

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Contenido mineral en suelo y pastos en rebaños bovinos lecheros de la región andina de Ecuador

Mineral content in soil and pasture in bovine dairy herds of the Andean region of Ecuador

Luis Rodrigo Balarezo Urresta¹, Juan Ramón García-Díaz², Ernesto Noval-Artiles², Hernán Benavides Rosales¹, Segundo Ramiro Mora Quilisma¹, Silvino Vargas-Hernández²

¹ Proyecto de mejoramiento de la competitividad láctea en la provincia del Carchi. Escuela de Desarrollo Integral Agropecuario, Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales Universidad Politécnica del Carchi. Calle Antisana y Av. Universitaria Tulcán, Carchi, Ecuador. CP 040102

² Departamento de Medicina veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuani Km. 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

E-mail: juanramon@uclv.edu.cu

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar el estado mineral del suelo y pasto en la región andina de Ecuador, en los períodos lluvioso y poco lluvioso, se utilizaron como casos de estudio tres fincas lecheras en la provincia El Carchi. Se determinaron los indicadores químicos del suelo y el pasto, además, se calcularon los estadísticos descriptivos y empleó un ANOVA multifactorial para determinar los factores principales que incidieron sobre ellos, comparándose las medias con las pruebas de Bonferroni y Duncan. El suelo clasificó como ligeramente ácido, el 100 % de las muestras presentó elevados niveles de materia orgánica, NH_4^+ , Mg, Cu, Zn, Fe y Mn. La finca influyó significativamente sobre el pH, Ca, Mg, K, Cu, Fe y Mg y P, y el periodo climático sobre la materia orgánica, NH_4^+ , S, Cu y P. El pasto presentó deficiencias de Mg, Zn y Na, los demás minerales estaban por encima de los límites críticos. La finca afectó los niveles de Ca, P, Mg, Na y Mn, y el periodo climático el Ca, K, Cu y Zn. Se concluye que el 100 % de las muestras de suelo presentó elevada materia orgánica, ligera acidez, bajos niveles de Ca y elevadas concentraciones de NH_4^+ , S, Mg, Cu, Zn y Mn; en el pasto se diagnosticaron deficiencias de P, Cu y Zn, y sus concentraciones difieren entre las fincas y los dos períodos climáticos de año.

Palabras clave: acidez, cobre, compuestos químicos, materia orgánica, periodo climático, suelos andisoles

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the mineral status of the soil and pasture in of the Andean Ecuadorian region, during the rainy and dry periods, three dairy farms were used as study cases investigated him three dairy farms of the El Carchi province. They determined the chemical indicators of the soil and the pasture, the descriptive statisticians were calculated themselves and It was used a multifactorial ANOVA to determine the main factors affecting them on them, comparing means with Bonferroni and Duncan test. The soil classified as acid lightly, 100 % of the samples presented elevated levels of organic matter, NH_4^+ , Mg, Cu, Zn, Fe and Mn. The farm had a significant effect on the pH, Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mg and P, and the climatic period on the organic matter, NH_4^+ ,

S, Cu and P. Pasture presented deficiencies of Mg, Zn and Na, the other minerals were above the critical limits. The farm affected the Ca, P, Mg, Na and Mn, and the climatic period the levels of Ca, K, Cu y Zn. In conclusion, 100 % soil samples presented high OM, slight acidity, low levels of Ca and high concentrations of NH_4^+ , S, Mg, Cu, Zn and Mn. In pastures, there were diagnosed deficiencies of P, Cu and Zn, and their concentrations differed among farms and the two climatic periods of the year.

Keywords: acidity, copper, chemical compounds, organic matter, climate period, andisoles soils

INTRODUCCIÓN

En las condiciones de producción bovina de la provincia El Carchi, Ecuador, predominan los sistemas de alimentación a base de pasto y altos niveles de fertilización nitrogenada (Franco, 2016).

Las deficiencias o excesos de minerales en el eje suelo-planta-animal son causadas por sus interacciones, que en el suelo son muy complejas; si su contenido o disponibilidad es baja se afecta el crecimiento de los forrajes, y contrariamente el exceso de ciertos elementos los vuelve tóxicos para los pastos o tienen un efecto antagónico sobre la absorción de otros por las plantas (Rodríguez *et al.*, 2008; Noval *et al.*, 2014).

Los minerales en el suelo tienen una interacción compleja con el pH, que controla la movilidad y el intercambio de iones, su precipitación y disolución, las reacciones de oxidación reducción, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Crespo *et al.*, 2012). También tienen fuertes interacciones con la materia orgánica (MO) del suelo; un exceso de la misma disminuye la absorción de varios minerales por las plantas (Rodríguez *et al.*, 2008).

