearing fluids in the upper mantle: an experimental approach,» *Contributions to mineralogy and petrology*, pp. 1-14, 2018.
- [22] C. Florez Florez, J. León Pelaez, N. Osorio Vega y M. Restrepo Llano, «Dinámica de nutrientes en plantaciones forestales de azadirachta indica (meliaceae) establecidas para restauración de tierras degradadas en Colombia,» *Biológico tropical*, vol. 61, nº 2, pp. 515-529, 2013.
- [23] R. J. Previdelli Marco, «Características productivas, morfológicas y estructurales,» *Ciencia rural*, vol. 43, nº 7, pp. 1238-1244, 2013.