



VARIACIONES ALTITUDINALES EN IONES DE H Y AL EN EL CONTENIDO DE FE EN SUELOS DE LA SELVA AMAZÓNICA

ALTITUDINAL VARIATIONS IN H AND AL IONS INTERCHANGE ALONG WITH FE CONTENT IN AMAZONIAN RAINFOREST SOIL

Ankit Singla^{1,*}, Gabriela Bautista^{2,**}, Bence Mátyás^{3,*}, Vanessa Serrano⁴,
Juan Morales Arteaga⁴, Renato Gabriel Sánchez², Rubén Darío Bracho
Velásquez⁵, Lenin J. Ramírez-Cando⁶

¹Departamento de Agricultura y Centro Regional de Agricultura Orgánica, Cooperación y Asistencia del Agricultor, Ministerio de Agricultura & Asistencia del Productor, Gobierno de India, Odisha, India.

²Investigador independiente, Quito, Ecuador.

³Grupo de Investigación de Ciencias Ambientales G (GRICAM), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

⁴Ingeniero ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

⁵Ingeniero mecánico, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

⁶Grupo de Investigación de sustentabilidad del medio ambiente (GIADES), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

* Singla A., Bautista G. y Mátyás B. tuvieron una contribución equitativa en el trabajo.

**Autor para correspondencia: gebautista89@gmail.com

Artículo recibido el 20 de agosto de 2018. Aceptado, tras revisión, el: 24 de agosto de 2018. Publicado el 1 de septiembre de 2018.

Resumen

Los suelos varían ampliamente en la Amazonía mostrando gran diversidad, diferentes características morfológicas y propiedades físico-químicas. Las investigaciones llevadas a cabo en estas áreas ayudan al conocimiento general de los suelos nativos e inexplorados y proporcionan muestras de control para su estudio. En la literatura existen importantes investigaciones de los bosques amazónicos en un entorno heterogéneo en relación con el suelo y la topografía. En el estudio actual se recolectaron muestras de suelo de 3 profundidades, 9 localidades y altitudes diferentes en la selva amazónica; y se proporciona la visión sobre los efectos de la profundidad del suelo así como las variaciones altitudinales sobre el contenido de Fe y la acidez intercambiable (intercambio iónico H-al). Los resultados indicaron que la altitud, en comparación con la profundidad del suelo, puede desempeñar un papel importante en el contenido de Fe y la acidez intercambiable.

Palabras claves: Selva tropical, control del suelo, suelo Amazónico, variación altitudinal, ion de H, ion del Al, contenido de Fe.

Abstract

Soils vary broadly across Amazonia having a large diversity of soil types, morphological characteristics and physical-chemical soil properties. Research that examines the soil properties of these areas improve the general knowledge of native, unexplored soils and provides promising control samples for soil science. There are important investigations in the literature that examine the Amazonian forests grow in a heterogeneous environment in relation to soil and topography. In this study soil samples of 3 depths and from 9 different altitudinal locations of Amazonian rainforest were collected. The present study provides the insight about the effects of soil depth as well as altitudinal variations on Fe content and interchangeable acidity (H-Al ion interchange). This study indicated that altitude compared to soil depth can play major role in Fe content and Interchangeable acidity.

Keywords: Rainforest, Control soil, Amazonian soil, Altitudinal variation, H ion, Al ion. Fe content.

Forma sugerida de citar: Bautista, G., Mátyás, B., Singla, A., Serrano, V., Morales Arteaga, J., Sánchez, R. G., Bracho Velásquez, R. D. and Ramírez-Cando, J. L.. 2018. Variaciones altitudinales en iones de H y Al en el contenido de Fe en suelos de la selva amazónica. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 28(2):43-51. <http://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.03>.