Las deficiencias minerales del eje suelo-planta-animal guardan relación con otras propiedades químicas en el mismo y se relacionan con los problemas reproductivos de los bovinos en pastoreo (Rodríguez *et al.*, 2008; Noval *et al.*, 2014). En los agroecosistemas de la ganadería bovina de la región andina de Ecuador, no se han estudiado estos aspectos. Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar el estado mineral del suelo y pasto en la región andina de Ecuador, en los períodos lluvioso y poco lluvioso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante el periodo período lluvioso (PLL) del 2014 (de noviembre y diciembre) y el periodo poco lluvioso (PPLL)

del 2015 (desde febrero a marzo). El PLL se enmarca en los meses de septiembre a enero mientras que el PPLL entre febrero y agosto.

Se investigaron tres fincas lecheras de la parroquia Tufiño, Cantón Tulcán, Provincia el Carchi, Ecuador; representativos de la ganadería de la región, ubicada entre los $1^{\circ} 12' y 43''$ LN y los $78^{\circ} 33', 12''$ 02 LW, una altura de 2 990 a 3 450 msnm (INAMHI, 2016). Se determinó el contenido mineral en suelo (21 muestras en el el PLL y pasto (9 muestras en ambos periodos).

El suelo del área de la zona de estudio se clasifica como Andisol con 70 cm de profundidad efectiva. El relieve es ondulado con porcentaje de pendiente que fluctuó entre 10 y 20 % (Franco, 2016) el que se determinó con GPS map 60 CSx. Las precipitaciones anuales del área experimental son 1 000-1 250 mm, 700-850 mm en el PLL y 300-450 en el PPLL y la temperatura promedio fluctúa entre 6 – 11 °C, con mínimas de 2 °C y máximas de 15 °C (INAMHI, 2016).

Las tres fincas tenían niveles productivos de 15-18 L por vaca cada día, utilizaban riego de los pastos a partir de fuentes naturales (ríos) y la fertilización con urea a una dosis de 200 – 300 kg de N_2 ha^{-1} cada año. Los rebaños se sometieron a un sistema de pastoreo rotacional restringido en el tiempo, mediante cerca eléctrica, con una carga global de 2,5 UGM ha^{-1} , pastoreando 18 horas diarias.

En los rebaños se suministraba suplementación mineral por vía oral para garantizar una disponibilidad entre 100 a 150 g por animal cada día. El suplemento tiene una relación Ca : P de 2,25:1, la ideal para vacas lecheras (McDowell y Arthington 2005).

Las muestras de suelo se tomaron de acuerdo con lo descrito por Rodríguez (2008), en ambos períodos climáticos y en las fincas objeto de estudio y las determinaciones químicas se realizaron en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.

La materia orgánica del suelo se determinó según la metodología propuesta por Walkley y Black (1934), el pH mediante el método potenciométrico en mezcla suelo: agua (1:2,5). El P, S, K, Ca, Mg por espectrofotometría de llama y el Zn, Cu, Fe, Mn por espectrofotometría de absorción atómica (Miles *et al.*, 2001).

En las fincas predominan los pastos artificiales tales como el Kingston (*Lolium perenne* L.), representado por los cultivares “One fifty” y “Banquete”; pasto Orchoro (*Dactylus glomerata* L.), Trébol blanco (*Trifolium repens* L.); y los naturalizados Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L.) y Holco (*Holcus lannatus* L.).

Las muestras de pastos se colectaron entre las 9 a.m. y las 10 a.m., del estrato superior de la planta, simulando el pastoreo de los animales. Para su análisis bromatológico se enviaron al INIAP, donde se determinaron el Ca, Mg, K, P y Na por espectrometría de llama y el Cu, Fe, Zn y Mn por espectrofotometría de absorción atómica (Miles *et al.*, 2001).

