

## Transformación electroquímica de un andisol en relación con la dinámica del fósforo\*

## Electrochemical transformation of an andisol in relation to the dynamics of phosphorus

## Transformação eletroquímica de um andisol em relação à dinâmica da fosforia

DARWIN FERNANDO ACOSTA<sup>1</sup>, YENNY MARITZA CAMACHO-TORRES<sup>1</sup>,  
CAMILO ANDRÉS LÓPEZ-BARÓN<sup>1</sup>, GERMÁN EDUARDO CELY-REYES<sup>2</sup>,  
PABLO ANTONIO SERRANO CELY<sup>2</sup>

### Historial del Artículo

Recibido para evaluación: 20 de Febrero 2020.

Aprobado para publicación: 6 de Mayo 2020.

\* Proyecto de investigación de origen: "Estudio de Génesis y Caracterización de suelos Tierra Negra (Ventaquemada) Boyacá". Financiación: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. Culminación: Febrero de 2019.

- 1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Posgrados, Grupo de investigación en Desarrollo y Producción Agraria Sostenible GIPSO. Ing. Agrónomo, Estudiante maestría en Ciencias Agrarias. Tunja, Colombia. ORCID: 0000-0002-6618-8777, ORCID: 0000-0001-8668-6274, ORCID: 0000-0001-5632-0562
- 2 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de investigación en Desarrollo y Producción Agraria Sostenible GIPSO. Ph.D. en Agrociencias. Tunja, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-6312-3575>, [orcid.org/0000-0002-1270-3024](https://orcid.org/0000-0002-1270-3024)

Correspondencia: [yennymaritza.camacho@uptc.edu.co](mailto:yennymaritza.camacho@uptc.edu.co)

Cómo citar este artículo: DARWIN FERNANDO ACOSTA, YENNY MARITZA CAMACHO-TORRES, CAMILO ANDRÉS LÓPEZ-BARÓN, GERMAN EDUARDO CELY-REYES, PABLO ANTONIO SERRANO CELY. Transformación electroquímica de un andisol en relación con la dinámica del fósforo. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 18(2), 2020, 94-102, DOI: [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(18\)94-102](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(18)94-102)

## RESUMEN

La mayoría de suelos empleados para la agricultura difieren en sus propiedades físicas químicas y biológicas, la participación de cada una de éstas determina la fertilidad natural que posee el suelo para el establecimiento de cultivos. Actualmente, se desconoce la importancia de entender las propiedades electroquímicas de los suelos como parámetros de fertilidad, en donde la determinación de variables como Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y puntos de Carga Cero (PCC), promoverían información valiosa para el adecuado manejo y calibración de planes de fertilidad. Uno de los parámetros fundamentales para identificar suelos de carga variable o permanente es la determinación del PCC, identificado como el valor de pH en el cual tanto cargas positivas como negativas se igualan; esta investigación evaluó el efecto diferentes dosis de cal viva sobre algunas propiedades fisicoquímicas del suelo motivo de estudio, dichas dosis fueron aplicadas a bandejas con cantidades conocidas de suelo. Según los resultados obtenidos respecto a la dinámica del fósforo se concluye que el valor de pH óptimo para la solubilidad del mismo se encuentra en un intervalo de 6,3 a 6,6, y el valor de PCC para el suelo evaluado muestra un valor de 4,67 indicando que las cargas variables predominan sobre las permanentes. Así mismo se define una CICE de 4,7 y un fósforo soluble que fluctúa de manera importante a partir de la aplicación de  $\text{CaCO}_3$  que se diferencia del fósforo disponible por que reporta su mayor nivel con la aplicación de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$ .

## ABSTRACT

Most of the soils for agriculture differ in their chemical, physical and biological properties the participation of each one of these determines the natural fertility that has the soil for the establishment of crops. The importance of understanding the electrochemical properties of soils as fertility parameters is currently unknown, where the determination of variables such as cation exchange capacity (CEC) and Point Zero (PCC) will promote the proper management and calibration of fertility plans. One of the key parameters to identify soils variable load or permanent load is the determination of the PCC, identified as the pH value in which both positive and negative charges are equal; therefore if natural state soil has a pH above the PCC will have a predominance of negative or high CIC charges, contrary to that if this same submit a pH value below to PCC generating high anion exchange capacity (CIA) or strong presence of positive charges. This research sought to transform the positive charges of organo-mineral complex to negative by limin different techniques, applied to trays with known amounts of soil. According to the results obtained regarding phosphorus dynamics, it is concluded that the optimum pH value for its solubility is in a range of 6,3 to 6,6, and the PCC value for the soil evaluated shows a value of 4 indicating that variable loads prevail over permanent ones. Likewise, a CICE of 4,7 is defined and a soluble phosphorus that fluctuates significantly from the application of  $\text{CaCO}_3$  that differs from the available phosphorus because it reports its highest level with the application of 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> of  $\text{CaCO}_3$ .