1 Introducción

El estudio de los suelos requiere un enfoque interdisciplinario que involucre a geólogos, físicos, químicos, biólogos, entre otros (Brevik *et al.*, 2015). Sin embargo, no existe la suficiente atención a pesar que son precisamente los suelos el medio de cultivo para la alimentación, y sus propiedades se consideran indicadores de numerosos procesos naturales y artificiales (Coyago y Bonilla, 2016; Ulloa *et al.*, 2014; Yáñez y Bárcenas, 2012) y de la biodiversidad (Guevara *et al.*, 2018); como consecuencia, en la actualidad no hay suficientes investigaciones que se enfoquen en el suelo como base para la alimentación. Por lo tanto, las investigaciones llevadas a cabo para analizar los efectos del manejo orgánico del suelo versus el manejo convencional son cada vez más importantes para la agricultura sostenible (Bautista *et al.*, 2017; Mátyás, Andrade, Chida, Velasco, Morales, Montero, Cando y Acevedo, 2018; Taipei Velasco, Lizano Acevedo y Mátyás, 2018). Cabe señalar que en Ecuador se ha venido estudiando el suelo gracias a otra área de investigación como es la Astrobiología, que es la investigación que busca evidencias de moléculas relacionadas con la vida o rastros de una vida anterior en planetas remotos, y que es cada vez más importante en el país debido a sus características naturales que permiten analizar los suelos analógicos extraterrestres (Mátyás, Bautista, Szarka, Serrano, Arteaga, Loja, Yaguana, Gómez y Ramírez-Cando, 2018).

Ambas áreas de investigación requieren un análisis de suelos sin cultivos como muestras de control, especialmente la Astrobiología, ya que las muestras que tienen una actividad microbiana significativa, como en la selva amazónica, pueden ser consideradas confiables (Mátyás, Bautista, Szarka, Serrano, Arteaga, Loja, Yaguana, Gómez y Ramírez-Cando, 2018). Los suelos varían ampliamente en la Amazonía con una gran diversidad, características morfológicas y propiedades físico-químicas del suelo (Quesada *et al.*, 2010). Las investigaciones de las propiedades del suelo en estas áreas ayudan a obtener un conocimiento general de los suelos nativos e inexplorados (Quesada *et al.*, 2011). También, en la literatura existen importantes investigaciones que examinan los bosques amazónicos en un ambiente heterogéneo en relación con el suelo y la topografía (de Castilho *et al.*, 2006).

La acidificación del suelo es un proceso natural condicionado por rocas de origen natural ácido, al-

tas precipitaciones y lenta descomposición de materia orgánica, produciendo diversos ácidos orgánicos (Pavlu *et al.*, 2007). La existencia de una alta acidez cambiante en el suelo generalmente indica la ocurrencia del hidrógeno cambiante (H), aluminio cambiante (al), ion libre de Al^{3+} o compuestos Al-hidróxidos parcialmente neutralizados (Hinrich, Brian y O'Connor George, 2001). También se ha observado que la mayor parte del carbono estable en subsuelos ácidos está asociado con hidróxidos poliméricos de Fe y de Al, ferrihidrita, y con óxidos de Fe cristalinos (Mikutta *et al.*, 2006; Spielvogel, Prietzel y Kögel-Knabner, 2008).

Por lo anteriormente expuesto, se recolectaron muestras de suelo de 3 profundidades y de 9 alturas diferentes en la selva amazónica. Así, el presente estudio proporcionará los efectos de la profundidad del suelo y de las variaciones altitudinales en el contenido de Fe y el intercambio de iones H-Al. Además, se detectaron moléculas orgánicas en una de las muestras recolectadas, proporcionando valores de control para fines de investigación astrobiológica.

2 Métodos

Se colectaron un total de 27 muestras de suelo cerca de Tena (selva amazónica), Ecuador, el 15 de mayo de 2018, desde la capa superior a nueve altitudes diferentes del suelo tipo Hyperalic Alisol (Tabla 1). Se midió el pH en agua destilada y en 1m de NAF (suelo/agua, 1/2,5, w/w) de acuerdo a lo propuesto por Buzás (1988). El contenido de humedad del suelo se midió gravimétricamente, secándose a 105 °C durante 24 horas según el método Díaz-Romeu y Hunter (1982). Se detectó alofano (Tabla 1) según el método Fieldes (1986) usando 10g suelo/agua (1:2), suelo/agua +20ml 1M NAF, suelo/agua (1:2,5) +25ml 1M NAF, suelo/agua (1:2,5) +25ml 0,5 M NAF como se describe a continuación. Para la preparación de la muestra se agregaron 20ml de agua destilada a 10g de muestra de suelo y se midió el pH, luego se agregaron 20ml de fluoruro sódico (1M) a la solución y se midió de nuevo el PH. Adicionalmente, se agregaron 25ml de agua destilada a 10g de muestra y se midió de nuevo el pH. Se agregaron 25ml del fluoruro del sodio (el 1M) a la solución y finalmente se midió de nuevo el pH. Cuando el pH es mayor a 9 durante la medición sugiere que el alofano está presente debido al origen