Para el procesamiento estadístico se empleó el paquete estadístico *Statgraphics Centurion*

version XV. II (*Statistical Graphic Corp.*, USA). Se calcularon los estadísticos descriptivos (\bar{X} y DE) para todas las variables. Los factores principales que inciden sobre los componentes químicos del suelo y pasto se determinaron mediante un análisis de varianza multifactorial (ANOVA multifactorial), y para comparar las medias las pruebas de Bonferroni y Duncan, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características químicas del suelo en las tres fincas en estudio durante ambos períodos climáticos se observan en la Tabla 1, nótese que los niveles de MO del suelo son similares a los publicados para el valle inter andino de Ecuador, donde predominan los suelos volcánicos, profundos, con MO entre 10 y 25 % (Franco, 2016). En estos suelos se forma un horizonte que posee alto contenido de MO, muy resistente a la biodegradación y el aluminio protege la parte orgánica de los complejos aluminio-húmicos, lo que propicia

Tabla 1. Composición química del suelo de las fincas estudiadas en el cantón Tulcán, provincia El Carchi, Ecuador

Indicadores	LC	PLL (n=21)		PPLL (n =14)	
		X ± DE	MNA. % (n) ss (%)	X ± DE	MNA. % (n) (%)
MO (%)	5%*	17,38 ± 5,27	100 ↑	23,04 ± 4,09	100 ↑
pH (H ₂ O)	< 6*	5,63 ± 0,36	85,71(18) ↓	5,80 ± 0,20	78,57 (11) ↓
NH ₄ ⁺ (mg 100g ⁻¹)	60**	61,38 ± 16,63	61,9 ↑	147,14 ± 18,46	100 ↑
S (mg 100g ⁻¹)	<10***	27,33 ± 9,00	100 ↑	10,27 ± 5,37	71,4 (10) ↑
Ca (cmol kg ⁻¹)	24.5***	9,85 ± 4,66	100 ↓	13,78 ± 4,08	100 ↓
P (mg 100g ⁻¹)	15***	21,19 ± 6,59	9,52 (2) ↓	28,36 ± 8,88	100 ↑
Mg (cmol kg ⁻¹)	0,007 ***	1,30 ± 0,27	100 ↑	1,25 ± 0,29	100 ↑
K (cmol kg ⁻¹)	0.15***	0,51 ± 0,29	4,76 (1) ↓	0,54 ± 0,16	100 ↑
Cu (ppm)	0.6 ***	3,24 ± 1,11	100 ↑	6,75 ± 0,74	100 ↑
Zn (ppm)	2 ***	5,56 ± 4,57	100 ↑	7,35 ± 2,33	100 ↑
Fe (ppm)	2.5 ****	856,14 ± 529,00	100 ↑	798,0 ± 604,27	100 ↑
Mn(ppm)	5 ****	10,22 ± 4,94	100 ↑	15,95 ± 4,30	100 ↑

Leyenda: LC - Límites críticos sugestivos de deficiencias, establecidos según los siguientes autores: * Cairo y Fundora (2005), ** Alvarado *et al.* (2000), *** McDowell y Arthington (2005) ****, Período lluvioso (PLL), Período poco lluvioso (PPLL), MNA: Muestras con niveles anormales, ↑: Niveles elevados, ↓: Niveles inferior al límite crítico

la acumulación de MO en la cubierta del suelo (FAO, 2015).

Los niveles de MO encontrados en este estudio son muy superiores a 5 %, por lo que se consideran altos (Cairo y Fundora, 2005) y son superiores a lo informado por otros autores (Rodríguez *et al.*, 2008; Noval *et al.*, 2014). Según los contenidos de MO, estos suelos tienen propiedades que lo hacen ser suelos minerales (Franco, 2016).

Los suelos son ligeramente ácidos en ambos períodos. Estos resultados están en correspondencia con los obtenidos en la región andina de Ecuador, donde el pH fluctúa entre 5,5 y 7,5 (Franco, 2016), y en otro estudio desarrollado en Cuba (Noval *et al.*, 2014). Cuando el pH del suelo es menor de 5,5 limita la disponibilidad de la mayoría de los elementos minerales para la vegetación herbácea, especialmente para el P, Zn y Cu (Chicco y Godoy, 2002).

Los niveles de nitrógeno amoniacal (NH_4^+) pueden catalogarse altos en más del 60 % de las muestras de suelo en el PLL y en la totalidad de ellas en el PPLL, que indican una elevada absorción de N_2 por los pastos y permite explicar en parte los cambios en el pH.

El N_2 es el elemento que más limita el crecimiento de las plantas forrajeras, especialmente las gramíneas; tiene gran importancia en la producción de materia seca e influye en el contenido de proteína cruda digestibilidad de los pastos. Se han realizado muchos experimentos para precisar aún más la dosis óptima de aplicación de N_2 pero los resultados son muy variables y dependen entre otras cosas del tipo de suelo, periodo del año, relieve, entre otros factores (Crespo *et al.*, 2015).