### PALABRAS CLAVE:

Punto de carga cero, Carga variable, Capacidad de intercambio catiónico.

### KEY WORDS:

Zero point load, Variable load, Cation exchange capacity.

### PALAVRAS-CHAVE:

Ponto de carga zero, Carga variável, Capacidade de troca.

## RESUMO

*A maioria dos solos utilizados para agricultura diferem em suas propriedades físico-químicas e biológicas, a participação de cada um deles determina a fertilidade natural que tem cada um deles possui para o estabelecimento de culturas. Atualmente, não se sabe a importância de que e o entendimento das propriedades eletroquímicas dos solos como parâmetros de fertilidade, onde a determinação de variáveis como Capacidade de Troca Cação (CIC) e Pontos de Carga Zero (PCC), promoveria o gerenciamento e calibração adequados de planos de fertilidade. Um dos parâmetros fundamentais para identificar solos de carga variável ou permanente é a determinação do PCC, identificado como o valor de pH no qual as cargas positivas e negativas são equalizadas; Esta pesquisa buscou transformar as cargas positivas do complexo órgão-mineral em cargas negativas por meio de diferentes técnicas de calagem, aplicadas em bandejas com quantidades conhecidas de solo. De acordo com os resultados obtidos em relação à dinâmica do fósforo, conclui-se que o valor ótimo de pH para sua solubilidade está na faixa de 6,3 a 6,6, e o valor de PCC para o solo avaliado mostra um valor de 4,67 indicando que as cargas variáveis prevalecem sobre as permanentes. Da mesma forma, é definido um CICE de 4,7 e um fósforo solúvel que flutua significativamente da aplicação de  $\text{CaCO}_3$ , que difere do fósforo disponível porque relata seu nível mais alto com a aplicação de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$ .*

## INTRODUCCIÓN

Los suelos Andisoles se caracterizan por poseer una fuerte afinidad a la retención de fosfatos debida a la alta composición de materiales amorfos y complejos órgano-minerales de aluminio (Al) y Hierro (Fe) que limitan el desarrollo vegetal [1]. Los suelos con propiedades ándicas en Colombia se encuentran ubicados en la región Andina y cubren alrededor de 4,5% del territorio nacional [2], se caracterizan por presentar un contenido de carbono menor al 25% (en peso) retención de fosfatos mayor o igual al 85% , contenido de Al y Fe mayor o igual al 2% y CIC variable [3]. Este fenómeno genera altos costos respecto a la utilización de fertilizantes fosfóricos en los diferentes sistemas de producción agrícola establecidos en el país. El fósforo es uno de los elementos primarios que más requieren las plantas; este puede limitar la producción debido a su alta reactividad, situación que le permite interactuar químicamente con la materia orgánica y la

superficie mineral de los coloides y formas activas de ciertos cationes de la solución del suelo [4].

Una de las mayores limitantes de producción en suelos andisoles es el alto contenido de arcillas amorfas y sesquióxidos de hierro y aluminio; considerados como materiales de carga variable, es decir, que tanto la capacidad de intercambio catiónico (CIC) como aniónico (CIA) están influenciadas por cambios de pH [5] y la fuerza iónica de la solución [6]. Por lo anterior, para este tipo de suelos y según sus porcentajes materiales amorfos se ha definido el punto de carga cero (PCC) como el valor de pH en el cual el complejo órgano-mineral del suelo se encuentra en equilibrio electrostático igualando cargas positivas y negativas. Los cambios por aumento o disminución respecto al pH, tomando como referencia el PCC, generan predominio de cargas negativas (valor de pH superior al PCC) y positivas (valor de pH inferior al PCC), considerando estas últimas como una de las mayores limitantes respecto a la dinámica del fósforo en este tipo de suelos, ocasionadas por la alta adsorción de fosfatos en el complejo órgano mineral [7]. Es importante tener en cuenta que dentro de la clasificación de suelos a nivel de orden son muy pocos los que presentan cargas variables destacándose suelos oxisoles, ultisoles y andisoles [8].

El aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) es el responsable en gran parte, de la retención de fosfatos en suelos ácidos a través de mecanismos de adsorción, precipitación e hidrólisis [1]; otra de las grandes limitantes respecto a la disponibilidad de fósforo es que la fracción de humus en andisoles forma fácilmente complejos con metales como el  $\text{Al}^{+3}$  y en un medio normalmente ácido los grupos hidroxilo combinados con este metal acomplejado, forman ligandos con  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{=}$  [9]. Así mismo, la acumulación de materia orgánica (M.O.) es mayor en suelos andisoles localizados a mayor altitud [10,11], debido a la baja tasa de mineralización (> 2.000 msnm); investigaciones realizadas en suelos Andisoles de Ecuador y Colombia pertenecientes al trópico alto, permiten concluir que la fijación de fósforo está estrechamente relacionada con el contenido de M.O. en el suelo, por la alta presencia de complejos humus-Al y escaso contenido de bases [2,12]

Otra de las limitantes en el manejo de suelos andisoles es que los altos porcentajes de materia orgánica poseen una elevada capacidad buffer la cual dificulta el aumento del pH por medio de la aplica-

ción enmiendas. Aún más si se tiene en cuenta que la eficiencia de un encalado está en función de otras variables como las características pedogenéticas de suelo y las condiciones climáticas de la zona [13]. A partir de esto, se considera que para aumentar el pH en una unidad en un suelo andisol es necesario incorporar entre 15 y 20 ton ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio puro transformado a materiales comerciales [14], sin embargo, es necesario tener en cuenta que esta dosis genera inestabilidad física del suelo por causa de un sobre encalado. El aporte excesivo de materiales encalantes puede provocar una retención y /o fijación de micro elementos por un desbalance iónico, o una acelerada transformación de la M.O que podría modificar la biota del suelo e insolubilizar algunos elementos [12]. Por lo tanto, es necesario realizar pruebas de incubación para determinar las dosis y materiales encalantes más eficientes para aumentar el pH del suelo, controlando que no se altere su estabilidad y tampoco se condicione la disponibilidad de los nutrientes a disposición de la planta [5].

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar diferentes dosis de cal viva sobre algunas propiedades fisicoquímicas del suelo donde se determinó el PCC en un suelo andisol de Boyacá, a partir del método de titulación salina [15], teniendo en cuenta que la incorporación de materiales encalantes contribuye y favorece el incremento de bases intercambiables permitiendo la corrección química, el incremento de pH y la disminución en el porcentaje de saturación de Al<sup>3+</sup> [13].

## MÉTODO

El desarrollo del estudio se dio en sector tierra negra del municipio de Ventaquemada, departamento de Boyacá, coordenadas N 5°26'13" y W 73°27'21", piso térmico esta entre frío y paramo con temperaturas que oscilan entre 13°C y 16°C y una altitud promedio de 2630 m.s.n.m., precipitaciones cercanas a los 2645 mm/año [16].

### Selección, muestreo y descripción del suelo estudiado

Para escoger el sitio de muestreo se realizaron visitas exploratorias realizando cajuelas de observación y pruebas de campo para determinar la presencia de materiales amorfos (test de Fieldes Perrot) a partir de antecedentes de caracterización de suelos y estudios

realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi [17] para suelos con propiedades ándicas pertenecientes a la zona de Tierra Negra, Boyacá.

A partir de la identificación de las características mencionadas, se delimitó una zona de 18 hectáreas ubicadas en inmediaciones del municipio de Ventaquemada que de acuerdo a los análisis previos y en correspondencia a información reportada por el IGAC que relaciona el contenido de carbono orgánico superior al 6% y epipedón mayor a 50 cm en paisajes de montaña y altiplanicie de climas frío y muy frío con régimen de humedad údico. Una vez determinado el sitio de muestreo, se tomaron muestras a 20 cm de profundidad, evitando la disturbación de las muestras que puedan interferir en la obtención de resultados. El total de las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC donde se realizaron los análisis fisicoquímicos correspondientes al desarrollo de esta investigación, posterior a ello se clasificó taxonómicamente a nivel de subgrupo el suelo estudiado identificándolo como un *Tipyc melanudands* según las Claves para la Taxonomía de Suelos [18].

