

Salinos, pero ácidos: una extraña combinación en suelos del valle de Lluta en el norte de Chile

Saline, yet acidic: a quirky soil combo in the Lluta valley in northern Chile

Leonardo Figueroa^{1*}, Alexander Neaman²

RESUMEN

El valle de Lluta (Región de Arica y Parinacota, Chile) presenta un fenómeno natural muy inusual dado que los suelos son tanto salinos como ácidos. La conductividad del suelo estuvo en el rango de 1,4-16 dS/m (extracto de pasta saturada) y 0,2-2,2 dS/m (extracto 1/5 de suelo/agua). El pH del suelo se ubicó en el rango de 5,1-6,9 (agua), 4,9-6,3 (0,01 M CaCl₂) y 4,4-6,0 (1 M KCl), determinado en una relación suelo/solución de 1/2,5. Los suelos ácidos son poco comunes en regiones áridas. Su presencia en el valle de Lluta se atribuye al pH inusualmente bajo (menor de 2) del río Azufre, lo que puede estar relacionado con la actividad volcánica de la zona. La situación se ve aún más agravada por la escorrentía ácida de antiguos tranques de relave de minas de azufre.

Palabras clave: Acidez, salinidad, aridez.

ABSTRACT

The Lluta valley (Arica and Parinacota Region, Chile) is the site of a very unusual natural phenomenon where the soils in the valley are both saline and acidic. Soil conductivity was in the range of 1.4-16 dS/m (saturated paste extract) and 0.2-2.2 dS/m (1/5 soil/water extract). Soil pH was in the range of 5.1-6.9 (water), 4.9-6.3 (0.01 M CaCl₂), and 4.4-6.0 (1 M KCl) at a soil/solution ratio of 1/2.5. Acidic soils are rare in arid regions, and their occurrence in the Lluta valley is attributed to the unusually low pH (below 2) of the Azufre River, which may be related to volcanic activity in the area. The situation is further exacerbated by acidic run-off from old sulfur mine tailings.

Keywords: Acidity, salinity, aridity.

Observaciones

La distribución global de suelos salinos se limita a zonas áridas y semiáridas (Qadir *et al.*, 2000). Por otro lado, los suelos ácidos son típicos de zonas con alta precipitación (es decir, zonas húmedas). En contraste, en zonas áridas y semiáridas los suelos son neutros o alcalinos (Weil and Brady, 2017). ¿Pueden darse las condiciones para la formación de un suelo salino y, a la vez, ácido? Tales condiciones normalmente no se dan en forma natural, pero pueden ocurrir como resultado de un impacto antrópico. Si a un suelo se le aplica un ácido fuerte (por ejemplo, ácido sulfúrico), el suelo resultante será salino y ácido.

No obstante, en el valle de Lluta, en la Región de Arica y Parinacota (Figura 1), de manera

natural se dan condiciones para la formación de suelos salinos y ácidos. Específicamente, en la estrata superior (0-20 cm), la mayoría de los suelos estudiados tienen conductividad eléctrica mayor de 4 dS/m en el extracto de pasta saturada (Tabla 1) y se clasifican como salinos (US Salinity Laboratory Staff, 1954). A su vez, en la mayoría de los casos, los suelos tenían pH en el rango de 5,6-6,5 (en el extracto 1/2,5 suelo/agua) y se clasifican como ácidos (Junta de Extremadura, 1992). Un suelo se clasifica como muy ácido si tiene un pH < 5,5 (en el extracto 1/2,5 suelo/agua) (Tabla 1). En la estrata inferior (20-40 cm) los patrones fueron similares (Tabla 2).

