

ARTÍCULO CORTO DE INVESTIGACIÓN

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(52)2022p43-50_155

IMPACTO DE LA MINERÍA DE ORO SOBRE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN EL NOROCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA, COLOMBIA.Claudia X. Martínez¹, Edier H. Pérez¹✉, José A. Gallo¹

¹Universidad del Cauca, Departamento de Química, Grupo de Investigación Agroquímica. Correspondencia: ehpez@unicauca.edu.co;

Palabras claves: minería artesanal; propiedades físicas y químicas del suelo; calidad del suelo.

RESUMEN

Las actividades mineras en el Departamento del Cauca están asociadas a contaminación hídrica y del suelo por metales pesados principalmente cianuro y mercurio, incremento de la erosión del suelo, afectación al ecosistema, efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El objetivo del presente estudio fue determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos seleccionados en sitios explotados con actividades mineras, se determinaron los cambios respecto a un suelo no intervenido (Estrato Alto), la calidad del suelo y su potencial uso agrícola. Se realizó en el municipio de Suárez, Departamento del Cauca donde se ejerce la minería de oro artesanal. Los suelos de Estrato Alto evidencian baja fertilidad por bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, calcio, desbalance entre nutrientes por lo que presentan un bajo potencial agrícola, que puede incrementarse con un manejo conservacionista y controlado del suelo. Los microelementos aunque importantes en menor cantidad para las plantas su toxicidad es letal a mínimas concentraciones por lo que es indispensable que se encuentren en los niveles críticos adecuados, y en estos suelos el cobre se encuentra en niveles tóxicos superando los 2 mg kg⁻¹ al igual que el hierro (nivel crítico 25-45 mg kg⁻¹) y Manganeso en algunos de los suelos incluso en el estrato no intervenido por minería. El Zinc se encuentra en cantidades de 1,12 a 1,88 mg kg⁻¹ siendo valores altos y tóxicos para sistemas de uso agrícola.

IMPACT OF GOLD MINING ON THE MAIN PROPERTIES OF THE SOIL IN THE NORTHWESTERN OF THE DEPARTMENT OF CAUCA, COLOMBIA.

Keywords: artisanal mining; physical and chemical properties of the soil; soil quality.

ABSTRACT

Mining activities in the Department of Cauca are associated with water and soil contamination by heavy metals, mainly cyanide and mercury, increased soil erosion, affectation of the ecosystem, and negative effects on the physical, chemical, and biological properties of the soil. The objective of this study was to determine the physical and chemical properties of the selected soils in sites exploited with mining activities, the changes were determined with respect to a non-intervened soil (High Stratum), the quality of the soil and its potential agricultural use. It was carried out in the municipality of Suárez, Department of Cauca, where artisanal gold mining is carried out. High Stratum soils show low fertility due to low contents of organic matter, nitrogen, calcium, imbalance between nutrients, which is why they have low agricultural potential, which can be increased with conservationist and controlled soil management. The microelements, although important in smaller quantities for plants, their toxicity is lethal at minimum concentrations, so it is essential that they be at the appropriate critical levels, and in these soils copper is found at toxic levels exceeding 2 mg kg⁻¹ per day. the same as iron (critical level 25-45 mg kg⁻¹) and Manganese in some of the soils, even in the stratum not intervened by mining. Zinc is found in quantities of 1.12 to 1.88 mg kg⁻¹, being high and toxic values for systems for agricultural use.

Rec : 28/09/2022

Acep : 29/10/2022



INTRODUCCIÓN

El departamento del Cauca posee un potencial económico por las manifestaciones minerales de oro, plata, carbón, azufre, calizas, mármol dadas las condiciones orográficas, hidrográficas y geológicas. Sin embargo su extracción ha sido de carácter artesanal y en la mayoría de los casos de subsistencia. Estas explotaciones están caracterizadas por la deficiencia en la tecnificación, la escasa asistencia técnica, la carencia de licencia ambiental y planes de manejo de impacto ambiental (IGAC, 2006 a).

