

EFFECTO DEL CIERRE DEL CAÑO MÁNAMO SOBRE LA ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS DEL DELTA SUPERIOR DEL ORINOCO

Iván José Maza¹, Clara Rondón de Rodríguez² y Graciano Elizalde³

¹UDO, ivanjosemaza@yahoo.es, ²UNERG, clararondon@yahoo.com, ³FAGRO UCV, gracianoelizalde@yahoo.com.

RESUMEN

Para evaluar el efecto del cierre del Caño Mánamo sobre la acidificación de suelos del Delta Superior del Orinoco, se caracterizaron nueve suelos en cuanto a morfología, propiedades físicas, químicas, físico-químicas y mineralógicas. Los suelos en posición de cubeta aguas abajo del cierre del Caño Mánamo mostraron variabilidad vertical y horizontal y desarrollaron una acidificación después del cierre, que no se aprecia en los suelos de cubeta aguas arriba. La intensidad de la acidificación depende de los niveles de inundación, modificados por el cierre del Caño Mánamo. Las fluctuaciones del nivel freático favorecen la humificación y la óxido-reducción que conduce a la acumulación de pirita en los horizontes profundos, así como yeso, oxihidróxidos de hierro y jarosita en los horizontes superficiales de los suelos en posición de cubeta aguas abajo del cierre.

Palabras claves. Suelos deltaicos, acidificación en suelos, suelos sumergidos, relación Eh-pH en suelos.

INTRODUCCIÓN

El Delta del Orinoco, al noreste de Venezuela, es una interfase de procesos fluviales, marino-litorales y los propios de un delta. La cobertura sedimentaria mineral, con proporciones variables de materia orgánica, refleja la acción de los tres procesos en un ambiente saturado de agua gran parte del año, que favorece la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y de los sulfatos, con la formación de pirita, metano y ácido sulfhídrico. El sistema, constituido por numerosas islas, caños y canales comunicados entre sí, vierte sus aguas al Océano Atlántico. El cierre del Caño Mánamo por un dique, en 1965, disminuyó las inundaciones en Tucupita, aumentó el caudal de descarga de Río Grande, drenó extensas áreas inundadas y produjo cambios en las condiciones físicas, químicas y fisicoquímicas de los suelos, generando zonas de acidificación que disminuyeron la capacidad de producción agrícola de algunas áreas y crearon problemas socioeconómicos en la zona. El propósito de esta investigación es evaluar cambios en propiedades físicas, químicas, físico-químicas y mineralógicas de los suelos afectadas por el cierre del Caño Mánamo, para inferir los efectos del cierre sobre el proceso de acidificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en áreas agrícolas adyacentes al Caño Mánamo, en las islas Manamito, Guara y Macareo, en el Delta Superior del Orinoco. Clasificados los paisajes según Elizalde (1983), se seleccionaron los sitios de muestreo, según la topografía y geomorfología antes y después del cierre, así como el análisis de transectas, para ubicación de pedones representativos y selección de las calicatas para caracterización y muestreo (Cuadro 1). Se realizó la descripción y muestreo de las calicatas siguiendo el Manual de Descripción de Perfiles de la FAO (2006). La distribución de tamaño de partículas se

determinó por el método de la pipeta (Loveland y Whalley, 1991). El carbono orgánico total por Anderson e Ingram (1993), el pH con pHmeter, Na⁺ por absorción atómica, conductividad eléctrica con conductímetro, potencial redox por el electrodo de platino (Zapata, 2004). Según Richards, 1954, se determinó la concentración de SO₄²⁻ por turbidimetría, Ca²⁺ y Mg²⁺ con Versenato, Cl⁻ por titulación con AgNO₃; CO₃²⁻ y HCO₃⁻ por titulación con H₂SO₄. Fe²⁺ se determinó por absorción atómica. Piritita y yeso por observación en campo y lupa de mano. Por difracción de rayos X se determinó la mineralogía de la fracción arcilla y se confirmó la presencia de piritita y yeso. Maza (2010) realizó comparación descriptiva entre grupos de suelos u horizontes, de características determinadas cuantitativamente, interpretando los parámetros estadísticos como índices de variabilidad. Determinó además las diferencias entre medias, a través de la prueba t de medias y con la prueba de Kruskal-Wallis estimó la homogeneidad de grupos de suelos u horizontes en cuanto a una serie de características físicas y químicas.

