

USO PECUARIO INTENSIVO, PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y SOSTENIBILIDAD EN LOS ANDES AL NORTE DEL ECUADOR

WILFREDO RAMIRO FRANCO^{1,2*}; CARLOS LUIS CATUCUAGO³; WILLIN GABRIEL ALVAREZ¹; KASSANDRA DEL ROCIO BAZANTES¹

Recibido: 04/05/2020

Recibido con revisiones: 17/11/2020

Aceptado: 20/11/2020

RESUMEN

El estudio se realizó en 35 fincas de la Sierra ecuatoriana, parroquia Tupigachi, Pichincha, a 3000 msnm bajo clima Mesotérmico Semi-húmedo. El pastizal, de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), ryegrass (*Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*) y trébol (*Trifolium repens*), crece en Molisoles de prolongado uso agrícola (preincaico), derivado de cenizas volcánicas, sin fertilización mineral, dependiendo del reciclaje de nutrientes proveniente de la excreción animal. Se analizó el impacto del uso pecuario intensivo entre 2008-2017 sobre algunas propiedades químicas del suelo, repitiendo los análisis de suelos en ambos años bajo procedimientos standard de laboratorio y en base al diagnóstico se formulan recomendaciones para mejorar el sistema agrícola. El pH (de 6,1 a 6,5), K y Na (250%) y S (420%) se incrementaron significativamente, mientras Ca, Mg y micronutrientes no presentaron diferencias significativas en el periodo evaluado. Los contenidos de MOS, N, P y S se mantuvieron muy bajos para las condiciones edafoclimáticas locales. Las reservas en el suelo de N total y P extractable fueron de 5,2 Mg/ha y 8,3 kg.ha⁻¹, respectivamente, equivalente a cerca de 11 veces el aporte anual estimado de 413,2 N y a 10% del aporte de 83,7 P kg.ha⁻¹ en excretas orina. Para mejorar la sostenibilidad del sistema productivo, reduciendo riesgos de impacto ambiental, sugerimos establecer un sistema silvopastoril (SSP), semiestabular el ganado y compostar las excretas, incrementar el cultivo de avena, maíz y cebada forrajera para optimizar la dieta del ganado y aplicar biofertilizantes al pastizal en base a hongos micorrízicos y bacterias nitrificantes.

Palabras clave: suelos volcánicos, dinámica de N y P, impacto de la ganadería en Molisoles.

INTENSIVE LIVESTOCK USE, SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND SUSTAINABILITY IN THE ECUADORIAN NORTHERN ANDES

ABSTRACT

The study was carried out in 35 farms in the Ecuadorian Sierra, Tupigachi parish, Pichincha, at 3000 masl under Semi-humid Mesothermal climate. The grassland, of kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), ryegrass (*Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*) and clover (*Trifolium repens*), grows on Mollisols of long term agricultural use (pre-Inca), derived

¹ Universidad Regional Amazonica Ikiam, Ecuador

² Universidad de Los Andes (ULA), Merida, Venezuela (profesor emerito)

³ Alcaldía del Municipio Pedro Moncayo, Pichincha. Estudiante de maestría. Instituto de Posgrado, Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador.

* Autor de contacto: wilfredo.franco@ikiam.edu.ec



from volcanic ash, without mineral fertilization, depending on the recycling of nutrients from animal excretion. The impact of intensive livestock between 2008-2017 on the chemical properties of the soil was analyzed, repeating soil analyzes in both years following standard laboratory procedures, and based on the diagnosis, recommendations are made to improve the agricultural system. The pH from 6.1 to 6.5), K and Na (250%) and S (420%) increased significantly ($p \leq 0.01$), while Ca, Mg and micronutrients did not present significant differences in the evaluated period, and MOS, N, P and S contents were kept very low for local edaphoclimatic conditions. Total N and extractable P reserves in the soil was calculated at $5.2 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ and $8,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively, equivalent to about 11 times the estimated annual contribution of 413,2N and 10% of the contribution of 83,7P $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in excreta + urine. To improve the sustainability of the production system, and reducing risks of environmental impact, we suggest establishing a silvopastoral system (SSP), semi-stabulate the cattle and compost the excreta, increase the cultivation of oats, maize and forage barley to optimize the diet of the cattle and apply biofertilizers to the pasture based on mycorrhizal fungi and nitrifying bacteria.

Keywords: volcanic soils, N and P dynamics, livestock impact on Mollisols

INTRODUCCIÓN

Ecuador dispone de 2,4 millones de ha de pastos cultivados y más de 700.000 ha de pastos naturales (58% del área agropecuaria del país) (INE, 2020). La ganadería de leche se desarrolla en la Sierra, especialmente entre 2500 y 3200 m de altitud, donde está contaminando las nacientes de aguas con nitratos, fosfatos y microorganismos, haciendo más difícil y costoso el abastecimiento de agua a la población y sistemas de riego (Crissman *et al.*, 2002) y, además, genera óxido nitroso, dióxido de nitrógeno y amoníaco, gases de efecto invernadero (GEI) (Salcedo & Villa, 2015; IDEAM, 2015). El bovino lechero tiene una baja eficiencia en el uso de nitrógeno (N) y fósforo (P), debido a la incapacidad del rumen de procesar proteínas en exceso, y solo de 25 a 30% del N es incorporado en la leche, siendo excretado hasta 60-70% y 50-80% del N y P ingeridos, respectivamente (Figuroa, 2009; Salcedo, 2006; Wu *et al.*, 2001a). El 38 % del N en excretas y el 76 % en orina está en forma de urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

+ amoníaco (NH_3), el cual se volatiliza fácilmente (Follet, 2008). Mora *et al.* (2017) demostraron en Colombia la influencia de la ganadería en las propiedades químicas del suelo, especialmente en el nivel de disponibilidad de macro y micronutrientes, particularmente N, P y potasio (K), así como en la liberación de carbono de los depósitos de materia orgánica en el suelo superficial. Por otra parte, la fertilización mineral de los pastizales aumenta los costos de producción y tiene consecuencias en la calidad proteica de la leche y en los contenidos de N y P evacuados a través de las excretas y la orina.