Todas estas prácticas se desarrollan en varios municipios del departamento del Cauca y Suárez no es ajeno a esta problemática, está sufriendo procesos de expansión de la actividad minera. La minería de socavón. El uso de implementos inadecuados como retroexcavadoras, y el inadecuado manejo de residuos de productos utilizados en la explotación de Oro, como cianuro y mercurio, genera contaminación hídrica y del suelo, alterando las propiedades del suelo y dejando tierras con procesos erosivos severos, con variación en el contenido de nutrientes y pH, restos de metales pesados tóxicos y remoción de materia orgánica entre otros.

Estas consecuencias sobre el ambiente y la ausencia de medidas de manejo tanto de la capa removida, como de los estériles producidos dan pie al importante conflicto del uso del suelo consistente entre el uso que se le debería dar considerando su aptitud y potencialidad, según sus características y componentes como fertilidad, pendiente, clima, geomorfología, geología entre otros y

el uso que actualmente se les da (IGAC, 2006 b).

Considerando que las estadísticas mineras de producción, de registro y de familias beneficiadas de Suárez son muy deficientes, debido a que más del 80 % de las extracciones mineras se realizan de manera ilegal y sus productos son vendidos en departamentos vecinos, ocasionando pérdida de recursos por concepto de regalías este trabajo tuvo como propósito investigar la calidad del suelo medida con las propiedades físicas y químicas de suelos de esta zona mediante diferentes técnicas analíticas para diagnóstico de fertilidad y evaluación de la influencia de la actividad minera hasta ahora ignorada.

METODOLOGIA

Área de estudio

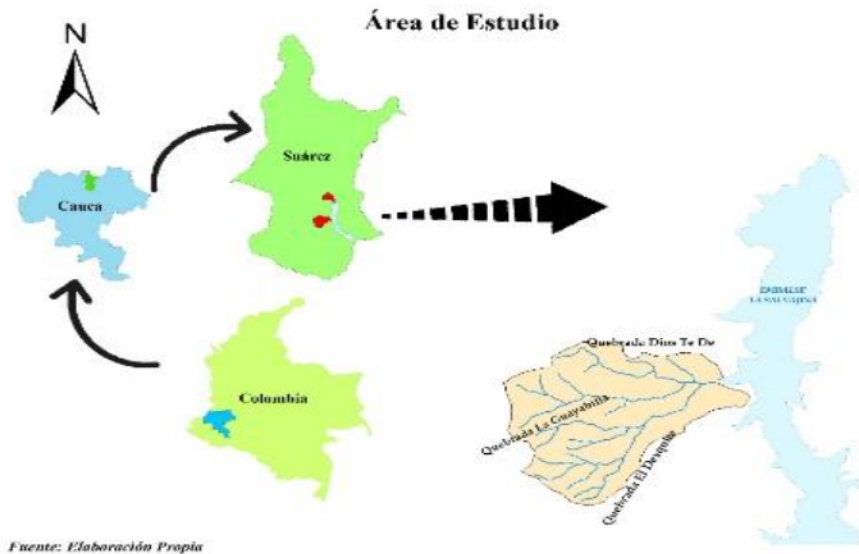
El área de estudio fue definida por la cantidad de socavones y unidades geomorfológicas del sector influenciadas por labores de minería de oro artesanal. Esta actividad es considerada una de las más importantes en esta zona del municipio, la explotación del mineral (oro de filón) se hace en forma subterránea de manera artesanal y con un escaso nivel de tecnificación (CRC, 2006; Ararat *et al.* 2013).

El área de influencia está comprendida por las quebradas Dios te Dé, Guayabilla, El bosque, en la vereda Maravélez, pertenecientes al corregimiento de Mindalá al suroriente del municipio de Suárez Cauca Colombia (Ver figura 1, figura 2)), localizada entre las coordenadas 02°54'43.2" N y 76°43'41,1" W, con clima templado húmedo (temperatura media entre 18 y 24 °C). El municipio se encuentra ubicado al Noroccidente del departamento del Cauca, siendo importante

porque es en esta cabecera municipal donde el río Cauca pasa por la primera alteración artificial de su caudal en la represa de Salvajina, construida por la Corporación Regional Autónoma del Valle del Cauca (CVC). La función primaria de este embalse es controlar las aguas del Cauca en la temporada invernal evitando inundaciones en el Valle del Cauca. La represa de Salvajina también se

emplea como hidroeléctrica a nivel secundario, y alcanza a tener más de 22 km de largo y hasta 1 km de ancho.