Cuadro 1: Ubicación e identificación de las calicatas en los suelos estudiados

Suelos aguas abajo del cierre del Caño Mánamo		Suelos aguas arriba del cierre del Caño Mánamo	
Posición y ubicación Cubeta	Posición y ubicación Dique	Posición y ubicación Cubeta	Posición y ubicación Dique
1CAGUA: Cubeta alta, San Carlos, Guara.		8CAMAC: Cubeta alta, Guacasia, Macareo.	7DMAC: Dique, Guacasia, Macareo.
2CBGUA: Cubeta baja, San Carlos, Guara.			
4CAGUA: Cubeta alta, CEIPA, Guara.	3DGUA: Dique, CEIPA, Guara.		
5CAMAN: Cubeta alta, San Isidro, Manamito.	6DMAN: Dique, San Isidro, Manamito.		
9CBMAN: Cubeta baja, Caño Iglesias, Manamito.			

1 a 9: orden de muestreo de las calicatas; CA, CB y D: suelos Cubeta Alta, Baja y Dique respectivamente. GUA, MAN y MAC: islas Guara, Manamito y Macareo respectivamente.

RESULTADOS

La clasificación de paisajes (Elizalde, 1983), ubica los suelos estudiados en cubetas altas y bajas y diques fluviales, en bancos y bajíos de unidades litogeomorfológicas sedimentarias de los caños Mánamo Superior y Macareo Superior. Ambos dentro de la subprovincia fisiográfica del Delta Superior de Tucupita, en la provincia fisiográfica de la Planicie Deltaica de Tucupita, en la Región Deltaica de la megarregión Cuencas Sedimentarias de Venezuela. Los suelos de cubeta aguas abajo del cierre mostraron variabilidad vertical y horizontal, alternancia de estratos orgánicos y minerales, agrietamiento en los niveles menos orgánicos y piritita en estratos orgánicos profundos. La fracción arcilla es dominada por caolinita, cuarzo, moscovita, clorita, vermiculita y esmectita, por ser suelos muy jóvenes derivados de sedimentos de una cuenca altamente meteorizada. Los suelos de cubeta aguas abajo del cierre tienen jarosita y algunos contienen yeso, bayerita e interestratificados clorita-vermiculita; mientras que la cubeta aguas arriba no presenta ninguno de estos minerales. Los suelos de dique tienen lepidocrocita y al igual que la

mayoría de los suelos de cubeta aguas abajo del cierre, tienen clorita. Las variaciones del pH *in situ* (Figura 1, línea triángulos) es diferente respecto al pH en pasta saturada (línea rombos) y en el extracto de saturación (línea cuadrados). Los suelos 1CAGUA, 2CBGUA y 4CAGUA no muestran diferencias estadísticas entre las medias; mientras que 5CAMAN, 3DGUA, 6DMAN, 8CAMAC y 7DMAC tienen pH en el extracto, estadísticamente mayor, que en pasta. El suelo 9CBMAN, muestra pH en el extracto menor estadísticamente que en pasta, atribuible a que su menor contenido de vermiculita y esmectita, sugiere menor capacidad para retener hidronios que los suelos con mayor diversidad de minerales con carga negativa, como el grupo arriba mencionado. El coeficiente de correlación lineal, r , entre conductividad eléctrica y pH es de $-0,74$; razón por la cual los suelos de mayor salinidad fueron los de cubeta aguas abajo del cierre, con mayor grado de acidez, respecto a los suelos de dique o cubeta aguas arriba del cierre. El nivel del agua en las cubetas aguas abajo del cierre varía diariamente con las mareas y estacionalmente con el agua fluvial y pluvial. En el período de lluvias la lámina de agua sobre la superficie del suelo varía de 20 a 150 cm, lo cual incide en el tiempo de inundación, generando, independientemente de la textura y la composición mineral u orgánica, Eh negativos que cambian a positivos en los horizontes superiores, que quedan por encima del nivel freático durante la época seca. Entonces, en ciertos ambientes de los suelos estudiados, existen las condiciones termodinámicas para la reducción de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ a Fe^{2+} , SO_4^{2-} a H_2S y CO_2 a CH_4 . En presencia de microorganismos anaeróbicos reductores de las especies químicas indicadas y los pH adecuados, dichas reacciones ocurrirán en los horizontes con los potenciales redox requeridos.