Teniendo en cuenta las propiedades físico químicas más relevantes que poseen los suelos andisoles como Densidad Aparente (Da) cercana a 0,8 g/cm<sup>3</sup>, alto poder buffer, alta retención de fósforo, contenido de aluminio activo, baja saturación y acidez desde muy fuertemente acida en horizonte superficiales a moderadamente acida en horizontes profundos [19]. Se realiza análisis fisicoquímico del suelo con la aplicación de los siguientes procedimientos; textura calculo a partir de Bouyoucos, materia orgánica por método de titulación Walkley – Black, pH por método potenciómetro, relación suelo-agua, Ca, Na, Mg, K por absorción atómica, determinación de acidez intercambiable por método de KCl 1N y la capacidad de intercambio catiónico efectiva CICE obtenido a partir de la suma de las bases intercambiables.

### Determinación del PCC

La determinación del PCC como eje central de la investigación se llevó a cabo por medio del método de titulación salina [8,15] el cual se describe a continuación:

- Se depositaron 4 g de suelo en un frasco de 100 mL, replicándolo 6 veces.

- Luego se adicionaron 20 mL de agua desionizada y HCl o NaOH a una concentración 0,1 N, en cada uno de los seis frascos hasta obtener pH aproximados de 3, 4, 5, 6, 7 y 8, agitando constantemente. Posteriormente, cada frasco se llevó a un volumen final de 40 mL adicionando agua des ionizada.
- Después se dejó que el suelo se equilibrara durante 4 días a temperatura ambiente, agitando ocasionalmente y se midió el pH en equilibrio (pH1).
- Luego de que se equilibró el pH, se adicionó 1 mL de NaCl 2N y se agitó recíprocamente por 3 horas inmediatamente después se midió el valor del pH (pH2).
- Para cada frasco, se calculó el valor de delta de pH de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2.

$$\Delta pH = pH2 - pH1 \quad (\text{Ec. 1})$$

Se graficó  $\Delta pH$  (x) vs pH1 (y)

En la gráfica se determinó

$\Delta pH = 0$  Que correspondió al PCC. (Ec.2)

Donde PCC corresponde con el valor de pH que no varía con la concentración salina. Este procedimiento se realizó por tres veces y se utilizaron los valores promedios para realizar la gráfica.

## Pruebas de incubación

En esta fase de la investigación el suelo evaluado se sometió a pruebas de incubación en invernadero, consistente en la adición de dosis crecientes de carbonatos de calcio  $\text{CaCO}_3$  expresadas como equivalente químico (EQ) a dosis constantes de suelos [20]; teniendo como unidades experimentales bandejas en las cuales se depositaron las muestras de suelo extraídas en campo, suministrando en cada bandeja 2 kg de suelo.

Cada una de las bandejas sometidas al estudio recibió la dosis indicada de acuerdo con el tratamiento, para lo cual fue necesario realizar una mezcla homogénea del suelo y el material de encalado, teniendo en cuenta mantener una temperatura de 25°C así como el suelo a capacidad de campo. El suelo en estudio recibió dosis crecientes de dolomita calcinada (60,9%  $\text{CaO}$  + 32,2%  $\text{MgO}$ ) en equivalencia de gramos según la densidad del suelo y la definición de dosis en  $\text{Mg ha}^{-1}$ , con el fin de valorar la capacidad

del material para aumentar el pH a valores superiores al PCC. Teniendo en cuenta las alteraciones sufridas por el material a partir de su origen así como las condiciones bajo las cuales se somete al proceso de calcinación se trabaja con una dolomita comercial que garantiza mínima variación en el material.

Una vez realizados los montajes, cada unidad experimental se llevó a capacidad de campo y se sellaron manteniéndolos a una temperatura promedio de 25°C, se tomaron lecturas a los 30 días después de la incubación con el fin de evaluar la reactividad química de diferentes dosis de dolomita calcinada, en términos de lo ocurrido a las variables analizadas (pH, CICE, P soluble, P disponible y concentración de bases intercambiables).