En Ecuador, la ganadería lechera se expandió fuertemente desde los años 70's con la reforma agraria y la introducción de las razas Holstein y Jersey, desplazando a la papa y otros cultivos y afectando remanentes de selva nublada y páramo (López, 2004; Franco, 2016). Como resultado, el sector ganadero está considerado como una de las principales fuentes de GEI, de contaminación del agua y del suelo y, además, de pérdida de biodiversidad (Salcedo, 2006; MAE & PNUD, 2015; Loyon, 2018).



La productividad se mantiene por debajo de 10 $\text{Lvaca}^{-1}\text{día}^{-1}$, pese a que el pasto kikuyo genera 10 a 30 $\text{Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de materia seca, con 16-25% de proteína cruda, posibilitando 15 $\text{Lvaca}^{-1}\text{día}^{-1}$ (Peters *et al.*, 2010). Ello pudiera relacionarse en el área de estudio con la degradación de los suelos causada por una larga tradición de uso, con evidencias arqueológicas de los Caranqui (años 700-1500 DC) e históricas de la época colonial (Becker & Tuttilo, 2009; Basantes, 2016).

Por otra parte, la producción de leche sustenta la economía de centenares de miles de pequeños productores y demás actores de la cadena de valor de la industria láctea, por lo que es necesario hacer esfuerzos por fortalecer la sostenibilidad ambiental y económica de las fincas (Kromann & Cuasapaz, 2017; INEC, 2018). En ese contexto, la presente investigación se focalizó en las propiedades químicas de suelos agrícolas transformados en pastizales, a fin de evaluar el impacto y las tendencias generadas en los parámetros químicos; y, sobre esa base, proponer alternativas para la transformación del agroecosistema buscando aumentar la productividad, con el menor uso posible de alimentos balanceados y fertilización química.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en las fincas de AAPEDESPA, Asociación Agropecuaria de San Pablito. Parroquia Tupigachi, Cantón Pedro Moncayo, Provincia de Pichincha, Ecuador (**Figura 1**), a una altitud de 2.850-3.050 msnm

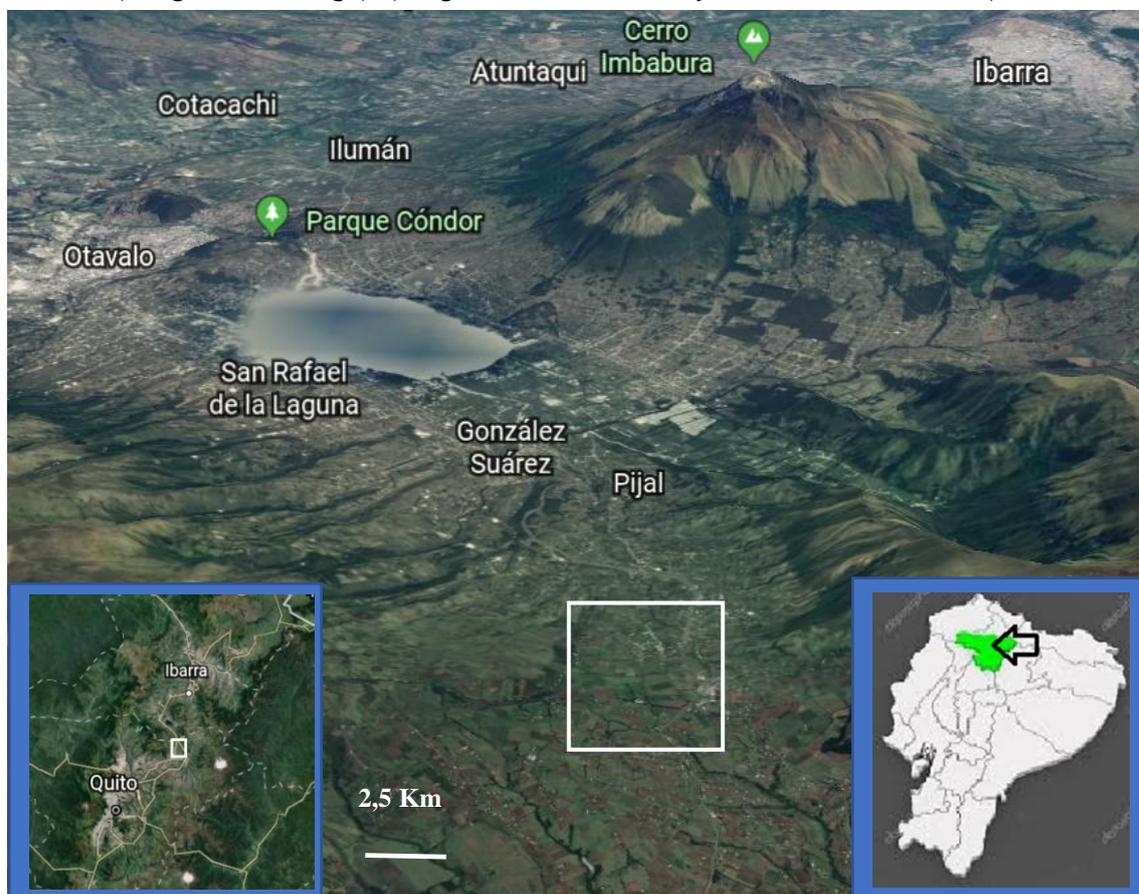
bajo clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo (Pourrut, 1995), en Bosque Seco Montano (Cañadas, 1983), con un periodo seco de 4 meses (junio-septiembre). La casi totalidad de las 4.315 ha de suelos de origen volcánico de la parroquia están bajo uso agropecuario, en terreno ondulado con pendientes dominantes de 10-25%. La asociación dispuso de riego a partir de 2005, con lo cual la producción agrícola de temporada de lluvias (maíz, trigo y papa) dio paso a la ganadería de leche, que utiliza mezclas forrajeras de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), ryegrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) sin aplicación de agroquímicos. Son pequeñas propiedades de 1 a 3 ha de superficie, siendo común el sobrepastoreo y la ausencia de buenas prácticas agropecuarias (Cruz, 2015).