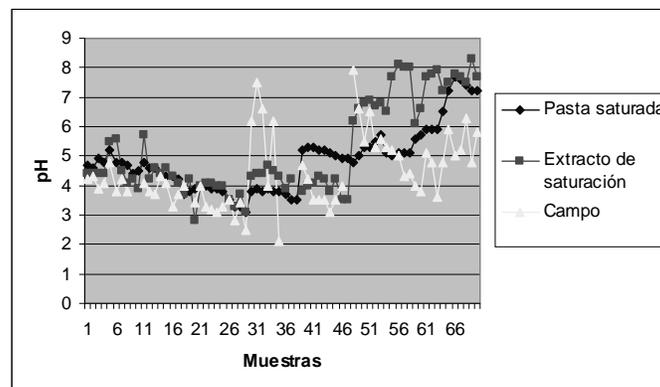


Figura 1: Variación del pH en los suelos estudiados

La evaluación de las reacciones redox en los suelos deltaicos, controladas por cambios de nivel de las aguas y el balance entre ingresos de aguas dulces (fluvial y pluvial) y salobres (mareas), por los parámetros Eh/pH (White, 2007; Schlesinger, 2000, Vorenhout *et al.*, 2004) conduce a identificar cuatro ambientes de Eh/pH (Cuadro 2). Acido-oxidante, con $\text{pH} < 5$ y $50 < \text{Eh} < 200$ mV (G1), ácido-reductor, también con $\text{pH} < 5,0$ y $50 < \text{Eh} < 250$ mV (G2), no ácido-oxidante, con $\text{pH} \geq 5,5$ y $100 < \text{Eh} < 200$ mV (G3) y no ácido-reductor, con $\text{pH} > 7$ y $-50 > \text{Eh} > -200$ mV (G4). G2 y G4 corresponden a los horizontes inferiores de los suelos de cubeta, saturados durante casi todo el año, mientras que G1 se encuentra en los estratos superiores de los suelos de cubeta aguas abajo del cierre, con variaciones en el año