El aumento de la dosis de N_2 aplicada disminuye proporcionalmente su eficiencia para producir cada unidad de biomasa, altas dosis de N_2 inmovilizan y fijan en el suelo los minerales (McDowell y Arthington, 2005).

La fertilización nitrogenada puede influir negativamente sobre algunas propiedades agroquímicas de los suelos, fundamentalmente conduce al aumento de la acidez y decrecimiento del contenido de K, P y Mn disponibles. Estos efectos pueden reducirse con la combinación del fertilizante nitrogenado con el abono orgánico, y las zeolitas naturales que mejoran la efectividad de los fertilizantes nitrogenados porque tienen alta capacidad de intercambio catiónico, afinidad y selectividad por el NH_4^+ (Crespo *et al.*, 2015).

El 100 % de las muestras de suelo en ambos períodos presentaron bajas concentraciones de Ca, esta carencia mineral es muy común en los suelos andisoles (Franco, 2016); según este autor, en estos suelos la reducción en saturación de bases por pérdida de Ca provoca su acidez. En cambio, la totalidad de las muestras presentó niveles elevados de Mg, contrastando con lo referido por el autor mencionado que plantea que la deficiencia de ese macro elemento es frecuente en este tipo de suelo.

En el PLL se diagnosticaron el 9,52 % de las muestras de suelo deficientes en P y en el PPLL la totalidad de las mismas tenían concentraciones de este mineral por encima de los límites críticos de deficiencia publicados por McDowell y Arthington (2005). Estos resultados contrastan con los obtenidos en otros estudios desarrollados en Venezuela donde se encontraron altos porcentajes de muestras deficientes en P (Borges *et al.*, 2012). Las diferencias pueden estar dadas por el tipo de suelo, su textura, fertilización y el relieve en cada estudio.

En el PLL solamente una muestra de suelo presentó concentraciones de K inferiores al límite crítico de deficiencia y ninguna en el periodo poco lluvioso, lo que puede deberse a que el ganado devuelve al suelo el 85 % del K extraído por el mismo durante el pastoreo mediante las deyecciones de los animales (Crespo *et al.*, 2012).

El Mg en la totalidad de las muestras de suelo se encontró por encima de los límites críticos en ambos períodos y el S estuvo deficiente en el 100 % de las muestras en el PLL y el 71,4 % en el PPLL, las concentraciones altas de S pueden elevar las concentraciones de este mineral en el forraje por encima del 0,40 % y condicionar la deficiencia de Cu (McDowell y Arthington, 2005).

Aunque en la zona de estudio no se reporten deficiencias de Cu, Zn, Mn, Fe; estos son poco disponibles por la planta ya que el suelo presenta alto porcentaje de MO y por tanto, elevados niveles de grupos funcionales (CO_2 , OH, C=C, COOH, SH, CO_2H) que tienen gran afinidad por los iones metálicos que forman complejos no asimilables por la planta (Basta *et al.* 2005), corroborando que el porcentaje de MO es el factor determinante en el contenido y distribución de los micronutrientes en el suelo (Rodríguez *et al.* 2008).

Las diferencias entre el PLL y PPLL en el porcentaje de muestras deficientes en el Ca, P y

K, pueden deberse a los arrastres ocasionados por las lluvias y las condiciones del relieve de las fincas en estudio, textura del suelo (Cobo *et al.* 2013) y propiedades del suelo (Zhong *et al.* 2011).

La influencia de los componentes químicos del suelo en los diferentes agroecosistemas evaluados se presenta en la Tabla 2. El pH muestra un ligero aumento durante el PPLL, sin que la diferencia sea significativa, lo que pudiera estar relacionado con la menor concentración de ion H^+ debido al menor ingreso de ácido carbónico (H_2CO_3) diluido en el agua de lluvia, y a menor generación del ion por reducción de la actividad microbiana (Zhong *et al.*, 2011).

El contenido de MO del suelo no muestra diferencias significativas entre épocas, el incremento en el PPLL sugiere una menor velocidad de su descomposición al existir menos humedad y disminución de la biota del suelo, menor cantidad de S y menor liberación de H^+ (Cairo y Fundora, 2005).

En ambos períodos, el 100 % de las muestras tuvo muy altos niveles de MO, y el pH muestra niveles de acidez. El NH_4^+ aumentó en el PPLL, lo que puede deberse al incremento del pH en este periodo y la disminución del S en la etapa de menores precipitaciones debe ser causada porque éste es un elemento de alta solubilidad lo que hace que disminuya hacia el final del PLL y el PPLL (Borges *et al.*, 2012).