volcánico de la muestra (Tabla 1).

El contenido de Fe se midió según el método modificado de (Blakemore, 1981) de la siguiente manera: para preparar las muestras se agregaron 50ml de oxalato amónico monohidrato (0,2 M, pH = 3) a 1g de la muestra del suelo. La mezcla se revolvió durante 4,5 horas en 150 RPMs (usando NB-101M, N-Biotek Inc, Corea). La mezcla se centrifugó a 15 min a 3500 RPM (usando Hermle Z400, Hermle AG, Alemania) para obtener el sobrenadante 12 horas después. A continuación se realizó un doble pro-

ceso de filtrado con el papel de filtro de No. 42. Para determinar la concentración de la curva de calibración (Tabla 2) se utilizó como disolvente la solución de extracción de ácido de amonio oxalato (0,2 m). Se adicionaron 2,5 g de metal de hierro en 35mL de ácido clorhídrico 1:1 y se diluyó en 1,5 L añadiendo 2500 µg/ml de Fe. Finalmente, la solución se midió usando un espectrofotómetro de absorción atómica (longitud de onda: 392 nm; anchura de la hendidura: 0,2 nanómetro).

Tabla 1. Sitios de muestreo y principales propiedades físico-químicas del suelo

ID	Latitud	Longitud	Altitud (m a.s.l.)	Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	Contenido de humedad (%)	Alofanos
1	-77.2575327	-0.9765686	386	10	5,21	39,25	No volcánico
2	-77.2575327	-0.9765686	386	20	4,87	38,15	No volcánico
3	-77.2575327	-0.9765686	386	30	4,84	39,00	No volcánico
4	-77.2575458	-0.9734722	369	10	5,23	40,06	No volcánico
5	-77.2575458	-0.9734722	369	20	5,18	39,90	No volcánico
6	-77.2575458	-0.9734722	369	30	475	39,11	No volcánico
7	-77.2537563	-0.9763018	395	10	4,79	43,69	No volcánico
8	-77.2537563	-0.9763018	395	20	4,68	39,15	No volcánico
9	-77.2537563	-0.9763018	395	30	5,08	37,87	No volcánico
10	-77.8857849	-0.9241473	911	10	5,06	55,04	Volcánico
11	-77.8857849	-0.9241473	911	20	5,15	47,02	Volcánico
12	-77.8857849	-0.9241473	911	30	5,29	43,91	Volcánico
13	-77.8839364	-0.9092520	1 006	10	5,11	54,41	Volcánico
14	-77.8839364	-0.9092520	1 006	20	5,32	46,51	Volcánico
15	-77.8839364	-0.9092520	1 006	30	5,46	42,48	Volcánico
16	-77.8908966	-0.9092071	1 181	10	5,56	54,22	Volcánico
17	-77.8908966	-0.9092071	1 181	20	5,72	52,16	Volcánico
18	-77.8908966	-0.9092071	1 181	30	5,82	51,43	Volcánico
19	-77.9082599	-0.9330021	1 444	10	5,28	64,84	Volcánico
20	-77.9082599	-0.9330021	1 444	20	5,35	60,56	Volcánico
21	-77.9082599	-0.9330021	1 444	30	5,48	58,77	Volcánico
22	-77.9283477	-0.9361859	1 564	10	5,00	70,14	Volcánico
23	-77.9283477	-0.9361859	1 564	20	5,50	64,03	Volcánico
24	-77.9283477	-0.9361859	1 564	30	5,57	61,16	Volcánico
25	-77.9361469	-0.9358267	1 800	10	5,02	61,24	Volcánico
26	-77.9361469	-0.9358267	1 800	20	5,30	63,59	Volcánico
27	-77.9361469	-0.9358267	1 800	30	5,47	58,92	Volcánico

Tabla 2. Configuración de la curva de calibración para la determinación del contenido Fe.