La transformación de dosis de  $\text{CaCO}_3$  en dolomita calcinada se realizó teniendo en cuenta el equivalente químico (EQ) de la dolomita calcinada, el cual se determinó a partir de la suma de la participación porcentual de sus componentes químicos, cada uno de ellos multiplicado por el valor unitario correspondiente a  $\text{EQCaCO}_3$  de la sustancia pura [14], arrojando un valor de 170; para el equivalente granulométrico (EG) este se ajustó a 100; según los EQ y EG de la dolomita calcinada usada en el experimento donde 588 kg de dolomita calcinada equivalen a 1000 Kg de  $\text{CaCO}_3$ .

## Diseño experimental

El diseño experimental fue un completamente al azar (DCA), con tres réplicas por cada tratamiento (cuadro 1), para un total de 30 unidades experimentales. Los datos obtenidos se analizaron individualmente para ser sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, posteriormente se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) junto con una prueba de

Cuadro 1. Definición de tratamientos (pruebas de incubación).

Tratamientos	Dosis de $\text{CaCO}_3$ ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )
T <sub>1</sub>	0
T <sub>2</sub>	1,5
T <sub>3</sub>	3
T <sub>4</sub>	4,5
T <sub>5</sub>	6
T <sub>6</sub>	9
T <sub>7</sub>	12
T <sub>8</sub>	15
T <sub>9</sub>	18
T <sub>10</sub>	24

Tukey al 5% empleando el programa estadístico SAS v. 9.2e (Institute Inc., Cary, NC) para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

## RESULTADOS

A partir de las propiedades fisicoquímicas representativas de los Andisoles en comparación con las condiciones del suelo en estudio (cuadro 2) se muestra una posible intervención agrícola, dada la baja acidez intercambiable y mediana concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ , que puede obedecer a la posible incorporación de materiales con contenidos de calcio.

### Punto de Carga Cero

A partir de la aplicación del método de titulación salina y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en cada una de las réplicas desarrolladas, se encontró en el proceso de obtención de pH en equilibrio, una fuerte capacidad buffer por parte de los suelos [21] posiblemente por un alto contenido de materia orgánica presente en el suelo evaluado (18,70%).

El valor de PCC para este Andisol resulta relativamente bajo por el alto contenido de materia orgánica que con sus grupos funcionales disminuye el pH del suelo [7], que presenta una alta CIC o un posible predominio de cargas positivas con respecto a las negativas en el complejo coloidal orgánico, diferente a lo que puede suceder con materiales coloidales amorfos de origen mineral (alófana y sesquióxidos de Fe y Al) los cuales presentan valores de PCC superiores a 6,5 [22] (figura 1).

Cuadro 2: Resultados del análisis fisicoquímico del suelo.

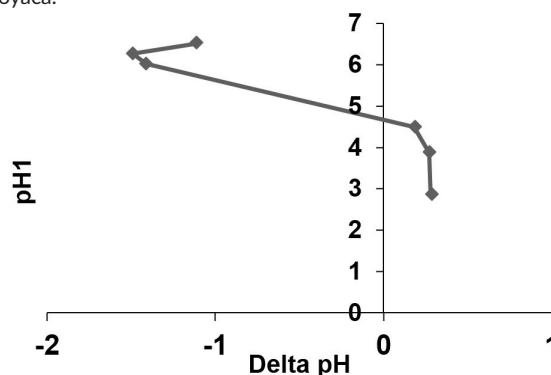
Parámetro	Resultado	Unidad
Tex	Franco Limoso 10-65-25	NA
Da	0,9	(g cm <sup>-3</sup> )
pH	5,0	NA
M.O.	18,70	(%)
P disp.	11,6	(mg kg <sup>-1</sup> )
P sol.	1,83	(mg kg <sup>-1</sup> )
A.I.	1,7	cmol kg <sup>-1</sup> suelo
Al <sup>3+</sup>	1,4	
Ca <sup>2+</sup>	2,56	
Mg <sup>2+</sup>	0,26	
K <sup>+</sup>	0,39	
Na <sup>+</sup>	0,09	
CICE	4,7	

## Curvas de Encalamiento

Los resultados de las curvas de encalamiento en términos de lo ocurrido a las variables estudiadas reflejaron una condición característica de los suelos andisoles, representada en su alta capacidad buffer la cual muestra que son necesarias del orden de 10 a 12 ton ha<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$  puro transformado a dolomita calcinada para aumentar en una unidad el pH [14] (figura 2), pero en contraste para este tipo de suelo solo se requieren del orden de 3 a 4 ton ha<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar total o parcialmente el aluminio intercambiable de Al (figura 2).