El P y el Ca fueron menores significativamente durante ese periodo lluvioso, lo que puede estar motivado el arrastre que producen las lluvias en esta época. En este experimento predomina un relieve de laderas, con pendientes que pueden alcanzar hasta el 20 % (Franco, 2016), eso puede haber favorecido la movilidad, drenaje, lixiviación, y consecuentemente la disminución de estos minerales; contrastando con lo planteado por otros autores (Borges *et al.*, 2012).

Las concentraciones de Cu en el suelo fueron superiores en el PPLL, en lo que influyó el aumento de la MO en ese periodo, debido a que en estas condiciones el Cu se une a la MO, formando compuestos insolubles en el suelo (McDowell y Arthington, 2005). El pH y las concentraciones de Fe no difirieron entre períodos del año, aunque ambos indicadores tuvieron un ligero incremento en el PPLL, que reducen la disponibilidad de Cu y su absorción por las plantas lo que puede causar una deficiencia secundaria de Cu en los animales (Kalmbacher *et al.*, 2005).

Las concentraciones de Mg no se afectaron por el periodo del año, este mineral es absorbido por las partículas arcillosas y las sustancias orgánicas del suelo capaces de producir elementos de cambio. Una parte de ese Mg puede ser lavado, otra es absorbida por los microorganismos de suelo y el resto, se deposita

Tabla 2. Influencia de la finca y el periodo del año sobre la composición química del suelo de un agroecosistema en el cantón Tulcán, provincia El Carchi, Ecuador

Indicadores	Finca			Periodo	
	1(n=14)	2 (n=14)	3 (n=7)	PLL (n=21)	PPLL (n =14)
MO (%)	21,83 ± 1,08 ^a	21,06 ± 1,08 ^a	14,03 ± 1,72 ^b	17,38 ± 0,88 ^{b*}	20,57 ± 1,25 ^a
pH (H ₂ O)	5,88 ± 0,06 ^{a***}	5,71 ± 0,06 ^a	5,32 ± 0,10 ^b	5,63 ± 0,05 ^a	5,80 ± 0,07 ^a
NH ₄ ⁺ (mg 100g ⁻¹)	101,92 ± 4,71 ^a	107,92 ± 4,71 ^a	100,92 ± 7,45 ^a	61,38 ± 3, ^{84b***}	145,81 ± 5,44 ^a
S (mg 100g ⁻¹)	19,72 ± 2,12 ^a	17,55 ± 2,12 ^a	19,63 ± 3,53 ^a	27,33 ± 1,73 ^{a***}	10,61 ± 2,45 ^b
Ca (cmol kg ⁻¹)	15,35 ± 0,76 ^{a***}	10,72 ± 0,76 ^b	5,73 ± 1,20 ^c	9,85 ± 0,62 ^{b**}	11,35 ± 0,88 ^a
P (mg 100g ⁻¹)	23,88 ± 2,02 ^a	22,42 ± 2,02 ^a	28,01 ± 2,19 ^a	21,19 ± 1,64 ^{b**}	28,36 ± 2,3 ^a
Mg (cmol kg ⁻¹)	1,38 ± 0,06 ^{a*}	1,31 ± 0,06 ^b	0,95 ± 0,10 ^b	1,30 ± 0,05 ^a	1,25 ± 0,07 ^a
K (cmol kg ⁻¹)	0,52 ± 0,05 ^a	0,64 ± 0,05 ^a	0,25 ± 0,09 ^b	0,51 ± 0,04 ^a	0,43 ± 0,06 ^a
Cu (ppm)	4,46 ± 0,19 ^{b***}	4,95 ± 0,19 ^b	6,45 ± 0,30 ^a	3,24 ± 0,15 ^{b***}	6,75 ± 0,32 ^a
Zn (ppm)	6,31 ± 0,95 ^{b*}	7,95 ± 0,95 ^a	3,08 ± 1,50 ^b	5,56 ± 0,77 ^a	6,00 ± 1,10 ^a
Mn (ppm)	12,42 ± 1,11 ^{a*}	11,65 ± 1,11 ^b	18,30 ± 1,76 ^a	10,22 ± 0,91 ^{b***}	18,03 ± 1,28 ^a
Fe (ppm)	725,78 ± 102,15 ^{a*}	634,35 ± 102,15 ^b	1204,93 ± 161,51 ^a	808,52 ± 83,40 ^a	901,52 ± 117,95 ^a

^{ab} Letras diferentes en los superíndices de cada variable dentro de cada fuente de variación indican diferencias significativas (Bonferroni).

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

en forma de minerales secundarios (McDowell y Arthington, 2005).