Los suelos de la parroquia, descritos como Molisoles y Andisoles (Typic Argiudolls, Typic Hapludolls y Humic Durustand) (MDN *et al.*, 2013), están conformados por 40-60 cm de un horizonte A1, franco arenoso fino a franco, derivado de cenizas volcánicas recientes, sobre un grueso estrato de cangahua (cenizas volcánicas pleistocénicas endurecidas por óxidos de silicio y carbonatos), que aflora en sectores erosionados. El área productiva de la asociación es de 94 ha, de las cuales 74 son destinadas a la ganadería de leche. La carga animal promedio es de 3,1 unidades bovinas adultas (UBA) con un peso promedio de 450 Kg y una producción media de leche de 10 $\text{Lvaca}^{-1}\text{día}^{-1}$, recibiendo 1 a 1,5 kg día^{-1} de concentrado (16% de proteína cruda - PC) durante el ordeño.



Figura 1: Área de estudio Tupigache (marco blanco), en un valle de Tefras cercano a los volcanes Imbabura (4630 m) al N y Cayambe (5790 m) al E (fuera de la imagen), en la provincia de Pichincha, Sierra de Ecuador (Google Earth image). (Longitud 78° 10' 58'' O y Latitud 00° 05' 59'' N)

Figure 1: Tupigache study area (white frame), in Tefras valley near the volcanoes Imbabura (4630 m) to the N, and Cayambe (5790 m) to the E (outside the image), in the Pichincha province, Sierra de Ecuador (Google Earth image). (Longitud 78° 10' 58'' O y Latitud 00° 05' 59'' N)



Análisis de Suelos

La cubierta edáfica, al ser derivada de cenizas volcánicas es muy homogénea, sin embargo, el laboreo y la erosión han generado diferencias en el espesor del horizonte A1, que varía de 35 a 50 cm. El muestreo de suelos se realizó en las 35 fincas de la asociación en 2008, cuando el uso pecuario ya estaba consolidado, y se repitió en 2017, en ambos casos en noviembre. Se tomaron muestras bajo la malla de raicillas del pasto, de 5 a 30 cm de profundidad, procedentes de aproximadamente los mismos 10 sitios de

muestreo por finca, las cuales fueron mezcladas en una muestra única, siguiendo la metodología propuesta por INIAP (2006). Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) de Cayambe (Pichincha) siguiendo los acuerdos de la Red Ecuatoriana de Laboratorios de Suelo - RELASE (2015). Se obtuvieron los valores de pH y conductividad eléctrica (CE) mediante conductímetro eléctrico (en mezcla suelo/agua 1:5), capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico (C), N total, P extraíble, y las formas intercambiables de K, calcio (Ca), Mg,

sodio (Na), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (Bo) y azufre (S); además, textura (Bouyoucos) y densidad aparente (cilindros). El C se determinó por Walkley & Black (1947) y, a partir de este valor se calculó la MOS y el N como 5% de la MOS (existe una alta correlación entre C determinado por Walkley & Black y N total por micro-Kjeldahl en los suelos de la región: Laboratorio de Suelos UPS, *com. pers.*); el P fue determinado por Olsen modificado (Olsen *et al.*, 1954, RELASE, 2015), S por colorimetría, método turbidimétrico y B por colorimetría, método APHA (1992); finalmente, luego de extracción de cationes intercambiables por DTPA, se determinó K por fotometría de flama y Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu y Zn por espectro-fotometría de absorción atómica (ICE 3000 Series AA Spektrometer). Los valores encontrados fueron calificados siguiendo las tablas de Molina y Meléndez (2002).

Procesamiento de los Datos

El procesamiento de los resultados se realizó mediante el programa R (The Comprehensive R Archive, 2019). Se calcularon los parámetros estadísticos básicos y se prosiguió con la comparación entre los valores de las variables de ambos años, para lo cual se previó, para el caso de variables con distribución normal, el cálculo de: i) p para el estadístico de contraste de normalidad Shapiro-Wilk obtenido de R, ii) la media y coeficiente de variación de las variables en 2008 y 2017, y iii) el valor p para el contraste de medias usando la t de Students para muestras apareadas (2008-2017); y, para el caso

de variables sin distribución normal, se procedió con la prueba no paramétrica de Wilcoxon para la comparación de medianas para datos apareados (2008-2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las variables químicas del suelo

La **tabla 1** muestra la media y el coeficiente de variación de las variables químicas de los suelos de las 35 fincas. En ambos años, los niveles de pH encontrados son óptimos; sin embargo, el contenido de MOS (y el estimado de N) es bajo, al igual que el de P y S. Entre las bases, K y Na mostraron incrementos significativos desde 2008 a 2017 ($p \leq 0,01$) alcanzando un nivel medio a muy alto, mientras Ca y Mg mantuvieron un constante nivel óptimo. Entre los micronutrientes, Fe presenta un valor alto, Cu y Zn óptimo, Mn medio y B muy bajo. Todas las variables analizadas presentaron rangos de CV habituales (Carter & Gregorich, 2006), y todas un mayor CV en 2017, con excepción de Mg y Na intercambiables. Ello podría estar relacionado con la irregular dispersión de los aportes de excretas y orina en el terreno y su baja redistribución en pastizales sin manejo. En noviembre, mes de muestreo en ambos años, el suelo normalmente está húmedo por el inicio de la temporada de lluvias en Octubre, según análisis de una serie pluviométrica de 25 años: 1985-2009 (IEE-MAG, 2013); pese a ello, los resultados sugieren la baja dispersión en el terreno del material orgánico (excretas+orina+follaje y raíces).