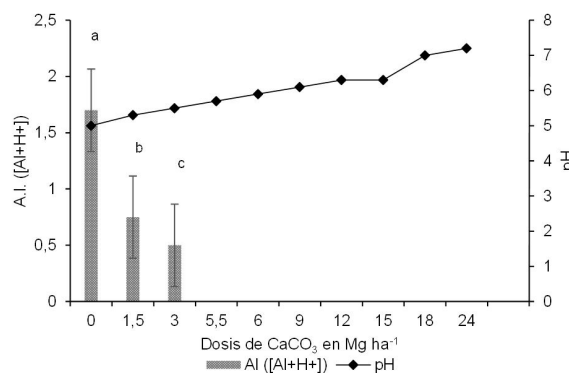
Respecto a la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se encontró un aumento significativo en función de la cantidad

Figura 1. Valor de PCC de un *Typic melanudands*, Tierra Negra, Boyacá.



El valor de PCC corresponde a 4,67 según la intersección de la curva en la recta.

Figura 2. Comportamiento del pH frente a aplicación de tratamientos en *Typic melanudands*, Tierra Negra, Boyacá.

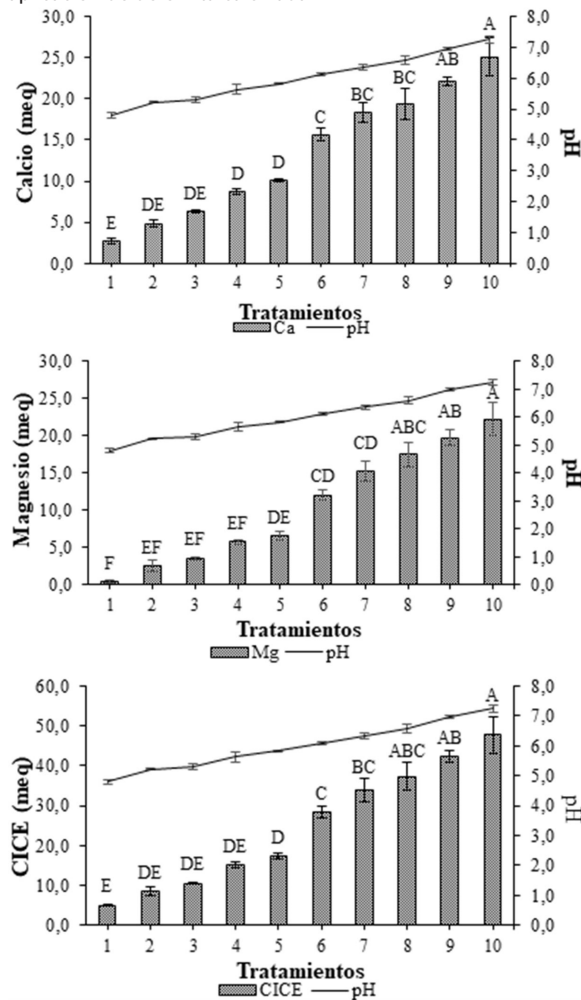


Efecto de la aplicación de dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Mg ha}^{-1}$  transformadas a dolomita calcinada en el cambio de pH, respecto neutralización de la acidez intercambiable ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ).

de dosis de Cal, lo que indica que de acuerdo a la composición se mantiene de manera coherente el aporte de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  por parte del material (figura 3 a y b).

Según los datos anteriores, la aplicación de 1 ton  $ha^{-1}$  de dolomita calcinada daría un aporte en concentración en  $meq\ 100\ g^{-1}$  para calcio y magnesio de 1,2 y 0,89 respectivamente. Situación que ocasiona un incremento de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) originada por el aumento de Ca y Mg intercambiables [14], a partir de pH superiores a 5,5.