En la Tabla 2 se aprecia también que la finca influye significativamente sobre los niveles de pH, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn y Fe en estos suelos, lo que indica que existe una amplia heterogeneidad en estos indicadores, que pueden estar dada porque los mismos varían entre áreas pequeñas y específicas como las fincas, e inclusive los potreros, asociadas al tipo de suelo y pasto existente, y la textura y el relieve del terreno (Borges *et al.*, 2012).

Las concentraciones de los componentes químicos del pasto (Tabla 3), muestran que en ambos períodos el 100 % de las muestras tenían niveles elevados de K, Fe y Zn; también se diagnosticaron deficiencias importantes de Na y Mg. En el periodo poco lluvioso se detectaron todas las muestras deficientes en cobre y el 44,4 % de ellas con bajos valores de Ca. El 100 % de las muestras fueron deficientes en Cu para el PPLL y en Zn para ambos períodos climáticos.

Los niveles de K en el pasto se encuentran por encima del límite crítico de deficiencia y no se detectaron deficiencias de P en ninguna de las muestras de pasto investigadas, lo que está en correspondencia con los niveles de este mineral y los niveles de pH en el suelo. El P se considera el segundo nutriente importante en el crecimiento de vegetales y su absorción ocurre como ion $H_2PO_4^-$, que predominan en suelos con pH entre dos y siete (Borges *et al.*, 2012).

No se diagnosticaron deficiencias de Fe en el pasto. En tal sentido, se expone que las

concentraciones de Fe son generalmente altas pero poco disponibles a las plantas, debido a la baja solubilidad de óxidos de Fe (Colombo *et al.*, 2014). La deficiencia férrica es para debido a que los forrajes generalmente poseen una cantidad adecuada de dicho mineral (McDowell y Arthington, 2005).

Existen deficiencias de Na en un elevado porcentaje de muestras de pasto y el Mg está deficiente casi la totalidad de las muestras, lo que puede estar motivado por el antagonismo que sobre el Mg tiene el K, que se encuentra elevado el suelo del área en estudio.

La finca influyó significativamente sobre el Ca, P, Mg, Na y Mn en los pastos. El periodo del año gravitó de manera significativa sobre las concentraciones de Ca, K, Cu y Zn, y sobre los niveles de P y Fe (Tabla 4), lo que puede explicarse porque existieron diferentes condiciones edafoclimáticas y tipos de pasto, que influyeron sobre la composición bromatológica del pasto (Crespo *et al.*, 2015).

El contenido mineral de los forrajes se ve afectado por diversos factores como la especie forrajera, estado fenológico, condiciones climáticas y estacionales, tipo de suelo, fertilización y presencia de elementos antagonistas (Rajkumar *et al.*, 2012), mientras que su disponibilidad biológica depende de la fuente mineral e interacciones entre los distintos elementos que componen la dieta, estos pueden limitar su absorción y predisponer a desbalances, a pesar de que su contenido en el suelo y forraje sean apropiados (McDowell y Arthington, 2005).

Tabla 3. Composición química del pasto de las fincas estudiadas en el cantón Tulcán, provincia El Carchi, Ecuador

Indicadores	LC*	PLL (n=9)		PPLL (n = 9)	
		X ± DE	MNA. % (n) (%)	X ± DE	MNA. % (n) (%)
Na (%)	< 0,06	0,10 ± 0,06	55.5 (%)↓	0,10 ± 0,09	66,6 (6) ↓
Ca (%)	< 0,30	0,37 ± 0,03	100↑	0,29 ± 0,05	44.4 (4) ↓
P (%)	< 0,25	0,35 ± 0,05	100↑	0,38 ± 0,02	100↑
Mg (%)	< 0,20	0,16 ± 0,02	88.8 (8) ↓	0,15 ± 0,01	100 ↓
K (%)	< 0,80	2,97 ± 0,41	100↑	6,05 ± 0,31	100↑
Cu (ppm)	< 10	10,74 ± 0,90	11.11 (1) ↓	4,88 ± 0,78	100 ↓
Zn (ppm)	< 30	25,70 ± 0,48	100 ↓	22,11 ± 2,80	100 ↓
Mn(ppm)	< 40	168,44 ± 58,08	100↑	187,11 ± 25,99	100↑
Fe (ppm)	< 50	288,33 ± 97,76	100↑	204,88 ± 39,27	100↑

Leyenda: PLL - periodo lluvioso, PPLL - periodo poco lluvioso, MNA - Muestra con niveles anormales, LC - Límites críticos sugestivos de deficiencias (McDowell y Arthington, 2005), ↑ - Niveles elevados, ↓ - Niveles inferior al límite crítico