Los suelos pertenecen a ecosistemas de montaña en alturas comprendidas entre 1299 y 1663 msnm, originados de cenizas volcánicas y rocas ígneas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1: Ubicación área de estudio

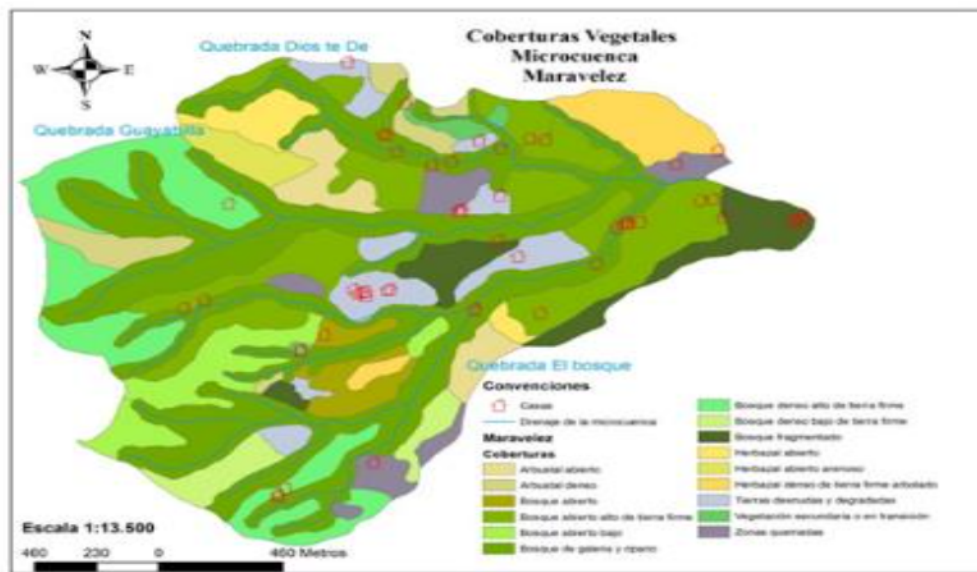


Figura 2: Ubicación del área de muestreo de suelos

Toma de muestra.

La selección de las áreas de muestreo se hizo considerando el sistema de uso de suelo. Así:

Parte Alta P1 y P2: Cobertura natural, suelo suelto, sin intervención agrícola y minera.

Parte Media P1: Sistema de uso agrícola con yuca y caña de azúcar.

Parte Media P2: Cobertura de pasto, uso destinado a potrero.

Parte Baja P1 y P2: Terreno fuertemente inclinado con problema de erosión, no cuenta con antecedentes de uso agrícola pero si influenciado por la explotación minera (excavaciones antiguas).

Todos los suelos con pendientes superiores a 50 ° y con una profundidad promedio del horizonte A de 37 cm. La toma de las muestras se realizó de 0-20 cm de profundidad en el perfil, se tomaron de 13 a 25 submuestras con las cuales se formó una muestra compuesta por cada parcela la cual fue analizada en el laboratorio.

Análisis de suelos

La caracterización de los suelos se hizo siguiendo las metodologías descritas por el IGAC (2006) y las estandarizadas en el Laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca. Textura por el método de Bouyoucos y densidad aparente por el método del cilindro. Se midió el pH en relación suelo - agua 1:1 por el método potenciométrico, y el contenido de Carbono orgánico (CO), método de Walckley Black.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables por NH₄Ac 1M pH 7. Acidez y Al intercambiable en forma volumétrica previa extracción con KCl 1N. Fósforo (P) disponible por el método de Bray II y Nitrógeno total (N) por método de Kjeldajh. Azufre (S) por método colorimétrico previa extracción con fosfato mono cálcico. Microelementos y Cu, Fe, Mn y Zn por EAA previa extracción con DTPA. Todos los resultados son producto del análisis de tres réplicas y fueron expresados en base seca.

Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos análisis descriptivos, iniciando con la prueba de normalidad que permite contrastar las hipótesis de que los datos se ajustan o no a la distribución normal, para ello se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. Se aplica la prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas en las poblaciones de las que proceden los grupos, se aplican pruebas paramétricas y se realiza el análisis de varianza (ANOVA), pruebas de comparación múltiples de Tukey y correlaciones de Pearson para determinar las diferencias entre los suelos muestreados de parte alta, media y baja, utilizando como software estadístico SPSS versión 23.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y Química de los suelos

Los resultados de las propiedades físicas y químicas de los suelos de las diferentes zonas se expresan en base seca y son el producto de tres réplicas (Tabla 1 y Tabla 2). Para efectos de comparación se usó tablas de referencia de suelos colombianos (Silva, 2000).