Tabla 1. Media y coeficiente de variación de las variables químicas del suelo en 2008 y 2017
Table 1. Mean and coefficient of variation of the soil chemical variables in 2008 and 2017

Variable y unidad	Media 2008	CV (%)2008	Media 2017	CV (%)2017
pH	6,12	3.4	6,50	3.85
CE mmhos/cm	0,19	31.6	0,18	61.1
MOS grkg⁻¹	25,8	25.0	24,6	37.4
N total grkg⁻¹	1,3		1,2	
P ppm	10	74.0	2	355.0
K meq/100ml	0,32	46.9	1,59	92.4
Ca meq/100ml	8,21	12.8	8,61	21.4
Mg meq/100ml	3,03	23.4	3,27	13.1
Na	0,06	33.3	0,20	10.0
CICE	11,62	14.6	13,67	17.8
Cu ppm	9,30	22.9	13,04	37.8
Fe ppm	372	46.0	278	52.9
Mn ppm	8,61	72.5	6,92	87.9
Zn ppm	4,29	63.4	5,58	114.0
B ppm	0,24	50.0	0,16	75.0
S ppm	1	40.0	4	105.0

Análisis Comparativo de las Variables Químicas del Suelo 2008 y 2017

Las **tablas 2 y 3** muestran los resultados de la comparación estadística entre los resultados de ambos años.

Las variables pH, CE, MOS, (N), Ca, Mg, CICE, Fe, B y S presentaron una distribución normal, más no así P, K, Na, Cu, Mn, Zn, Fe/Mn, Ca/Mg, Mg/K y Ca/Mg/K. Entre las variables de distribución normal el pH, la CICE y los contenidos de B, S y Fe de 2008 y 2017 resultaron significativamente diferentes ($p \leq 0,01$), según la comparación entre medias (t-Student). El pH se incrementó de 6,1 a 6,5, lo que puede relacionarse al aumento del K y el Na en casi 250%, lo que también influyó en el

incremento de la CICE (aumento de cargas dependientes del pH). La CE se mantuvo en un intervalo de valores óptimos. Los sustanciales incrementos de K, aunque con una mayor dispersión de los valores, sugieren un efecto de concentración residual en el suelo, que también se observó en el Na pero con menor dispersión de valores, posiblemente por su menor cantidad y mayor solubilidad. Del mismo modo, S se incrementó significativamente (420%) y Cu en más de 60%. Por el contrario, Fe, B y P redujeron significativamente su concentración en alrededor del 25% ($p \leq 0,01$). El incremento de K y Na en el suelo permitió mantener un valor óptimo de estos cationes, así como del pH y la



Tabla 2. Análisis comparativo entre las variables del suelo 2008 y 2017. Variables con distribución normal (comparación entre medias mediante t-Student).

Table 2. Comparative analysis between soil variables 2008 and 2017. Variables with normal distribution (comparison between means by t-Student)

VARIABLE	Valor <i>p</i>		MEDIAS 2008 2017	Valor <i>p</i> Contraste t-Student
	Contraste de Normalidad Shapiro-Wilk			
pH	0.2025		6.12 6.5	<0.01*
C.E	0.3302		0.19 0.18	0.6948
MOS	0.1114		2.58 2.46	0.5283
Nt	0.2397		0,13 0,12	0.449
Ca	0.1252		8.21 8.61	0.2694
Mg	0.7347		3.03 3.27	0.08996
CICE	0.1774		11.62 13.67	<0.01*
Fe	0.2304		372 278	0.01602*
B	0.1807		0.24 0.16	<0.01*
S	0.3522		1 4	<0.01*

*diferencia significativa (significant difference)

Tabla 3. Variables sin distribución normal (comparación entre medianas mediante el test U de Mann Whitney - Wilcoxon)

Table 3. Variables without normal distribution (comparison between medians by the Mann Whitney - Wilcoxon U test)

VARIABLE	Valor <i>p</i>		MEDIANAS 2008 2017	Valor <i>p</i> Contraste U de Mann Whitney - Wilcoxon
	Contraste de Normalidad Shapiro-Wilk			
P	0.0019		8.4 6.5	<0.01*
K	<0.01		0.31 1.07	<0.01*
Na	0.0118		0.06 0.2	<0.01*
Cu	0.0241		8.8 14.36	<0.01*
Mn	<0.001		6.10 5.73	0.1657
Zn	<0.001		3.5 4.11	0.8831
Fe/Mn	0.0033		40.83 43.34	0.735
Ca/Mg	0.0492		2.78 2.78	0.9628
Mg/K	0.0127		9.12 3.13	<0.01*
Ca.Mg/	0.015		34.04 11.99	<0.01*

CE según la tabla de referencia, asimismo, la reducción significativa de las relaciones Mg/K y Ca+Mg/K en 2/3 de su valor inicial. Los

resultados sugieren un balance equilibrado entre los ingresos y salidas de Ca y Mg bajo el sistema agropecuario.