Tabla 4. Influencia de la finca y el periodo del año sobre la composición química del pasto de un agroecosistema en el cantón Tulcán, provincia El Carchi, Ecuador

Indicadores	Finca			EE±	Periodo		EE±
	1 (n = 6)	2 (n = 6)	3 (n = 6)		PLL (n=9)	PPLL (n = 9)	
Ca (%)	0,37 ^{a**}	0,33 ^b	0,30 ^b	0,01	0,37 ^{a***}	0,30 ^b	0,01
P (%)	0,36 ^{b**}	0,33 ^b	0,41 ^a	0,01	0,35 ^{b*}	0,38 ^a	0,01
Mg (%)	0,15 ^{b**}	0,15 ^b	0,18 ^a	0,005	0,16 ^a	0,15 ^a	0,004
Na (%)	0,06 ^{b**}	0,05 ^b	0,21 ^a	0,02	0,11 ^a	0,10 ^a	0,01
K (%)	4,76 ^a	4,46 ^a	4,31 ^a	0,13	2,97 ^{b***}	6,05 ^a	0,11
Cu (ppm)	7,80 ^a	7,48 ^a	8,16 ^a	0,34	10,74 ^{a***}	4,88 ^b	0,28
Zn (ppm)	23,43 ^a	23,16 ^a	25,11 ^a	0,78	25,70 ^{***}	22,11 ^b	0,63
Mn(ppm)	148,83 ^b	169,5 ^b	215,00 ^a	14,90	168,44 ^a	187,11 ^a	12,16
Fe (ppm)	256,50 ^a	218,16 ^a	296,83 ^a	38,23	288,33 ^{a*}	204,88 ^b	31,22

^{ab} Letras diferentes en los superíndices de cada variable dentro de cada factor o fuente de variación indican diferencias significativas (Duncan), * p< 0,05 ** p< 0,01 *** p< 0,001

La disponibilidad de minerales traza es afectada por la actividad microbiológica presente en la rizosfera, que puede producir quelatos para liberar nutrientes esenciales que mejoran la disponibilidad y movilidad de los minerales traza en el suelo (Rajkumar *et al.*, 2012). No existe información concluyente sobre estos procesos pero es considerado que las plantas y los microorganismos asociados pueden exudar compuestos capaces de mejorar o reducir la movilidad de los microminerales (Donner *et al.*, 2012).

Existen deficiencias de Cu y Zn en el pasto, aunque estas no están presentes en el suelo pueden deberse a los elevados niveles de MO, con la cual estos microelementos forman compuestos insolubles que no se absorben por las plantas (Mcdowell y Arthington, 2005). Además, el incremento de la MO produce grupos funcionales (CO₂, OH, C=C, COOH, SH, CO₂H) que se complejan con estos minerales y no se absorben por los pastos (Basta *et al.* 2005).

También influye en las deficiencias de Cu y Zn, el PH del suelo, que se clasifica como ligeramente ácido y en estas condiciones son pobremente absorbidos por la planta (Borges *et al.*, 2012). Además, en el PPLL aumentaron el pH y los niveles de Fe, que reducen la disponibilidad de Cu y su absorción por las plantas (Kalmbacher *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

El 100 % de las muestras de suelo presentó elevados niveles de MO, NH₄⁺, S, Mg, Cu, Zn y Mn ligera acidez, bajas concentraciones de Ca. Sobre estos parámetros existe una influencia de la finca y el periodo del año.

En el pasto se diagnosticaron deficiencias de P, Cu y Zn. Las concentraciones de estos minerales difieren entre los dos periodos climáticos de año.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, S., CÓRDOVA, J. y LÓPEZ, M. 2000. Metodologías de Análisis Físico Químico de Suelos, Aguas y Foliares. 3ra Aproximación. Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. INIAP. Quito, Ecuador.
- BASTA, N.T., RYAN, J.A., and CHANEY, R. L. 2005. Trace Element Chemistry in Residual Treated Soil, Key Concepts and Metal Bioavailability. *J. Environ. Qual.*, 34: 49-63.
- BORGES, J.A., BARRIOS, M., SANDOVAL, E., BASTARDO, Y. y MÁRQUEZ, O. 2012. Características físico-químicas del suelo y su relación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado de Yaracuy. *Bioagro*, 24 (2): 121-126.