Los valores de pH del suelo son más bajos en el extracto salino en comparación con el extracto acuoso (Sumner, 1994). Esto se debe al

¹ Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

² Departamento de Recursos Ambientales, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

* Correspondencia: lfiguero@academicos.uta.cl

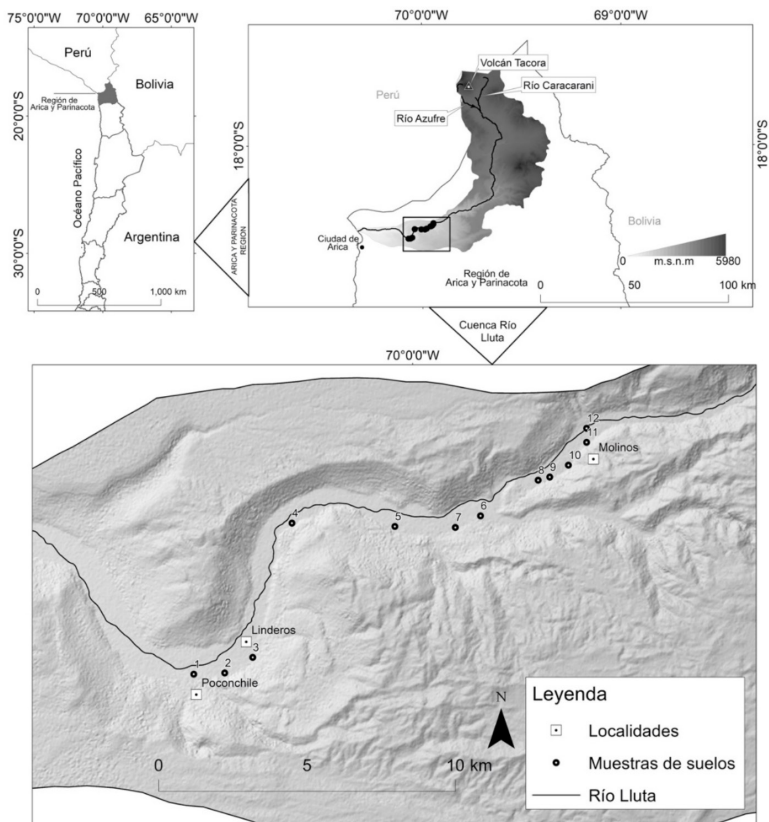


Figura 1. Localización geográfica de los suelos estudiados.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos estudiados, estrata de 0-20 cm.

Punto	pH-agua	pH-CaCl ₂	pH-KCl	CE- pasta (dS/m)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	RAS (meq/L) ^{0.5}
					(meq/L)						
1	6,1	6,0	5,6	11	40	4,2	40	19	40	59	7,4
2	6,4	6,2	5,6	6,5	25	2,2	24	10	29	32	6,1
3	5,9	5,8	5,4	13	56	3,9	47	24	50	81	9,5
4	6,3	6,2	5,7	13	49	3,6	52	23	42	80	8,0
5	6,5	6,3	6,0	7,3	23	2,7	30	13	31	28	5,0
6	6,1	6,0	5,6	13	44	4,2	50	23	41	72	7,3
7	6,1	5,8	5,4	5,0	23	1,7	15	6,4	22	20	7,1
8	5,3	5,1	4,6	8,3	29	3,2	31	13	29	41	6,1
9	5,7	5,5	5,0	5,8	19	2,3	23	10	28	25	4,6
10	6,9	6,3	5,9	1,7	7,1	0,71	4,1	1,7	5,8	7,0	4,2
11	5,8	5,7	5,3	11	41	3,0	46	22	45	63	7,0
12	5,9	5,6	5,0	2,9	10	1,5	7,6	3,2	10	12	4,4

desplazamiento de los iones de Al³⁺ por el catión de la sal usada. En este estudio, los valores de pH de suelos fueron más bajos en extractos salinos (0,01 M CaCl₂ y 1 M KCl), en comparación con el extracto acuoso (Tabla 1). Por otro lado, los

suelos analizados no son sódicos y presentan valores de la relación de absorción de sodio (RAS) menores de 13 meq/L^{0.5} (US Salinity Laboratory Staff, 1954). En la estrata inferior (20-40 cm) los patrones fueron similares (Tabla 2).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los suelos estudiados, estrata de 20-40 cm.