Figura 3. Comportamiento de Ca, Mg y CICE a partir de la aplicación de dolomita calcinada



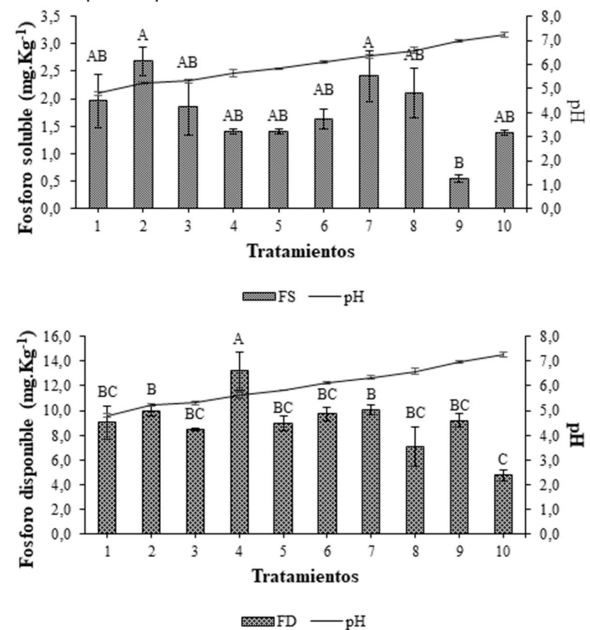
Promedios con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), barras verticales indican error estándar ( $n=3$ ).

### Dinámica del fósforo en función del P disponible y el P soluble

Según los datos obtenidos respecto a P disponible y soluble es importante referirse la dinámica del fósforo y los valores de pH que se puedan presentar en el suelo, lo que permite relacionar el aumento del pH con un fenómeno de desorción del fósforo por parte del complejo organomineral al aumentar su solubilidad [8] (Figura 4-5 a); pero el aumento en solubilidad solo se evidencia con valores de pH cercanos a 6,3 puesto que por encima de este valor la solubilidad decrece, posiblemente por los enlaces covalentes y formas precipitadas de  $Ca^{2+}$  y P (fosfatos cálcicos) [1] que se estima están relacionados con los incrementos en la concentración de  $Ca^{2+}$ . Lo anterior confirma que la concentración de óxidos de Fe y Al a pH menores de 5,5 intensifican la proporción de P adsorbido o fijado [1].

Al revisar el comportamiento del fósforo disponible se encuentran fluctuaciones del elemento hasta valores de pH cercanos a 5,6. lo que permite inferir que

Figura 4. Dinámica del fósforo soluble y disponible, en un suelo Andisol por la aplicación de dosis de dolomita.



Tratamientos con letras distintas presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), barras verticales indican error estándar ( $n=3$ ).

el P de intercambio o disponible en la fracción organomineral disminuye al incrementar los contenidos de calcio los cuales evidencian la posible formación de fosfatos calcicos en el suelo. (Figura 4, b).

## CONCLUSIONES

El PCC para el suelo evaluado muestra un valor de 4,67 indicando la presencia de un suelo de carga variable que domina sobre las cargas permanentes, y que puede estar relacionado con la presencia de un alto porcentaje de materia orgánica que ocasiona efecto buffer dentro del suelo.

La neutralización total o parcial de la acidez intercambiable para el suelo del estudio se puede lograr a partir de cantidades equivalentes a 3 y 4,5 ton ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> transformadas a dolomita calcinada.

Según los resultados obtenidos respecto a la dinámica del fósforo se concluye que el valor de pH óptimo para la solubilidad del mismo se encuentra en un intervalo de 6,3 a 6,6, rango por debajo del cual la disponibilidad del fosforo se ve comprometida.

La capacidad de intercambio catiónico CICE, mostro un incremento gradual de su concentración relacionado con el aumento de los niveles de Mg y Ca a partir de la aplicación del CaCO<sub>3</sub>.

## AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo de trabajo del Laboratorio de suelos de la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia así como casa de vidrio donde se desarrollaron los respectivos ensayos.

## REFERENCIAS

[1] BAYUELO, J., OCHOA, I., DE LA CRUZ, E. y MURAOKA, T. Efecto del uso del suelo en las formas y disponibilidad de fósforo de un Andisol de la Meseta P'urhépecha, Michoacán. *Terra Latinoamericana*, 37 (1), 2019, p. 35-44. doi: <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.367>

[2] CALLEJAS, V., CISNERO, C. y CAICEDO, L. Capacidad solubilizadora de fosfato de aluminio por hongos rizosfericos aislados de un Andisol Colombiano.