- CAIRO, C.P. y FUNDORA, H.O. 2005. Edafología. Primera Parte. Editorial —Félix Varela. La Habana, Cuba: 265. ISBN: 959-13-0209-6. 265p.
- CHICCO, C.F. y GODOY, S. 2002. Nutrición mineral de los bovinos de carne en Venezuela. En: XVIII Curso sobre Bovinos de Carne. (R. Romero, J. Arango, J. Salomón Eds.) Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 135p.
- COBO, Y., ANGARICA, B. A., MARTÍN, G. G., VILLAZÓN, G. J. y SERRANO, G. A. 2013. Disponibilidad de Cobre, Zinc y Manganeso en suelos de importancia agrícola. *Revista Granma Ciencia*, 17 (2). Disponible en: http://www.grciencia.granma.inf.cu/vol%2017/2/2013_17_n2.a8. Consultado 20 de marzo de 2017.
- COLOMBO, C., PALUMBO, G., ZHENG, H. J., PINTO, R. and CESCO, S. 2014. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants and microbes. *Journal of Soils and Sediments*, 14: 538-548.
- CRESPO, G., RODRÍGUEZ, I. y LOK, S. 2015. Contribución al estudio de la fertilidad del suelo y su relación con la producción de pastos y forrajes. *Rev. Cubana Cienc. Agric.*, 49 (2): 211-219.
- CRESPO, G., ORTIZ, J., PÉREZ, A. A. y FRAGA, S. 2012. Tasas de acumulación, descomposición y NPK liberados por la hojarasca de leguminosas perennes. *Rev. Cubana Cienc. Agric.*, 35: 39-47.
- DONNER, E., McLAUGHLIN, M. J., HODSON, M. E., HEEMSBERGEN, D., WARNE, M. S., NORTCLIFF, S. and BROOS, K. 2012. Ageing of zinc in highly-weathered iron-rich soils. *Plant Soil*, 361: 83–95.
- FAO. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources, Reports No.106, Rome, Italy. ISBN 978-92-5-108369-7.
- FRANCO, W. 2016. Suelos Volcánicos y Riesgos y Oportunidades del Desarrollo Agrícola Sostenible en el Cantón Huaca del Carchi, Ecuador. In: Memorias 1er Congreso Internacional Alternativas para el desarrollo de la provincia del Carchi. Facultad FCIIAEE–Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), Tulcán, Ecuador. En sitio Web: <https://www.researchgate.net/publication/303496805> consultado el 19 de abril de 2017.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía). 2016. Datos meteorológicos de la estación meteorológica de Chalpatan, Carchi, Ecuador. En sitio Web: <http://www.inamhi.gob.ec> consultado el 7 de marzo de 2017.
- KALMBACHER, R. S., EZENWA, E. V., ARTHINGTON, J. D. and MARTIN, F. G. 2005. Sulfur fertilization of bahiagrass with varying levels of nitrogen fertilization on a Florida Spodosol. *Agron. J.*, 97: 661-667.
- McDOWELL, L. R. y ARTHINGTON, J. D. 2005. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Cuarta Edición. Universidad de La Florida. IFAS. EEUU. 91p.
- MILES, P. H., WILKINSON, N. S. and McDOWELL, L. R. 2001. Analysis of Minerals for Animal Nutrition Research. 3rd ed. Dept. Anim. Sci., Univ. Florida, Gainesville. 117 p.
- NOVAL, E., GARCÍA-DÍAZ, J. R., GARCÍA-LÓPEZ, R., QUIÑONES, R. y MOLLINEDA, A. 2014. Caracterización de algunos componentes químicos, en suelos de diferentes agroecosistemas ganaderos. *Centro Agrícola*, 41(1): 25-31.
- RAJKUMAR, M., SANDHYA, S., PRASAD, M. N. and FREITAS, H. 2012. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnol Adv.*, 30: 1562–1574.
- RODRÍGUEZ, I., CRESPO, G., TORRES, V., CALERO, B., MORALES, A., OTERO, L. (*et al.*) 2008. Evaluación integral del complejo suelo-planta-animal en una unidad lechera con silvopastoreo en la provincia La Habana, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42: 403-410.

WALKLEY, A. and BLACK, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid filtration method. *Soil Sci.*, 37: 29-38.

ZHONG, X. L., ZHOU, S. L., ZHU, Q. and ZHAO, Q. G. 2011. Fraction distribution and bioavailability of soil heavy metals in the Yangtze River Delta-A case study of Kunshan City in Jiangsu Province, China. *J Hazard Mater*, 198: 13-21.

Recibido el 26 de abril de 2017 y aceptado el 26 de mayo de 2017