del nivel de la mesa de agua. Los suelos cuyos horizontes homogéneamente pertenecen a G3 son aireados durante el año o gran parte de éste. En cuanto a las concentraciones iónicas, según datos no mostrados, los iones SO_4^{2-} , Mg^{2+} y Ca^{2+} , dominan la geoquímica de G1. Los iones SO_4^{2-} y Mg^{2+} también dominan en G2, pero en este caso el ion Fe^{2+} domina geoquímicamente, más que el Ca^{2+} ; mientras que en G3 y G4 dominan los iones Na^+ , Ca^{2+} y HCO_3^- . El SO_4^{2-} es importante en G3 y G4 pero en muchísima menor proporción respecto a G1 y G2, que reciben influencia directa de las mareas. Entre los minerales cuya estabilidad puede ser afectada por las condiciones redox y de acidez del suelo (Cuadro 3) tenemos la pirita que como era de esperarse, se encuentra solamente en G2 que permanece en condiciones reductoras casi todo el año, donde este mineral puede mantenerse sin alterarse o incluso puede formarse (Bush y Sullivan, 1999; Hussein y Rabenhorst, 1999). G1, drenado para el momento de la caracterización y muestreo de las calicatas, mientras estuvo sumergido, pudo recibir sulfuros movidos en suspensión desde los horizontes profundos a través de las grietas, o G1 pudo ser ambiente para la formación de pirita, pero al drenar y pasar a condiciones aeróbicas, esa pirita pudo oxidarse (White, 2007; Sahrawat, 2005). Formándose así iones Fe^{3+} , SO_4^{2-} , H^+ , que de acuerdo a sus concentraciones relativas formarían suelos sulfato ácidos o reaccionarían con otros iones produciendo minerales como jarosita ($\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$) y yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que se encuentran en G1. Lepidocrocita ($\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$) y goethita ($\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$) se encuentran en G3 por tratarse de oxihidróxidos con hierro en su estado oxidado. Bayerita ($\alpha\text{-Al}(\text{OH})_3$) y gibbsita ($\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$), se encuentran en G1 porque se requieren condiciones ácidas para que se generen iones Al^{3+} para formar estos minerales, aunque su presencia no se esperaría que dependiera del Eh del medio, razón por la cual la bayerita también se encuentra en G2. Los feldespatos ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, KAlSi_3O_8 , $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), minerales primarios frecuentes en los suelos, se encuentran en G1 y G3, porque, siendo heredados, no ha transcurrido suficiente tiempo para su alteración. Baumita ($(\text{Mg},\text{Al},\text{Mn},\text{Zn},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), sólo se consigue en G1, seguramente debido a características particulares de los sedimentos que allí llegan. En G1, G3 y G4 se encuentra nimita ($(\text{Ni},\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), sugiriendo que su estabilidad, a diferencia de la clorita ferrosa, no es muy afectada por Eh/pH. Ello debido quizá a que los elementos que constituyen la nimita, salvo el níquel, están en sus estados de oxidación únicos. El Ni puede tener estado de oxidación de +3 en G1 y +2 en G4. Finalmente, birnesita ($(\text{Na},\text{Ca})_{0,5}(\text{Mn}^{+4},\text{Mn}^{+3})_2\text{O}_{4,1,5} \cdot \text{H}_2\text{O}$), presente en G3 donde probablemente el Mn domina en su estado de oxidación +4. La cantidad de calcita en G2 seguramente es ínfima en razón a su poca estabilidad en medio ácido, es un mineral que se presenta en suelos alcalinos o neutros. De acuerdo a las altas cantidades de pirita en los horizontes orgánicos profundos de los suelos de cubeta y partiendo de la explicación sobre el posible origen de la jarosita en estos suelos, se esperaría una mayor concentración del mineral. Quizá la jarosita no es tan estable para mantenerse en estos ambientes y pudiera evolucionar hacia otros minerales (Maza, 2010). Otra posible explicación sería que la pirita se forma en cantidades mayores en los horizontes profundos en condiciones reductoras permanentes; luego, en los horizontes superiores, donde se altera a jarosita, las cantidades iniciales de pirita eran bajas, por lo tanto se forman pequeñas cantidades de jarosita a sus expensas. También, si se ha movido pirita en suspensión a los horizontes superiores, por su baja solubilidad, sólo se movería una muy pequeña cantidad de pirita (Maza, 2010).

Cuadro 2: Ambientes de acidez-redox según pH y Eh del extracto de saturación de los suelos del Delta Superior

Suelos aguas abajo del cierre del Caño Mánamo										Suelos aguas arriba del cierre en dirección del Caño Macareo	
Horizontes	Cubetas				Diques			Cubeta	Dique		
	1CAGUA	2CBGUA	4CAGUA	5CAMAN	9CBMAN	3DGUA	6DMAN	8CAMAC	7DMAC		
1	G1	G1	G1	G1	G1	G3	G3	G3	G3		
2	G1	G1	G1	G1	G1	G3	G3	G3	G3		
3	G1	G1	G1	G1	G1	G3	G3	G4	G3		
4	G1	G1	G1	G1	G1	G3	G3	G4	G3		
5	G1	G1	G2	G2	G1	G3	G3	G4	G3		
6	G1	G1	G2	G2	G2	G3			G3		
7	G1	G2	G2	G2	G2				G3		
8	G2	G1	G2		G2						
9	G2				G2						

G1: ácido-oxidante, G2: ácido-reductor, G3: no ácido-oxidante, G4: no ácido-reductor