Entramado, 14 (2), 2018, p. 218-227. doi: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4745>

[3] PEREZ, N., JARAMILLO, D., RUIZ, O. y PARRA, L. Caracterización de un Andisol de la cuenca alta de la quebrada Santa Elena, Oriente Antioqueño, Colombia. *Revista de la facultad de ciencias Universidad Nacional de Colombia*, 6(1), 2017, p. 24-38. doi: [10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628](https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628)

[4] CISNEROS, C., SÁNCHEZ, M. y MENJIVAR, J. Efecto de las bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo plántulas de Café. *Agroonomía Mesoamericana*, 28(1), 2017, p. 149-158. doi: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>

[5] GUTIERREZ, N. y RESTREPO, F. Evaluación de correctivos de acidez en un Andisol cultivado con Aguacate "Hass". *Suelos Ecuatoriales, Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo*, 49(1 y 2), 2019, p. 38-44.

[6] SADEGHIAN, K.S. y ZAPATA, H.R. Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia. *Genicafé*, 63 (2), 2012, p. 79-89.

[7] CRUZ, H. y GEISSERT, K.D. Carga Eléctrica del Andosoles del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Terra V*, 18(2), 2000, p. 115-124.

[8] PORTA, J., LOPEZ-ACEVEDO, M. y POCH, R. En: *Edafología. Uso y protección de suelos*. 4 ed. Madrid (España): Ediciones Mundi-prensa, 2013, p. 608.

[9] ZHU, J., LI, M. and WHELAN, M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 612, 2018, p. 522-537. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095>

[10] ECHEVARRÍA, N., JARAMILLO, D., RUIZ, O. y PARRA, L., Caracterización de un Andisol de la cuenca alta de la quebrada Santa Elena, oriente Antioqueño Colombia. *Revista de la facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia*, 6(1), 2017, p. 24-38. doi: [10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628](https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628)

[11] ECHEVARRÍA, N., JARAMILLO, D., RUIZ, O. y PARRA, L., Caracterización óptica de la materia orgánica de un Andisol del oriente Antioqueño, Colombia. *Revista de la facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia*, 7(1), 2018, p. 40-55. doi: <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68243>

[12] DIAZ, V. y SADEGHIAN, S. Adsorción de fósforo en suelos de la zona cafetera de Colombia. *Genicafé*, 69 (2), 2018, p. 7-16.



- [13] ROSAS-PATIÑO, G., PUENTES-PARAMO, Y. y MENJIVAR-FLOREZ, J. Relación entre pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 2017, p. 529-541. doi: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num3\\_art:742](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742)
- [14] CASTRO, H. y GOMEZ, M. En: *Ciencia del Suelo Principios basicos. Fertilidad de suelos y fertilizantes*. 2 ed. Bogota (Colombia): Sociedad colombiana de la ciencia del suelo, 2013, p. 213-298.
- [15] SAKURAY, K., OHDATE, Y. and KYUMA, K. Comparison of salt titration and potentiometric titration methods for the determination of Zero Point of Charge (ZPC). *Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, p. 71-182. doi: [10.1080/00380768.1989.10434740](https://doi.org/10.1080/00380768.1989.10434740)
- [16] COLOMBIA. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR), Esquema de ordenamiento territorial Ventaquemada. Boyacá (Colombia): 2001, 35p.
- [17] COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA (DANE), INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Estudio General de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá. Bogotá (Colombia): 2005, 95 p.
- [18] DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS (USDA): Claves para la taxonomía de suelos. Decima Segunda edición. Montecillo (Estado de México): 2014, 95p.
- [19] SÁNCHEZ, J. y RUBIANO, Y. Procesos específicos de formación de Andisoles Alfíles y Ultisoles en Colombia. *Revista EIA*, 12(2), 2015, p. 85-97. doi: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.11.E2.85-97>
- [20] CASTRO, H. y GUERRERO, J. Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un Oxisol de la altillanura colombiana. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 2018, p. 14-26. doi: [10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628](https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628)
- [21] PINOCHET, T., RAMIREZ, F. y SUAREZ, D. Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica*. 65(1), 2005, p. 55-54. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000100006>
- [22] SPOSITO, G. *The Surface Chemistry of Natural Particles in Ions at the Particle Aqueous Solution Interface*. 1 ed. Oxford (Inglaterra) Oxford University Press. 2004. 35-57p.