Punto	pH-agua	pH-CaCl ₂	pH-KCl	CE- pasta (dS/m)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	RAS (meq/L) ^{0,5}
					(meq/L)						
1	6,0	5,8	5,3	5,6	23	2,2	18	8,2	19	28	6,3
2	6,4	6,2	5,6	5,8	26	2,0	20	8,6	25	29	6,8
3	5,9	5,8	5,4	16	66	5,1	52	28	45	113	10
4	6,6	6,3	5,8	4,2	17	1,7	11	4,9	13	19	6,1
5	6,7	6,3	5,8	2,6	10	1,1	7,3	3,1	7,2	9,0	4,2
6	6,2	6,3	5,5	6,1	22	2,1	22	9,2	21	32	5,6
7	6,4	6,1	5,6	4,4	20	1,7	12	5,4	14	20	6,9
8	5,4	5,1	4,5	2,9	12	1,3	7,4	3,2	12	11	5,1
9	5,7	5,2	4,7	1,9	7,6	0,85	5,8	1,9	7,3	7,5	3,9
10	5,5	5,0	4,5	1,4	5,7	0,45	2,7	1,2	5,7	5,0	4,1
11	5,1	4,9	4,4	3,5	13	0,88	10	4,7	15	15	4,7
12	5,8	5,4	4,8	2,0	9,2	1,0	4,1	1,8	7,5	8,0	5,4

Hay una observación adicional que es importante destacar. Debido a la simplicidad de la determinación de la conductividad eléctrica en el extracto 1/5 suelo/agua, varios estudios buscan establecer una relación entre la conductividad eléctrica en dicho extracto y en el extracto de pasta saturada (Visconti *et al.*, 2010). Para los suelos analizados, dicha relación se presenta en la Figura 2. Algunos estudios (por ejemplo, Hardie and Doyle, 2012) proponen clasificar suelos como salinos si la conductividad eléctrica en el extracto 1/5 suelo/agua es superior a 0,29 dS/m (suelos arenosos), 0,37 dS/m (suelos limosos) y 0,51 dS/m (suelos arcillosos). Es necesario resaltar que la

mayoría de los suelos estudiados superan el umbral de la conductividad eléctrica de 0,51 dS/m en el extracto 1/5 suelo/agua (Figura 2).

Posibles mecanismos involucrados

¿Cómo explicar la ocurrencia de suelos ácidos en una zona árida? El mecanismo de este fenómeno tan poco común se relaciona con el pH del agua del río Azufre, el tributario del río Lluta (Figura 1). Valores del pH menores de 2,0 han sido recurrentemente medidos en el río Azufre (DGA, 2008; DGA, 2009; Guerra *et al.*, 2016). El río Azufre nace en las laderas occidentales

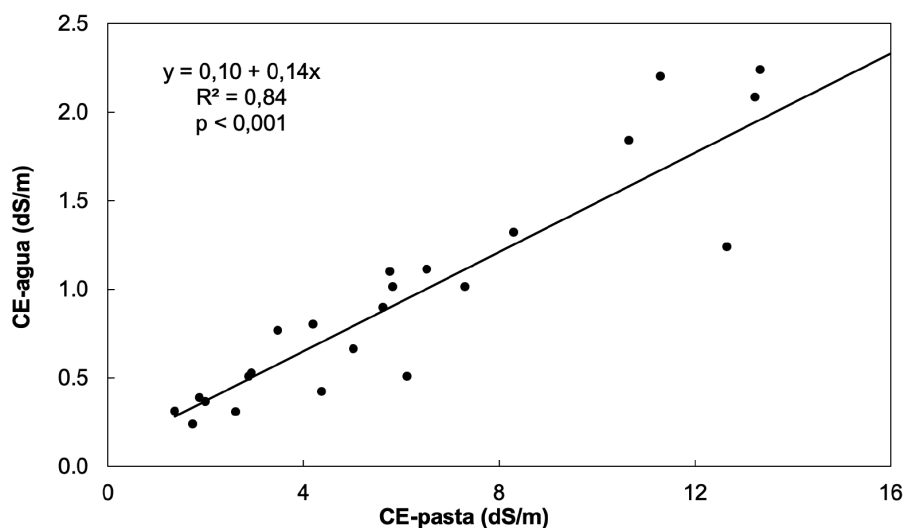


Figura 2. Relación entre la conductividad eléctrica de los suelos en el extracto de pasta de saturación (CE-pasta) y en el extracto 1/5 suelo/agua (CE-agua). Se muestran datos para ambas estratas (0-20 y 20-40 cm).

del volcán Tacora. Dicho río es alimentado por afloramientos subterráneos asociados a depósitos de sulfuros debido a la actividad volcánica (DGA, 2009). Este fenómeno explica los valores tan bajos de pH de las aguas del río Azufre.