Cuadro 3: Minerales de la fracción arcilla cuya estabilidad depende de Eh/pH

Horizonte	1CAGUA	2CBGUA	4CAGUA	5CAMAN	9CBMAN	3DGUA	6DMAN	8CAMAC	7DMAC
1	Jarosita Bayerita Gibbsita					Lepidocrocita Feldspatos	Lepidocrocita Feldspatos Jarosita		Lepidocrocita
2			Jarosita Bayerita Gibbsita Feldspato			Lepidocrocita Feldspato Goethita	Jarosita Feldspato Birnesita Nimita	Nimita	
3		Jarosita Bayerita Gibbsita Baumita	Jarosita Bayerita Gibbsita Feldspato	Jarosita Yeso Feldspato		Feldspatos Goethita	Lepidocrocita Birnesita Nimita	Nimita	
4		Jarosita Bayerita Gibbsita Baumita			Nimita Calcita Yeso Jarosita	Goethita	Lepidocrocita Birnesita Nimita	Nimita	
5	Jarosita Bayerita Gibbsita			Jarosita Yeso	Nimita Calcita Yeso Jarosita		Birnesita Nimita		
6	Jarosita			Feldspato Bayerita					
7		Pirita		Pirita	Pirita				
8									
9	Pirita								

Las tonalidades se corresponden con los de los ambientes del Cuadro 2.

Conclusiones. Las variaciones constatadas en la intensidad de los procesos de acidificación dependen de los niveles de inundación, del contenido de materia orgánica superficial, los que han sido modificados por el cierre del Caño Mánamo y también dependen de los materiales originarios. Los suelos de cubeta aguas abajo del cierre han desarrollado un proceso de acidificación después del cierre, que no se aprecia en el suelo de la cubeta aguas arriba. Los suelos de los diques han sido poco afectados por el cierre. En las áreas aguas abajo del cierre existe alta potencialidad para la formación de suelos sulfato ácidos con valores de pH muy bajos y donde también es posible la acidificación de la superficie del suelo al elevarse la mesa de agua. La fuente de acidez en G1, proviene de la descomposición de la materia orgánica y de la oxidación de la piritita y/o sulfuros de hierro; mientras que en G2, la acidez proviene de la acumulación de H₂S y materia orgánica, por la lenta descomposición de ésta por agentes oxidantes como sulfatos e hidróxidos férricos. Es decir, que la acidez de G2, se relaciona más con la composición de esos estratos que con los efectos del cierre, que no son muy marcados a esa profundidad.

Bibliografía

- ANDERSON, J.M. y J. S. INGRAM (1993). Tropical soil Biology and fertility: A Handbook of methods. CAB International. Wallingford, UK. 62 p.
- BUSH, R. T. y L.A. SULLIVAN (1999). Pyrite micromorphology in three Australian Holocene sediments. Australian Journal of Soil Research 37(4) 637 – 654.
- ELIZALDE, G. (1983). Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. U.C.V., Maracay. 46 p.
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. Rome, Italy. 54 p.
- HUSSEIN, A. H. y M. C. RABENHORST (1999). Modeling of Sulfur Sequestration in Coastal Marsh Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1954-1963.
- LOVELAND, P. J. y W. R. WHALLEY (1991). Particles size analysis. En K.A. Smith y Ch.E. Mullis, Soil Analysis. Physical methods. Marcel Dekker, NY. P 271-328.
- MAZA I. J. (2010). Evaluación del impacto del cierre del Caño Mánamo sobre la salinización y acidificación de los suelos del Delta Superior del Orinoco. Tesis doctoral, FAGRO, UCV, Maracay, 317p.
- RICHARDS, L.A. (ed.) (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 60, Government Printing Office, Washington. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=10158&page=2>
- SAHRAWAT, K. L. (2005). Fertility and organic matter in submerged rice soils. Current Science, 88:5, 735-739.
- SCHLESINGER, W. H. (2000). Biogeoquímica. Un análisis del cambio global. Editorial Ariel Ciencia. España. 577p.
- VORENHOUT, M., H. G. VAN DER GEEST, D. VAN MARUM, K. WATTEL y H. EIJSACKERS (2004). Automated and Continuous Redox Potential Measurements in Soil, J. J. Environ. Qual. 33:1562–1567.
- WHITE, W.M. (2007). Geochemistry, 701p. Capítulo 3, 61-113p. Capítulo 14, 589-644p. <http://www.imwa.info/geochemistry/> <http://www.imwa.info/geochemistry/Chapters/Chapter03.pdf>
- ZAPATA, R. (2004). Química de la acidez de los suelos. Medellín, Colombia, 208p.