Nº	Concentración µg/mL	Porcentaje de concentración %
1	0	0
2	625	50
3	1250	100
4	2500	200

La acidez intercambiable se determinó según el método modificado de Salinas y García (1979) citado en Coleman y Thomas (1967); Lin y Coleman (1960); Pratt y Bair (1961) utilizando 10 ml de extracto obtenido con 1N KCl, 10 ml de agua destilada, 0,05% fenolftaleína y 0,01 n NaOH de la siguiente forma: para preparar las muestras se añadieron 25 ml de cloruro de potasio (1N) a 2,5 g de la mues-

tra de suelo. Luego se agitó (usando NB-101M, N-Biotek Inc, Corea) por 15 minutos en 60 rpm. Para filtrar la solución se usó un papel filtrante No. 42. Se agregaron 10 ml de agua destilada a 10 ml del filtrado. Luego, se adicionaron aproximadamente tres gotas de 0,05% fenolftaleína, y la solución se tituló por 0,01 n NaOH. Se usó la siguiente fórmula para calcular los resultados:

$$\text{Acidezintercambiable(mEq/100gdesuelo)} = \text{CantidaddeNaOH} \times \text{NNaOH} \times (100/\text{pesodelamuestradesuelo})$$

En donde:

La acidez intercambiable se (expresa en mEq/100g suelo),

La cantidad de NaOH es la pérdida de NaOH durante la titulación (expresada en mL),

N NaOH es la concentración de NaOH usada para la titulación (expresada en N),

El peso de la muestra del suelo es el peso de la muestra usada para las mediciones (expresada en g).

Se detectaron compuestos orgánicos en la muestra seca y fresca del suelo (ID = 10) vía HPLC (agua 1525 bomba binaria HPLC con detector de diodo de aguas 2998); espectrofotometría (espectrofotómetro Jasco V-730 y PerkinElmer Spectrum BX) y GC/MS (EVOQ Scion 436-GC, Bruker). El SDS-VAGE se realizó según Warrant et al. (2003) en el sistema ver-

tical de gel de Enduro ES. Los resultados obtenidos de la cromatografía se combinaron con Wiley NIST 2014-XI edición GC/MS. Se aceptaron identificaciones de compuestos orgánicos cuando la probabilidad del criterio de similitud fue $P > 0,9$ (Mátyás, Bautista, Szarka, Serrano, Arteaga, Loja, Yaguana, Gómez y Ramírez-Cando, 2018).

Se aplicó el modelo ANOVA para el análisis estadístico, a fin de verificar si existen diferencias en las altitudes y profundidades en los parámetros examinados. Se utilizó la prueba de Duncan como análisis *post hoc*. Para ilustrar los resultados de la concentración y de la absorbencia del Fe (ABS) en las diferentes altitudes se aplicó la fórmula de interpolación de Lagrange para la primera derivada, que resulta adecuada para examinar datos desigualmente espaciados:

$$f'(x) = f(x_{i-1}) \frac{2x - x_i - x_{i+1}}{(x_{i-1} - x_i)(x_{i-1} - x_{i+1})} + f(x_i) \frac{2x - x_{i-1} - x_{i+1}}{(x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1})} + f(x_{i+1}) \frac{2x - x_{i-1} - x_i}{(x_{i+1} - x_{i-1})(x_{i+1} - x_i)}$$

En donde:

x Es la altitud en donde se calcula el primero derivado,

x_{i-1} ; x_i ; x_{i+1} son las altitudes determinadas (El orden no es relevante),

$f(x_{i-1})$; $f(x_i)$; $f(x_{i+1})$ son las concentraciones de Fe relacionadas a las altitudes, respectivamente.

Nota: consulte el apéndice para ver el código de Visual Basic para aplicaciones (VBA).