Por otro lado, durante las primeras décadas del siglo XX, en los faldeos del volcán Tacora se establecieron minas de azufre (Angelo, 2018; Díaz Araya *et al.*, 2016). Las actividades de minería de azufre declinaron en los años 60. Es importante mencionar que valores bajos de pH de las aguas del río Azufre pueden deberse al drenaje ácido de tranques de relaves de dichas minas históricas (Guerra *et al.*, 2016; Leiva *et al.*, 2014). Para discernir entre los aportes naturales y antrópicos a la acidez de las aguas del río Azufre, es necesario determinar valores del pH de aguas río arriba de los tranques de minas históricas. En cualquiera de los casos, la acidez de las aguas del río Azufre es una explicación razonable a la acidez observada en los suelos estudiados.

Implicancias prácticas

Desde fines de los años 60 existe una desviación parcial de las aguas del río Azufre hacia unos estanques de evaporación ubicados en la pampa de Titira, con el fin de disminuir el efecto del río Azufre sobre el río Lluta (Niemeyer, 1980). Aparte de alta acidez, las aguas del río Azufre presentan

alta salinidad, con valores de conductividad eléctrica >10 dS/m.

El río Caracarani, otro tributario del río Lluta (Figura 1), tiene pH de aguas >8 y conductividad eléctrica <2 dS/m. Como resultado de la confluencia de los ríos Azufre y Caracarani, el río Lluta tiene valores intermedios de pH y conductividad eléctrica de sus aguas (DGA, 2008; DGA, 2009), los cuales permiten el desarrollo de la agricultura.

Este estudio nace en el año 2015 de la inquietud de un agricultor por los bajos rendimientos de alfalfa en su predio en la cuenca del río Lluta. Dado que la alfalfa es un cultivo sensible a la acidez del suelo (Kornelius y Ritchey, 1992), se recomendó aplicar cal al suelo. Con el aumento del pH del suelo, los rendimientos de alfalfa mejoraron. No obstante, en otros predios de la cuenca del río Lluta pueden existir actualmente condiciones de alta acidez del suelo, la cual puede limitar el rendimiento de los cultivos.

Métodos

Para análisis de suelos se usaron métodos estándar (Sadzawka *et al.*, 2006). Específicamente, para determinación del pH de suelos se realizaron extractos en relación suelo/solución 1/2,5 con agua destilada (pH-agua), 0,01 M CaCl_2 (pH- CaCl_2), 1 M KCl (pH-KCl). La determinación de la conductividad eléctrica de suelos se hizo en el extracto de pasta