Tabla 1. Propiedades físicas de suelos con diferente uso.

PROPIEDADES FÍSICAS						
Muestra	Humedad higroscópica (%)	Da (Mg.m ⁻³)	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Textura
E-Alto P1	3,95 ^e	1.09 ^a	72,10 ^a	10,05 ^f	17,85 ^f	Franco Arenosa
E-Alto P2	4,06 ^d	1.10 ^a	60,31 ^d	13,24 ^d	26,44 ^b	Franco Arenosa
E-Medio P1	5,39 ^c	0.80 ^c	49,98 ^f	19,42 ^b	30,60 ^a	Franco
E-Medio P2	5,53 ^b	1.10 ^a	57,42 ^e	21,00 ^a	21,58 ^d	Franco Arcillo Arenosa
E-Bajo P1	3,90 ^f	0.80 ^c	62,33 ^c	13,00 ^e	24,67 ^c	Franco Arenosa
E-Bajo P2	5,70 ^a	0.93 ^b	63,70 ^b	17,28 ^c	19,02 ^e	Franco Arenosa

Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes $p=0,05$.

Los suelos de estudio presentan textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa prevaleciendo la segunda en las áreas alto y bajo debido a un mayor contenido de arenas y menor porcentaje de arcillas como lo demuestra la correlación negativa y significativa (Coeficiente de Pearson -

0,778**) y aunque los valores de arcilla superan el 10 %, se evidencia suelos sueltos con poca estructura que genera erosión producto del relieve fuertemente escarpado. Presentan densidad aparente promedio entre (0,8 y 1,1 Mg m⁻³).

Tabla 2. Propiedades químicas de suelos con diferente uso.

PROPIEDADES QUÍMICAS							
Muestra	pH	MO %	N	C/N	Acidez	Al	P
					Intercambiable	Intercambiable	mg.kg ⁻¹
					cmol/kg		
E-Alto P1	5,6 ^c	1,49 ^f	0,08 ^f	10,75 ^{bc}	1,96 ^a	1,34 ^a	2,22 ^d
E-Alto P2	5,6 ^c	2,02 ^e	0,10 ^e	11,70 ^a	0,52 ^c	0,31 ^c	2,79 ^c
E-Medio P1	5,8 ^b	4,37 ^a	0,23 ^a	11,00 ^b	0,24 ^f	0,08 ^e	1,40 ^e
E-Medio P2	5,5 ^d	2,97 ^b	0,20 ^b	8,61 ^d	0,35 ^d	0,17 ^d	3,40 ^b
E-Bajo P1	6,0 ^a	2,14 ^d	0,12 ^d	10,33 ^c	0,30 ^e	0,04 ^f	2,23 ^d
E-Bajo P2	5,6 ^c	2,72 ^c	0,15 ^c	10,82 ^b	1,35 ^b	0,99 ^b	4,22 ^a

CIC y Bases de Cambio					
	CIC	Ca	Mg	Na	K
	cmol/kg				
E-Alto P1	19,00 ^e	0,73 ^e	4,02 ^c	1,26 ^b	0,19 ^c
E-Alto P2	18,53 ^f	0,68 ^f	3,35 ^e	0,91 ^c	0,20 ^c
E-Medio P1	24,41 ^b	6,54 ^a	5,30 ^a	0,08 ^f	0,33 ^a
E-Medio P2	19,64 ^d	5,23 ^b	2,85 ^f	0,26 ^d	0,26 ^b
E-Bajo P1	26,26 ^a	4,65 ^c	4,52 ^b	0,16 ^e	0,32 ^a
E-Bajo P2	20,71 ^c	1,83 ^d	3,73 ^d	1,62 ^a	0,13 ^d

	METALES			
	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/Kg ss			
E-Alto P1	1,12	14,76	51,39	1,88
E-Alto P2	7,17	72,90	43,59	1,77
E-Medio P1	6,65	95,39	62,00	1,66
E-Medio P2	3,75	25,91	75,85	1,37
E-Bajo P1	4,08	47,62	103,71	1,12
E-Bajo P2	5,27	42,89	73,42	1,15

Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes $p=0,05$.