También se aplicó un modelo de almacenamiento de datos no relacional JT (Mátyás, Bautista, Szarka, Serrano, Arteaga, Loja, Yaguana, Gómez y Ramírez-Cando, 2018; Mátyás et al., 2016a,b) en

un servidor Oracle Application Express (ORACLE, N.d.), para almacenar los datos que no han sido experimentados y los resultados evaluados

3 Resultado

La Figura 1 corresponde a la primera derivada del contenido de Fe (concentración y absorbencia) en las altitudes estudiadas. Se observa un patrón bastante lineal en las profundidades (especialmente a 10 centímetros). En las tres gráficas se evidencia que los valores de los derivados alrededor de 1 000 y 1 200 msnm son negativos o simila-

res. Se observó la concentración más alta de Fe, 222 mg/kg en 1 564 msnm a una profundidad de 20cm; mientras que la concentración más baja de Fe, 2,27 mg/kg se midió en 386 msnm a una profundi-

dad de 20cm. Se observa una clara tendencia decreciente en los valores de concentración a medida que disminuye la altitud.

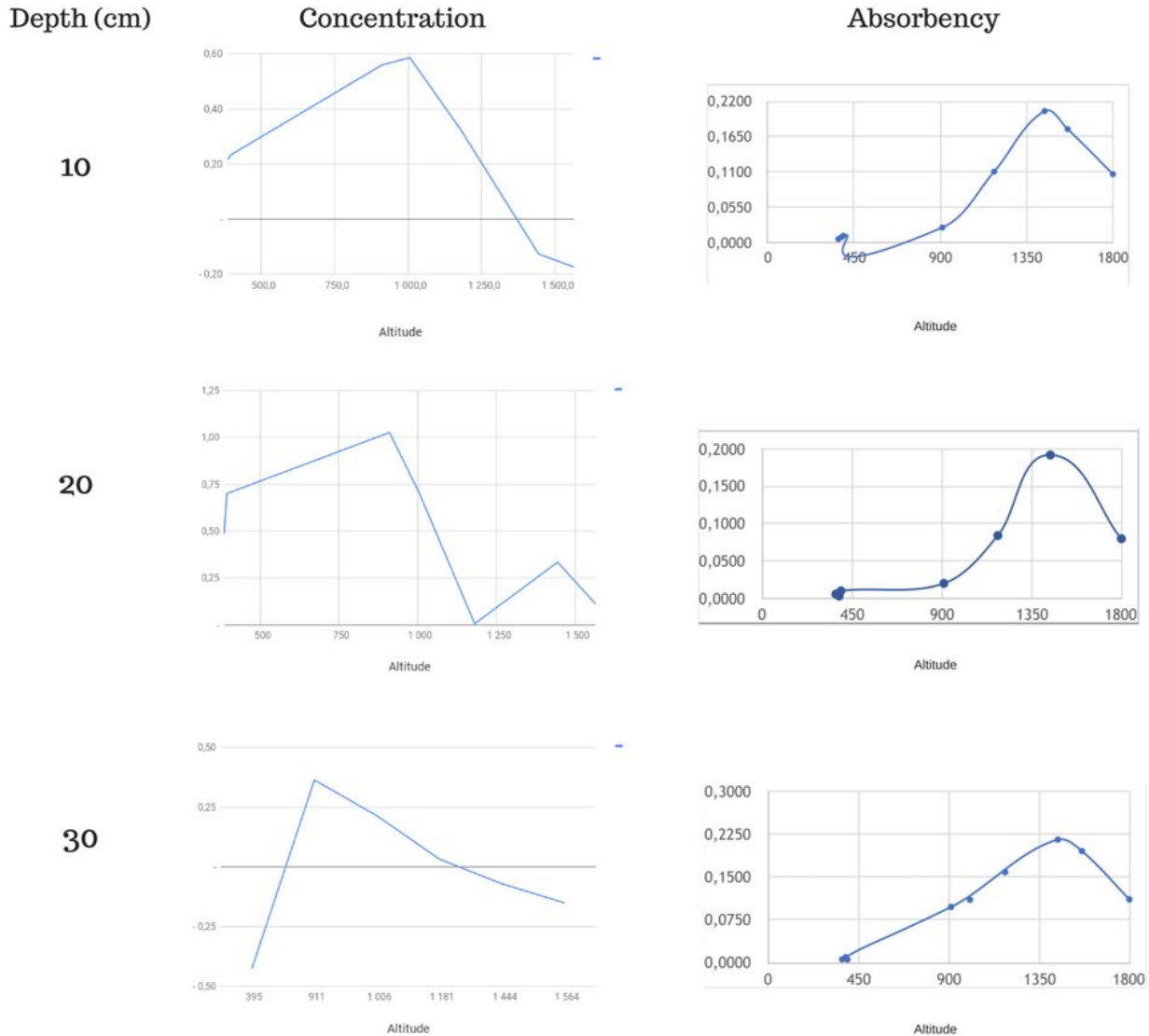


Figura 1. Concentración y absorbencia de Fe en diferentes alturas y profundidades