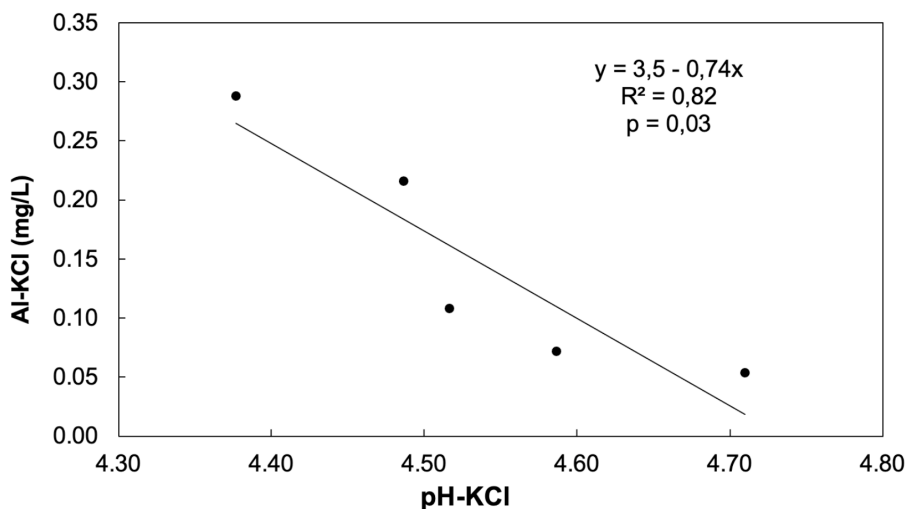


Figura 3. Relación entre la concentración de aluminio en el extracto de 1 M KCl y el pH del suelo en el mismo extracto (pH-KCl). En suelos con pH-KCl mayor de 4,8 la concentración de aluminio fue bajo el límite de detección del instrumento.

de saturación (CE-pasta) y en el extracto 1/2,5 suelo/agua. Las concentraciones de cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) fueron determinadas por espectrometría de emisión y absorción atómica. Las concentraciones de sulfato y cloruro se determinaron por turbidimetría del BaSO_4 y titulación volumétrica con AgNO_3 , respectivamente. La calidad del análisis fue asegurada comparando la suma de cationes y la de aniones. Asimismo, se verificó la aplicabilidad de la siguiente relación estimativa:

concentración de cationes/aniones (expresada en meq/L) \approx 10 x conductividad eléctrica (expresada en dS/m). Finalmente, la concentración de aluminio en el extracto de 1 M KCl fue determinada por espectrometría de absorción atómica.

Agradecimientos

Se agradece al proyecto UTA Mayor 4754-20 y a Andrei Tchourakov por la edición del inglés.

Literatura citada

- Angelo, D.
2018. Monumentalidad y paisaje en la producción de fronteras: Explorando paisajes nacionales/istas del extremo norte de Chile. *Chungará* (Arica), 50(2): 289-306.
- DGA.
2008. Evaluación preliminar de alternativas de mitigación de contaminantes en el río Lluta a partir de una caracterización de las fuentes de contaminación. Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.
- DGA.
2009. Estudio de calidad de aguas, cuenca del río Lluta. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.
- Díaz Araya, A.; Salazar Cáceres, P.; Soto Tancara, D.
2016. Los obreros del volcán. Indígenas y procesos de transición laboral en las azufreras de Tacora y Taapaca. *Estudios Atacameños*, 52: 69-89.
- Guerra, P.; González, C.; Escauriaza, C.; Pizarro, G.; Pasten, P.
2016. Incomplete Mixing in the Fate and Transport of Arsenic at a River Affected by Acid Drainage. *Water Air Soil Pollut.*
- Hardie, M.; Doyle, R.
2012. Measuring Soil Salinity. In: S. Shabala, T. Cuin (Eds.), *Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols*. Humana Press, Totowa, NJ, pp. 415-425.
- Junta de Extremadura.
1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Kornelius, E.; Ritchey, K.D.
1992. Behavior of alfafa under different soil acidity levels. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 27(2): 241-246.
- Leiva, E.D.; Ramila, C.D.P.; Vargas, I.T.; Escauriaza, C.R.; Bonilla, C.A.; Pizarro, G.E.; Regan, J.M.; Pasten, P.A.
2014. Natural attenuation process via microbial oxidation of arsenic in a high Andean watershed. *Science of the Total Environment*, 466: 490-502.
- Niemeyer, H.
1980. Hoyas hidrográficas de Chile: 1a. región de Tarapacá. Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.
- Qadir, M.; Ghafoor, A.; Murtaza, G.
2000. Amelioration strategies for saline soils: A review. *LDD*, 11(6): 501-521.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.A.; Grez, R.; Mora, M.L.; Flores, H.; Neaman, A.
2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Serie actas INIA N° 34. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile.
- Sumner, M.E.
1994. Measurement of soil pH: Problems and solutions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(7-8): 859-879.
- US Salinity Laboratory Staff.
1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook 60. US Government Printing Office. Washington, DC, US.
- Visconti, F.; de Paz, J.M.; Rubio, J.L.
2010. What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? *Geoderma*, 154(3-4): 387-397.
- Weil, R.R.; Brady, N.C.
2017. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Pearson, Harlow, UK.