Rimatori *et al.*, (2003) registraron incremento del pH del suelo desde 6,4 (área testigo) a 7,4 y 7,5 en sitios de acumulación de excretas durante 11 años, en un sistema de producción intensiva de carne vacuna en Argentina. Sadeghian *et al.*, (1998) reportaron en Colombia altos aportes de K, provenientes de la orina en sistemas de ganadería intensiva, que modificaron substancialmente la proporción que existía inicialmente entre el K y la suma de Ca y Mg. Las excretas y la orina juegan un rol determinante en las tendencias encontradas ante la ausencia de fertilización mineral; vale acotar que la alimentación bovina incluye dosis diarias de sales minerales, que complementan las cantidades ingeridas en el forraje por el animal, principalmente Na, cloro (Cl), Ca, P, Mg, selenio (Se) y varios micronutrientes (según fórmulas convencionales). La orina es rica en N, K y S en formas asimilables por las plantas, mientras que las heces lo son en fósforo, tanto orgánico (poco asimilable), como inorgánico (disponible de inmediato) y, asimismo, en Ca y Mg, pero bajas en K, Na, N y S; desde luego, los nutrientes en contenidos fecales requieren más tiempo para estar disponibles en el suelo (Sadeghian *et al.* 1998).

Los valores promedio de MOS en 2008 ($25,8 \text{ grkg}^{-1} \pm 0,67\%$) y en 2017 ($24,6 \text{ grkg}^{-1} \pm 0,92\%$) no resultaron estadísticamente diferentes y se pueden considerar muy bajos para las condiciones altitudinales y climáticas del área de estudio; valores aun inferiores de MOS (1,19%) fueron reportados por Cacuango (2013) en suelos franco arenosos de zonas vecinas a

Tupigache, entre 2600 y 2900 msnm, lo que podría asociarse a la larga tradición de uso agrícola y a la ausencia de manejo adecuado en la región. En contraposición, bajo clima y altitud similar en la provincia de Carchi, Ecuador, se reportaron contenidos entre 70 y 150 (Peña, 2012) en Huaca, y de 146-165 grkg en El Carmelo (Rosales *et al.*, 2018), lo que Franco (2016) atribuyó al relativo poco tiempo de uso agrícola, pues la deforestación de la selva nublada en ambas áreas ocurrió a mediados del siglo pasado. Asimismo, los bajos rendimientos en leche, a pesar de razas vacunas altamente productivas, pueden ser relacionados con la dependencia animal prácticamente sólo de los pastos y, por extensión, con la calidad de los suelos de reducido contenido de C, N y P. Tales contenidos, pese a condiciones favorables a la acumulación de MOS (suelos volcánicos, 800-900 mm de lluvia y temperaturas 12-14°C), evidencian la influencia de la larga tradición de uso sin prácticas adecuadas y la necesidad de mejorar el sistema agroproductivo.

Los valores promedio estimados de N total también son bajos, y ello debe considerarse en relación a las demandas nutricionales del pastizal y del ganado y a los aportes al suelo a través de excretas y orina. Este macronutriente se encuentra, normalmente, 95% en forma orgánica en el suelo y solo NH_4 , NO_2 , y NO_3 (2 a 5% del N total) son determinantes en la fertilidad actual del suelo (Elizondo, 2006). Rimatori *et al.*, (2003) reportaron en la pampa argentina 1,2 grkg⁻¹ de N (valor similar a los de Tupigache), 6 ppm de N- NO_3 y 9 de N- NH_4 en



suelos de áreas testigo, y en las áreas con 11 años de acumulación de excretas 10 veces más de N total ($12,3 \text{ grkg}^{-1}$) y niveles contaminantes de N-NO₃ (380 ppm) y de N-NH₄ (530 ppm) que afectaron al suelo y al acuífero subyacente. Jaimes & Correa (2016) establecieron el balance del N en sistemas de producción intensiva de leche en el norte de Antioquia, Colombia,

reportando en uno de los grupos de vacas, cuya ración diaria se correspondió con 86% de pasto kikuyo y 14% de suplemento, los aportes de N presentados en la **Tabla 4**, y una excrecencia total de N de $523,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para una carga de $3,5 \text{ UBA ha}^{-1}$.

Tabla 4. Aporte estimado de N en excretas y orina en Tupigache basado en datos de un sistema intensivo de leche en Antioquia, Colombia (Grupo de vacas con mínima ingesta de suplemento alimentario, pastando sobre kikuyo) (modificado de Jaimes & Correa, 2016).

Table 4. Estimated N contribution in excreta and urine in Tupigache based on date of an intensive milk system in Antioquia, Colombia (Group of cows with minimal intake of food supplement, grazing on kikuyo) (modified from Jaimes & Correa, 2016).

	Kg vaca día ⁻¹	% de la ingesta	Total Kg día ⁻¹ ha ⁻¹ (3,1 vacaha ⁻¹ en Tupigache)	Total anual Kg ha ⁻¹ año ⁻¹ en Tupigache
Ingesta de N	0,536	100	1,662	606,6
N en excretas	0,156	29,1	0,484	176,7
N en orina	0,209 *	39,0	0,648	236,5
N excretado total	0,365	68,1	1,132	413,2
N en leche	0,088	16,4	0,273	99,6

*82,3% del N en orina correspondió a urea.

*82.3% of the N in urine corresponded to urea.