Los gráficos ABS de las diferentes profundidades son bastante similares y lineales. Se puede observar el punto de entrada alrededor de 1 444 msnm, donde la pendiente de la curva se vuelve negativa. El comportamiento en las tres curvas entre 400 y 1 000 msnm es bastante similar en las dos primeras gráficas, siendo bastante liso y con una curva

ascendente (hasta 1 444 m msnm). En el tercer gráfico (correspondiente a una profundidad de 30 cm) se evidencia una sección bastante lineal con una curvatura casi imperceptible.

Los resultados estadísticos demuestran que no existen diferencias significativas en la concentración de Fe y la acidez intercambiable en las diferen-

tes profundidades ($p=0.85$). Por otro lado, se pueden observar fuertes diferencias aplicando ANOVA en las altitudes ($p = 0,00005$). En la Figura 2 la prueba Duncan resume a los grupos para los parámetros evaluados con respecto a las diferentes altitudes. Es-

ta información presenta las medias y los intervalos de confianza para cualquier altitud en los ensayos. Los valores de concentración de Fe disminuyen a medida que reduce la altitud (Figura 1. A).

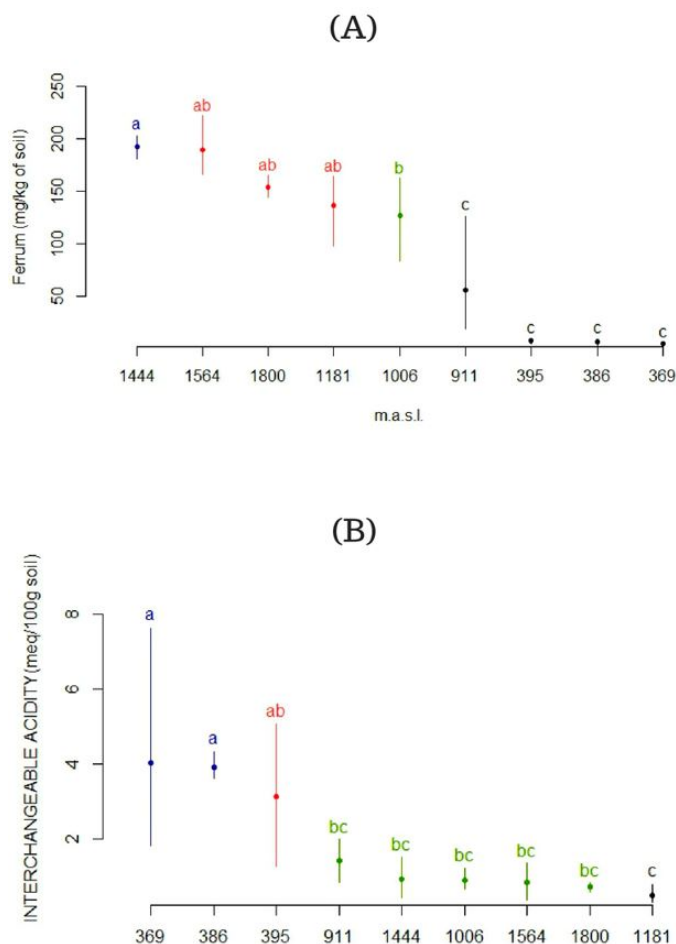


Figura 2. Diferencias en las Concentraciones de Fe y acidez intercambiable en diferentes alturas