El pH es una de las propiedades más importantes, es un indicador de los procesos químicos, mineralógicos y biológicos que ocurren en el suelo. Es uno de los actores más limitantes para la producción agrícola rentable y sostenida. Los valores de pH de todos los suelos se encuentran entre 5,5 y 6,0 correspondiendo a una acidez media y aunque no se observa una tendencia por altitud si se demuestra una asociación lineal positiva y significativa entre el pH y algunos nutrientes del suelo como el Magnesio (Coeficiente de Pearson 0,754**), Potasio (Coeficiente de Pearson 0,671**), Manganeso (Coeficiente de Pearson 0,781**).

Estos valores de acidez media corresponden con valores bajos de aluminio intercambiable menores de 1,5 cmol(+)/kg en la solución del suelo evidenciando que las formas fisiológicamente más tóxicas del aluminio Al^{+3} y $Al(OH)^{2+}$ no prevalecen en ninguno de los suelos de esta zona (Burbano y Silva, 2013). Se observa que los suelos con mayor valor de pH son medio P1 y bajo P1 por lo que presentan los menores contenidos de este elemento.

La CIC es dependiente del pH como lo demuestra la asociación positiva y significativa entre el pH y CIC (Coeficiente de Pearson 0,928**) y la correlación negativa y significativa entre Acidez intercambiable y CIC

(Coeficiente de Pearson -0,508*). Los valores normales de CIC en los suelos inclusive en los suelos P1 medio y P1 bajo que son altos se atribuyen a una mayor contribución de los grupos tetraédricos de las alófanos que son grupos radicales fuertes a pH mayor de 5,5 por lo que aumentan considerablemente la carga variable.

Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total son bajos en los suelos de la parte alta y baja y medios en los suelos de la parte media lo que indica que la inclusión de uso de suelo y manejo agrícola conservacionista favorece el contenido de materia orgánica, la actividad biológica y evita que en el proceso de mineralización parte del nitrógeno se volatilice a la atmósfera.

La relación C/N menor de 10 es baja e indica una alta mineralización y entre 10 y 12 conlleva a una mineralización normal que en este caso sería el proceso que ocurre en todos los suelos excepto en el estrato medio P2 donde es más baja producto de un menor contenido de materia orgánica posiblemente por el tipo de pasto de cobertura comparado con el suelo medio P1 (SILVA, 2000).

Se detecta fuerte deficiencia de fósforo disponible (1,4 a 4,2 mg kg⁻¹) asociada a la acidez del suelo y a la inmovilización de los fosfatos por adsorción específica por alófanos, minerales característicos de estos

suelos derivados de cenizas volcánicas. La disponibilidad de las bases de cambio es variable, así en los suelos de la parte media se observa una adecuada cantidad de Calcio ($> 3 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) mientras en las otras dos partes alta y baja tiende a una deficiencia; por el contrario el magnesio se encuentra en niveles elevados que superan los $2,5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ y en general el potasio en un nivel medio ($0,15-0,30 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) de disponibilidad. Esto permite inferir que el complejo coloidal está altamente saturado por bases y en muy baja proporción por aluminio, siendo el extracto medio el de mayor porcentaje de saturación.

Los microelementos aunque importantes en menor cantidad para las plantas su toxicidad es letal a mínimas concentraciones por lo que es indispensable que se encuentren en los niveles críticos adecuados y en estos suelos el cobre se encuentra en niveles tóxicos superando los 2 mg kg^{-1} al igual que el hierro (nivel crítico $25-45 \text{ mg kg}^{-1}$) y Manganeseo (nivel crítico $25-65 \text{ mg kg}^{-1}$) en algunos de los suelos incluso en el estrato no intervenido por minería. El Zinc se encuentra en cantidades de $1,12$ a $1,88 \text{ mg kg}^{-1}$ siendo valores altos y tóxicos para sistemas de uso agrícola.