Ajustando esos valores para la carga animal de Tupigache ($3.1 \text{ UBA} \cdot \text{ha}^{-1}$), resultaría un aporte de N al pastizal de $1,13 \text{ kg día}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ y $413,2 \text{ kgha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La reserva de N total estimada en el suelo (30 cm profundidad y densidad aparente $1,39 \text{ gcm}^{-3}$) se ha mantenido alrededor de $5,2 \text{ Mgha}^{-1}$ en el periodo de estudio, lo que significa una salida anual equivalente a casi el 90% del aporte en N de las excretas y orina, lo que incluye la

absorción por las gramíneas, el lixiviado por debajo de 30 cm y hacia los flujos de agua de la red de drenaje y, además, la pérdida en formas gaseosas. Si bien gran parte de la urea es transformada en amonio (N-NH₄) en corto tiempo, en suelos bien drenados como los de Tupigache, la transformación microbiológica a NO₃ es muy rápida también. El nitrato es la forma de N más aprovechable por las plantas,



pero es la menos abundante en el suelo (Paredes, 2013).

En la ganadería a base de pastos es común un alto nivel de urea debido al elevado consumo de forraje fresco rico en proteínas (Salcedo & Villa, 2015), como es el caso del pasto kikuyo. La calidad del alimento animal y su contenido de N determina la proporción excretada y su distribución proporcional en la orina y la excreta (Salcedo, 2006), siendo mayor, en ambos, cuando la alimentación es por pastoreo en lugar de heno y concentrado. León *et al.* (2008) confirmaron esa afirmación en Antioquia, Colombia y proponen mantener la proporción de proteína cruda en 15%, lo que contribuiría a reducir el N en las excretas y la orina; para ello, sugieren alimentos con mayor proporción de proteína no digerible en el rumen, como es el caso de ensilaje (avena y maíz) en lugar de kikuyo.

Otra alternativa son los sistemas silvopastoriles (SSP) con especies forrajeras fijadoras de N. En Antioquia, Colombia, *Leucaena leucocephala*, distribuida espaciadamente en el potrero, incrementó el N en el suelo, luego de un año, en 16 y el P en 1 kg/ha, mientras que en el pastizal se redujo el N en 15 y el P en 6 kg/ha⁻¹ (Mahecha, 2002). En suelos volcánicos de El Carmelo en Carchi, a 3.000 msnm, se encontró mayor actividad biológica en el suelo y el incremento en 15% de la producción de leche en SSP con Aliso (*Alnus acuminata*) y kikuyo, sin aumentar la dosis de alimento balanceado (Benavides *et al.*, 2019; Carvajal *et al.*, 2019; Benavides com.pers.). Las especies de la familia

Papilionoideae son capaces de fijar hasta 500 kg/ha⁻¹año⁻¹ de N, reduciendo la posibilidad de emisión o lixiviado del N (Paredes, 2013).

La resolución del bajo contenido de P disponible no depende de mayor aplicación de fertilizantes, sino del uso de prácticas agronómicas promotoras del reciclado y solubilización de P en el suelo (Montesinos, 2002). Bajo uso pecuario, el contenido de P en la orina y excretas depende de la cantidad ingerida del elemento. Wu *et al.* (2001b) encontraron una relación lineal ($r=0,92$) entre el P ingerido, fijado entre 70 y 130 g de P por día por vaca, y el excretado. Los autores recomiendan 0,35% de P en la alimentación diaria para reducir la cantidad y el impacto ambiental del P excretado, sin afectar al animal y la producción láctea.

Jaimes-Cruz & Correa-Cardona (2016) reportaron para una ingesta de P de 96 g/vaca⁻¹ día⁻¹, una salida en excretas de 74 g/vaca⁻¹ día⁻¹ (76,1% en heces y 0,7% en orina), para un total de 93,9 kg P ha⁻¹año⁻¹, con una carga de 3,5 vacas ha⁻¹. Ajustando estos valores, los potreros de Tupigache recibirían 83,7 kg P ha⁻¹año⁻¹. A pesar del aporte, el P disponible en el suelo en 2017 alcanzó sólo a 8,3 kg/ha⁻¹ (30 cm profundidad), es decir, equivalente al 10% del aporte anual en excretas y orina; el 90% restante debe ser absorbido por el pastizal, fijado en formas no asimilables en el suelo, o parcialmente movilizado fuera del agroecosistema por erosión o lavado. El P en formas orgánicas de las excretas no está disponible en forma inmediata, como si ocurre con el P en la orina, el cual es casi totalmente



fosfatos inorgánicos, siendo equivalente al fertilizante químico disponible de inmediato para las plantas (Viskari *et al.*, 2018). Por otra parte, el fósforo disponible (HPO_4^{2-} y H_2PO_4^-), es fijado en estos suelos volcánicos de pH cercano a 7, por el Ca y por compuestos organominerales de Fe y Al, difiriéndose su disponibilidad (Simoes, 2005; Espinoza, 2007). Sin embargo, las gramíneas disponen de micorrizas que amplían su capacidad para el acceso al P no extraíble del suelo (Ortiz-Acevedo *et al.* 2017).

Estrategias Alternativas de Manejo del Sistema Pecuario en Tupigache

Mejorar los niveles de C, N y P en el suelo buscando mayor productividad y manteniendo al mínimo, tanto los costos como la contaminación que pudiera generarse por eventuales aportes excesivos de origen orgánico o por fertilizantes químicos, constituye una situación compleja en suelos volcánicos, especialmente en relación al P (Zehetner *et al.*, 2003; Espinoza, 2007). Una alternativa es la transformación del pastizal en un SSP, lo que, además, permitiría obtener mayor resiliencia al cambio climático (Buitrago *et al.*, 2018). Adicionalmente, puede estabularse el ganado y compostar las excretas para sustituir parcial o totalmente el fertilizante químico por estiércol o compost, en el cultivo de avena, maíz y cebada forrajera. Así podría optimizarse la dieta del ganado sin aumentar las excreciones de N y P (Wu & Satter, 2000; León *et al.*, 2008). Finalmente, la aplicación de biofertilizantes con hongos micorrícicos y bacterias endosimbióticas

contribuirían a mejorar la producción del pastizal sin acudir a fertilizantes químicos (Ortiz-Acevedo *et al.*, 2017; Paredes, 2013). Como medida de control, Salcedo & Villa (2015) recomiendan monitorear el contenido de urea en la leche para detectar desequilibrios en la dieta, evitar el gasto innecesario que conlleva una dieta con exceso de proteína y minimizar la pérdida de N y la emisión de gases de efecto invernadero.