Se detectaron alcoholes de azúcares, ácidos hidróxidos y oxoácidos usando HPLC. De igual forma, se encontró carbono (48,1%), nitrógeno (7,6%) y aminoácidos (7,9%) mediante electroforesis. Se detectó glicerol, ácido oxálico, ácido masónico, ácido glutárico, ácido glicólico, ácido 4-hydroxybenzonic y ácido 3,4-dihydroxybenzonic por GC/MS (Mát-yás, Bautista, Szarka, Serrano, Arteaga, Loja, Yagua-na, Gómez y Ramírez-Cando, 2018)).

4 Conclusiones

Se concluyó que la profundidad del suelo no afectó significativamente el contenido de Fe y la acidez intercambiable; mientras que la altitud afectó a ambos. El presente estudio indicó que la altitud, en comparación con la profundidad del suelo, puede desempeñar un papel importante en el contenido de Fe y la acidez intercambiable. Además, la alta cantidad de moléculas orgánicas que podrían ser detectadas por instrumentos analíticos sugieren que

los sitios de muestreo seleccionados pueden proporcionar muestras prometedoras para evaluar suelos analógicos extraterrestres para futuros análisis.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Información de la ayuda otorgada

Los autores indican que el proyecto fue subsidiado por la Universidad Politécnica Salesiana, y la Universidad Regional Amazónica. Código del proyecto: 091-04-2018-04-02.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Prof. Dr. Byron V. Maza R., Ph.D, jefe del proyecto "Almacenamiento de carbono en tres tipos de bosque de la región amazónica" de la Universidad Regional Amazónica por la gestión del proyecto, y por la recolección de la muestra.

Referencias

Bautista, Gabriela, Bence Mátyás, Isabel Carpio, Richard Vilches y Karina Pazmino. 2017. "Unexpected results in Chernozem soil respiration while measuring the effect of a bio-fertilizer on soil microbial activity." *F1000Research* 6.

Blakemore, LC. 1981. "Methods for chemical analysis of soils." *New Zealand soil bureau scientific report 10A*.

Brevik, EC, A Cerdá, J Mataix-Solera, L Pereg, JN Quinton, Johan Six y K Van Oost. 2015. "The interdisciplinary nature of SOIL." *Soil* 1(1):117-129.

Buzás, I. 1988. "Manual of Soil and Agrochemical Analysis." *Mezőgazdasági Kiadó. Budapest*.

Coleman, NT y GW Thomas. 1967. "The basic chemistry of soil acidity. In 'Soil Acidity and Liming'. (Eds RW Pearson and F. Adams.) pp. 1-41." *Am. Soc. Agron.: Madison, Wisc*.

Coyago, Elena y Sara Bonilla. 2016. "Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano."

de Castilho, Carolina V, William E Magnusson, R Nazaré O de Araújo, Regina CC Luizao, Flávio J Luizao, Albertina P Lima y Niro Higuchi. 2006. "Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography." *Forest ecology and management* 234(1-3):85-96.

Díaz-Romeu, R. y A. Hunter. 1982. "Técnicas de laboratorio e invernadero para determinar las enmiendas de suelo requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas." *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*.

Fieldes, M.; Perrot, K.W. 1986. "The nature of allophone in soils. Part III: Rapid field and laboratory test for allophone." *New Zealand Journal of Science* 9(3).

Guevara, María-Fernanda, Paula Salazar, Bence Mátyás y María-Eugenia Ordoñez. 2018. "Xylariales: First results of mycological exploration in the Sangay and Llanganates National Parks, Ecuador." *F1000Research*.

Hinrich, LB, LM Brian y A O'Connor George. 2001. "Soil Chemistry, John Wiley & Sons." *Inc., New York*.

Lin, Clara y NT Coleman. 1960. "The Measurement of Exchangeable Aluminum in Soils and Clays 1." *Soil Science Society of America Journal* 24(6):444-446.