En la zona se resalta que los suelos del estrato Alto (P1 y P2) difieren significativamente de los otros suelos y se evidencia menor fertilidad: se caracterizan por menores contenidos de arcillas al igual que el suelo del estrato bajo (P1), inferiores porcentajes de MO y N siendo muy bajos, propiedades fundamentales en la retención de agua y nutrición de las plantas respectivamente en los suelos. El valor de pH 5,6 refleja en parte la presencia de mayor acidez y aluminio intercambiables con bajos porcentajes de saturación de aluminio (Alto P1 7,05 % y Alto

P2 1,7 %), con similar tendencia está el estrato Bajo P2. Aunque la capacidad de intercambio catiónico es normal, es inferior a la de los demás suelos, lo mismo sucede con el calcio pero presentando deficiencia en su disponibilidad, menor contenido en un nivel normal de potasio. En cuanto a microelementos, la no toxicidad por cobre y hierro le proporcionan una mejor calidad sin embargo el estrato Alto P2 supera el nivel crítico de cobre y el suelo Alto P1 es deficiente en hierro lo que indica que existe un desbalance nutricional presente también en los otros suelos; mayor Da junto con medio P2 producto de menores contenidos de MO.

Por las características antes mencionadas se deduce que “el contenido mineral de los materiales de origen es de particular importancia en la determinación de los niveles de fertilidad en los suelos. La transformación de la roca madre produce cambios, pero siempre la naturaleza del material de origen influirá grandemente en las características del suelo” (Oliva, 2009). En estos suelos de montaña con clima templado húmedo Typic Hapludands el contenido de hierro, magnesio y manganeso se atribuye a minerales de rocas ígneas como basaltos, granodioritas con sus minerales secundario biotita, anfíbol, piroxeno y cuarzdioritas (IGAC, 2009) y el hierro, calcio se destacan más en los estratos medio y bajo evidenciando que las rocas residuales arrojadas producto de la actividad minera incorporan estos elementos al suelo.

CONCLUSIONES

Por sus propiedades físicas y químicas cómo capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de materia orgánica, N, Ca, K, y alto contenido de Mg al igual que

microelementos como Zn son suelos que reflejan una fertilidad baja que se traduce en un bajo potencial agrícola, sin embargo se evidencia que un manejo conservacionista y adecuado mejora las condiciones del suelo, la actividad biológica, el proceso de mineralización, las relaciones cuantitativas entre elementos y la disponibilidad de nutrientes como se observa en el estrato medio.

La actividad minera no muestra una influencia significativa en las propiedades de los suelos. Muestra un incremento de calcio y niveles de toxicidad con fines de fertilidad en los elementos Cu, Fe, Mn y Zn.

Dado que son suelos formados en relieves fuertemente ondulados a quebrados con crestas ramificadas, se hace difícil su actividad agrícola por lo que cómo medida extrema se considera pertinente mantener su vegetación natural y/o dedicarlos a actividades forestales que por su efecto protector contribuyen a la conservación del mismo.

BIBLIOGRAFIA

ARARAT, L., MINA, E., ROJAS, A., SOLARTE, A.M., VANEGAS, G., VARGAS, L.A. & VEGA, A. 2013. La Toma Historias de Territorio, Resistencia Y Autonomía En La Cuenca Del Alto Cauca. Primera edición. Observatorio de Territorios Étnicos - Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 357p.

BURBANO, O.H Y SILVA, M.F. 2013. Ciencia del Suelo. Principios básicos. Segunda edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.118-119p

Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC 2006. Apoyo a proyectos de producción más limpia en minería para los distritos

mineros del Cauca: Distrito Minero de Suárez. Recuperado de <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbient al/mineria/MINERIA%20SUAR EZ/MINERALIZACION%20Suarez.pdf>

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC 2006 a. Cauca. Características Geográficas. Bogotá DC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 125, 267p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC 2006 b. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. VI ed. Bogotá DC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC 2009. Estudio general de Suelos y Zonificación de tierras Departamento del Cauca Escala 1:1000.000. VI ed. Bogotá DC: Imprenta Nacional de Colombia.556 p.

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. 2012. Contaminación con mercurio por la actividad minera. Biomédica. Volumen 32, No.3, Bogotá, D.C., Colombia.

OLIVA ESCOBAR, D. P. 2009. Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{3+} + H^+$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua. Zamorano, Honduras. 2p

SILVA M, F. 2000. Fundamentos para la interpretación de análisis de los suelos, plantas y aguas de riego. Tercera edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo: Santafé de Bogotá, D.C. Colombia, 323p