CONCLUSIONES

El análisis de las tendencias de las propiedades químicas de los suelos bajo uso pecuario intensivo permitió explorar las dinámicas de nutrientes clave para la producción agropecuaria y fundamentar propuestas de conversión agroecológica en los sistemas de producción, con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental y económica. Sería recomendable implementar políticas de estímulo hacia la conversión de los pastizales en SSP, como mecanismo de reducción de las emisiones de GEI y restauración de la calidad de los suelos y las aguas, en las cuencas altas de la Sierra ecuatoriana.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA American Public Health Association. 1992. Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- Basantes, P. 2016. Propuesta arqueo-museológica para el museo antropológico Antonio Santiana. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Disponible en: <https://tinyurl.com/rlsvvos>. Fecha de consulta 02/11/2019. Quito, Ecuador.



- Becker, M & S Tutillo. 2009. Historia agraria y social de Cayambe. FLACSO. Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador. 248 pp.
- Benavides, H; S Vargas; D Caicedo; L Carvajal; D Gutiérrez & J Mina. 2019. Efecto del agroeco-sistema y las estaciones del año en la densidad poblacional de la lombriz de tierra en los sistemas silvopastoriles. Cuban J. Agric. Sci. Vol 53(2),197-206. Disponible en: <https://tinyurl.com/y9ylxvyu>. Fecha de consulta 15/03/2020.
- Buitrago, M; L Ospina & W Narváez. 2018. Sistemas Silvopastoriles: Alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. Disponible en: <https://n9.cl/u5ne>. Fecha de consulta 10/04/2020.
- Cacuango, D. 2013. Diagnóstico de la fertilidad del suelo en las unidades productoras referenciales en siete barrios y una comunidad en la parte baja de la parroquia la Esperanza del cantón Pedro Moncayo. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Cayambe, Ecuador. 34 pp.
- Cañadas Cruz, L. 1983. Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. Ed. MAG-PRONAREG, Quito, Ecuador. 210 pp.
- Carter, M. & Gregorich, E. (2006). Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publ. Boca Rat. FL. 481-483.
- Carvajal, L; H Benavides & D Caicedo. 2019. Costos de producción de leche bovina en tres sistemas silvopastoriles: aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un testigo con mezcla forrajera. TIERRA INFINITA N°5, 125-130. Disponible en: <https://n9.cl/9e7k1>. Fecha de consulta 01/04/2020.
- Crissman, C; D Yanggen & P Espinoza. 2002. Los Plaguicidas. Impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador. Centro Internacional de la Papa (CIP), INIAP. Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador.
- Cruz, LS. 2015. Formulación de un plan de ordenamiento territorial en la parroquia rural de Tupigachi del cantón Pedro Moncayo. Tesis de grado. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Sangolquí, Ecuador.
- Cuarán, F. 2009. Manual de fertilización de los Cultivos, proyecto “monitoreo de la fertilidad de los suelos y el nivel de fósforo asimilable en las unidades productoras referenciales de la organización TURUJTA del cantón Pedro Moncayo”. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Cayambe, Ecuador.
- Elizondo, J. 2006. El Nitrógeno en los Sistemas Ganaderos de Leche. *Agronomía Mesoamericana* 17(1), 69-77 pp.
- Espinoza, J. 2007. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. INFOBOS. Quito, Ecuador.
- Figueroa-Viramontes, U; G Núñez-Hernández; JA Delgado; JA Cueto-Wong & JP Flores- Margez. 2009. Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. *Agri-cultura Orgánica* Vol 2. 128-151 pp.
- Follet, R. 2008. Chapter 2. Transformation and transport processes of nitrogen in agricultural systems. In: *Nitrogen in the environment: sources, problems, and management*, Second edition, ed. J. L. Hatfield & R. F. Follett (Amsterdam, Boston, et al.: AcademicPress/Elsevier, 2008). Disponible en: <https://tinyurl.com/y9h9rea7>. Fecha de consulta 30/03/2020.
- Franco, W. 2016. Propuestas para la innovación en los sistemas agroproductivos y el desarrollo sostenible del valle interandino en Carchi, Ecuador. *Tierra Infinita* vol 2 (59-91). Disponible en: <https://tinyurl.com/y7wkubd>. Fecha de consulta 27/03/2020.
- IDEAM. 2015. Estudio Nacional del Agua 2014. Disponible en <https://n9.cl/vz0m>. Fecha de consulta 27/03/2020.
- IEE-MAG. 2013. Memoria Técnica Proyecto “GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000”. Disponible en shorturl.at/pqJZ2. Fecha de consulta 24/08/2020.
- INE. 2020. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC, Ecuador). 2018. Disponible en: <https://tinyurl.com/wvyfzhc>. Fecha de consulta 01/04/2020.
- INIAP. 2006. Muestreo de suelos para análisis químico con fines agrícolas. Publicación 272. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Quito, Ecuador.