Mátyás, Bence, Gabriela Bautista, Máté Szarka, Vanessa Serrano, Juan Morales Arteaga, David Loja, Stalin Gabriel Yaguana, Francisco Gómez y Lenin J Ramírez-Cando. 2018. "Decision support algorithm for the selection of analytical methods in organic compounds detection for future extraterrestrial exploratory missions." *Electrophoresis*.

Mátyás, Bence, Maritza Elizabeth Chiluisa Andrade, Nora Carmen Yandun Chida, Carina Maribel Taipe Velasco, Denisse Estefania Gavilanes Morales, Gisella Nicole Miño Montero, Lenin Javier Ramirez Cando y Ronnie Xavier Lizano Acevedo. 2018. "Comparing organic versus conventional soil management on soil respiration." *F1000Research* 7.

- Mátyás, Bence, Máté Szarka, Gábor Járvas, Gábor Kusper, István Argay y Alice Fialowski. 2016a. "A novel data storage logic in the cloud Version 2." *F1000Research* 5.
- Mátyás, Bence, Máté Szarka, Gábor Járvas, Gábor Kusper, István Argay y Alice Fialowski. 2016b. "A novel data storage logic in the cloud Version 3." *F1000Research* 5.
- Mikutta, Robert, Markus Kleber, Margaret S Torn y Reinhold Jahn. 2006. "Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance?" *Biogeochemistry* 77(1):25–56.
- ORACLE. N.d. "Build stunning, scalable apps. Fast.". Online: <https://goo.gl/oU5am4>.
- Pavlu, L, L Boruvka, A Nikodem y M. Rohoskova. 2007. "Altitude and forest type effects on soils in the Jizera Mountains region." Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Pratt, PP y FL Bair. 1961. "A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils." *Soil Science* 91(6):357–359.
- Quesada, CA, J Lloyd, M Schwarz, S Patino, TR Baker, C Czimczik, NM Fyllas, L Martinelli, GB Nardoto, Jens Schmerler *et al.* 2010. "Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis." *Biogeosciences* 7(5):1515–1541.
- Quesada, CA, John Lloyd, LO Anderson, NM Fyllas, Michael Schwarz y CI Czimczik. 2011. "Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites."
- Salinas, José G y Ramiro García. 1979. "Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas."
- Spielvogel, S, J Prietzel y I Kögel-Knabner. 2008. "Soil organic matter stabilization in acidic forest soils is preferential and soil type-specific." *European Journal of Soil Science* 59(4):674–692.
- Taipe Velasco, C. M, R. X Lizano Acevedo y B. Mátyás. 2018. "Comparative study of the environmental impact of models of conventional agricultural and agro-ecological agriculture in the agricultural phase of tomato cultivation." *F1000Research* .
- Ulloa, C, K Pazmiño, D Cárdenas y C. Arcos. 2014. "Development of water repellency in soil affected by forest fires in a metropolitan park area of the metropolitan district of Quito." *La Granja: Journal of Life Sciences*. 19. .
- Yáñez, P y M. Bárcenas. 2012. "Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector Baeza-El Chaco, Ecuador." *La Granja: Journal of Life Sciences*. 15. .

Apéndice

Fórmula de interpolación de Lagrange para la primera derivada programada en VBA:

Función pública DIFF1_LAGRANGE_ORDEN2(x, x0, x1, x2, f0, f1, f2)

Si (x0 = x1) entonces DIFF1_LAGRANGE_ORDEN2 = "Div. por 0. Verifique que los valores de las x's son todos distintos."

Si (x0 = x2) entonces DIFF1_LAGRANGE_ORDEN2 = "Div. por 0. Verifique que los valores de las x's son todos distintos."

Si (x1 = x2) entonces DIFF1_LAGRANGE_ORDEN2 = "Div. por 0. Verifique que los valores de las x's son todos distintos."

DIFF1_LAGRANGE_ORDEN2 = _

f0 * (2 * x - x1 - x2) / ((x0 - x1) * (x0 - x2)) + _

f1 * (2 * x - x0 - x2) / ((x1 - x0) * (x1 - x2)) + _

f2 * (2 * x - x0 - x1) / ((x2 - x0) * (x2 - x1))

Final de la función