- Jaimes-Cruz, LJ & HJ Correa-Cardona. 2016. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cmvez/v11n2/v11n2a03.pdf>. Fecha de consulta 03/04/2020.
- Kromann, P & P Cuasapaz. 2017. Libro de memorias. 7 Congreso Ecuatoriano de la Papa. Adaptación al cambio climático. International Potato Center. ISBN 978-9942-28-795-3. 204 pp.
- Lechón, M. 2014. Determinación de la variabilidad en el grado de fertilidad de los suelos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador (UCE). Quito, Ecuador, 79 pp.
- León, JM; JE Mojica; E Castro; EA Cárdenas; ML Pabón & JE Carulla. 2008. Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) suplementadas con ensilaje de avena (*Avena sativa*). Rev Colom Cienc Pecu 21, 559-570 pp.
- López, M. 2004. Agricultural and settlement frontiers in the tropical Andes: the paramo belt of northern Ecuador, 1960-1990. Regensburger Geographische SchriftenHeft, Universität Regensburg. Germany. 180 pp.
- Loyon, L. 2018. Overview of animal manure management for beef, pig, and poultry farms in France. Disponible en <https://tinyurl.com/yah67ucb>. Fecha de consulta 08/04/2020.
- MAE; PNUD. 2015. Preparación del reporte nacional y envío a la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación. Disponible en <https://tinyurl.com/r2fatya>. Fecha de consulta 05/01/2020.
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. Rev Col Cienc Pec Vol. 15(2), 226-231pp.
- MDN; SENPLADES & IEE. 2013. Geopedología cantón Pedro Moncayo. Memoria técnica. Proyecto "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional Escala 1: 25 000". Quito, Ecuador. Disponible en <https://n9.cl/aww2>. Fecha de consulta 05/02/2020.
- Molina, E & G Meléndez. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Universidad de Costa Rica (UCR). INTERSEDES.
- Montesinos, C. 2002. Manejo biológico del fósforo en el suelo. Revista de Agroecología y Desarrollo 8, 31-34 pp.
- Mora-Marín, MA; L Ríos-Pescador; L Ríos-Ramos & JL Almario-Charry. 2017. Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. Disponible en <https://n9.cl/8nxk>. Fecha de consulta 22/01/2020.
- Olsen, S; C Cole; F Watanabe & L Dean. 1954. Estimation of Available Phosphorus in soils by extraction with 307 sodium bicarbonate. US Department of Agriculture. USA.
- Ortiz-Acevedo, A; M Medina-Sierra & J Echeverri-Gómez. 2017. Identificación de algunas cepas de hongos micorrízicos asociados al kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst ex Chiov) Morrone) y su efecto en algunas variables agronómicas. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd29/5/orti29088.html>. Fecha de consulta 03/12/2019.
- Paredes, MC. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Tesis de grado. Universidad Católica Argentina. Buenos Aires. Argentina.
- Peña, J. 2012. Zonificación de la hacienda San Francisco y el aprendizaje de los estudiantes de la Escuela de Desarrollo Integral Agropecuario. Tesis maestría. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Pourrut, P. 1995. Los Climas del Ecuador. Fundamentos Explicativos. Convenio ORSTOM - PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería). Disponible en <https://tinyurl.com/vonbl79>. Fecha de consulta 10/12/2019.
- RELASE. 2015. Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador. Disponible en <https://n9.cl/gpe6>. Fecha de consulta 17/02/2020.
- Rimatori, Fernando & Améndola, Catalina & Sasal, Maria & Andriulo, Adrián. (2003). Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna sobre algunas propiedades del suelo y del agua. RIA. Revista de



- Investigaciones Agropecuarias. 32. 27-55. Disponible en: <https://n9.cl/q6rp>. Fecha de consulta 02/11/2018.
- Rosales, BH; S Hernández; D Aguiar; D Rosero; L Pérez & M Rosero. 2018. Assessment of Soil Quality in Andosols Using Silvopastoral Systems. *The Open Agriculture Journal* 12, 207-214 pp.
- Sadeghian, S; JM Rivera & ME Gómez. 1998. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en Los Andes de Colombia. Disponible en <https://n9.cl/nm2z>. Fecha de consulta 31/10/2019.
- Salcedo, G. 2006. Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/G_Salcedo. Fecha de consulta 03/04/2020.
- Salcedo, G & G Villa. 2015. Interpretación del contenido de urea en leche. Claves para su minimización en las explotaciones de Cantabria. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/G_Salcedo. Fecha de consulta 03/04/2020.
- Simoës, M. 2005. La disponibilidad de fósforo evaluada por el método de Olsen en suelos ácidos de Portugal: significado agronómico y ambiental. Tesis PhD. Universidad de Córdoba. Disponible en <https://n9.cl/jnwdl>. Fecha de consulta 30/03/2020.
- The Comprehensive R Archive (version R-3.6.3.tar.gz). 2020. Disponible en <https://cran.r-project.org/>. Fecha de consulta 03/09/2019.
- Viskari, E; G Grobler; K Karimäki; A Gorbatova; R Vilpas & S Lehtoranta. 2018. Nitrogen Recovery with Sources Separation of Human Urine - Preliminary Results of its Fertiliser Potential and Use in Agriculture. *Front. Sustain. Food Syst.* Disponible en <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00032>. Fecha de consulta 12/04/2020,
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil: Effect of 305 variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63, 251-263 pp.
- Wu, Z & L Satter. 2000. Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein. *J. Dairy Sci.* 83, 1042-1051 pp.
- Wu, Z; PR Tozer & EB Groff. 2001a. Dietary manipulation to reduce nitrogen excretion by lactating dairy cows. Proceeding Paper from Penn State's. 2001. Disponible en <https://tinyurl.com/w8lr4bn>. Fecha de consulta 07/04/2020.
- Wu, Z; L Satter; AJ Blohowiak; RH Stauffacher & JH Wilson. 2001b. Milk Production, estimated phosphorus excretion, and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.* 84, 1738-1748. Disponible en <https://n9.cl/izdze>. Fecha de consulta 10/04/2020.
- Zehetner, F; WP Miller & LT West. 2003. Pedogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1797-1809 pp.

