



REDVET. Revista Electrónica de
Veterinaria

E-ISSN: 1695-7504

redvet@veterinaria.org

Veterinaria Organización

España

Bravo, Carlos; Ramírez, Alina; Marín, Haideé; Torres, Bolier; Alemán, Reinaldo; Torres,
Roldan; Navarrete, Henry; Changoluisa, Daysi

Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la
Región Amazónica Ecuatoriana

REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, vol. 18, núm. 11, noviembre, 2017, pp. 1-16

Veterinaria Organización

Málaga, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63653574014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana - Factors associated with soil fertility in different land uses of the Ecuadorian Amazon Region

Bravo, Carlos: *Universidad Estatal Amazónica*, **Ramírez, Alina:** *Universidad Estatal Amazónica*; **Marín, Haideé:** *Universidad Estatal Amazónica*, **Torres, Bolier:** *Universidad Estatal Amazónica*; **Alemán, Reinaldo:** *Universidad Estatal Amazónica*, **Torres, Roldan:** *Universidad Estatal Amazónica* **Navarrete, Henry:** *Universidad Estatal Amazónica* **Changoluisa, Daysi:** *Universidad Estatal Amazónica*

E-mail de contacto: g12brmec@gmail.com

Resumen

La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) representa una de las mayores reservas ecológicas para la humanidad debido fundamentalmente a la gran biodiversidad de flora y fauna y los servicios ecosistémicos que provee. El objetivo de este estudio consistió en caracterizar la fertilidad física y química del suelo mediante un análisis de componentes principales (ACP) en diferentes usos de la tierra localizados en las provincias de Napo y Pastaza, Ecuador. Se seleccionaron ocho usos de la tierra en tres pisos altitudinales, codificados como: **a)** cacao agroforestal (CAF), **b)** cacao monocultivo (CAMC), **c)** naranjilla (NA), **d)** pasto gramalote (*Axonopus scoparius*) con árboles, PGCA), **e)** pasto gramalote sin árboles (PGSA), **f)** pasto dallis (*Paspalum dilatatum*) con árboles (PDCA), **g)** pasto dallis sin árboles (PDSA) y **h)** bosque secundario (BS). En cada uso de la tierra se estableció una transecta con 5 puntos de muestreo, y en cada punto se recolectaron muestras de suelo alteradas y no alteradas a dos profundidades de 0-10 y de 10-30 cm. Se identificaron cuatro componentes principales que explicaron el 70,54 % de la variabilidad del sistema. El componente principal 1 fue el que explicó la mayor varianza (26,08 %) con indicadores asociados principalmente a la fertilidad física del suelo. Los resultados sugieren que la variación de la fertilidad de los suelos en la RAE está afectada principalmente por el piso climático, la profundidad y algunos indicadores físicos y químicos como: densidad aparente (Da), porosidad total (Pt) y porosidad de retención (Pr), pH, COT; N, P, K⁺¹, S, Ca⁺² y B y Zn. El alto contenido de materia orgánica de estos suelos favorece una adecuada fertilidad física caracterizada por bajos valores de Da, alta capacidad de infiltración y captación de agua relacionada con los altos valores de K_{sat} y de los poros de retención (Pr), así como una alta capacidad de aireación reflejada por su porosidad total y de aireación (Pa, macroporos). El bajo contenido de nutrientes, alta acidez de los suelos de referencia

(Bosque secundario) sugiere que un cambio de uso de la tierra de bosque a sistemas agrícolas y pecuarios, implica la aplicación de enmiendas y nutrientes para satisfacer la demanda de los cultivos.

Palabras claves: Componentes Principales| Fertilidad del suelo| Amazonia| Agroecosistemas.

Abstract

Ecuadorian Amazon Region (EAR) represents one of the largest ecological reserves for humanity mainly due to the great biodiversity of flora and fauna and the ecosystem services it provides. The aim of this study was to characterize the physical and chemical fertility of the soil by a principal component analysis (PCA) in different land uses located in the provinces of Napo and Pastaza, Ecuador. They were selected 8 land uses in three altitudinal floors, coded as: a) Cocoa Agroforestry (CAF), b) Cocoa monoculture (CMC), c) naranjilla (NA), d) gramalote grass (*Axonopus scoparius*) with trees (GGWT), e) gramalote grass without trees (GGT), f) Dallis grass (*Paspalum dilatatum*) with trees (DGT), g) Dallis grass without trees (DGWT) and h) secondary forest (SF). In each land use was established a transect with five points sampling, and each point were collected disturbed and undisturbed soil samples at depths 0-10 and 10-30 cm. Four principals components that accounted for 70.54% of the variability of the system were identified. The first component explained the most variance (26.08%) with indicators mainly related to physical soil fertility. Our results suggest that the variation of soil fertility in the EAR is mainly affected The results suggest that the variation of soil fertility in the SAR is mainly affected by climate floor, depth, some physical and chemical indicators such as: bulk density, total porosity, porosity retention, pH, TOC; N, P, K⁺¹, S, Ca⁺², B and Zn. The high content of organic matter in these soils favors adequate physical fertility characterized by low values of Da, high infiltration capacity, high water retention, both related to the high values of K_{sat} and retention pores (Rp), and high aeration capacity reflected by the total porosity and the presence of suitable percentage of macropores. The low nutrient content, high acidity of reference soils (secondary forest) suggests that a change of land use from forest to agriculture and livestock systems, leading to the application of amendments and nutrients to cover crop needs.

Keywords: Principals Components| Soil fertility| Amazonia| Agroecosystems.

Introducción

La región amazónica ecuatoriana representa el 45 % de la superficie del Ecuador y constituye una de las mayores reservas ecológicas para la humanidad, debido fundamentalmente a su riqueza biológica y endemismo

(Myer et al. 2000), así como también por su alto potencial de proveer servicios eco sistémicos necesarios para sostener a las poblaciones locales (Torres, et al., 2014). Sin embargo, esta región ha venido experimentando altas tasas de deforestación y el cambio de usos del suelo (Mena et al., 2006), con la consecuente afectación sobre la biodiversidad, el agua, suelo y la disminución o pérdida de los ecosistemas de ofrecer sus servicios eco sistémicos (Vargas et al., 2014).

Los sistemas de pasturas representan el uso del suelo más extenso del mundo realizado por la actividad humana (Steinfeld et al., 2006). En áreas tropicales la conversión extensiva de bosques a pasturas y la intensificación agrícola son típicamente identificadas como los conductores más importantes de cambio en el uso del suelo, con consecuente pérdida de su fertilidad, calidad y biodiversidad (Valera et al., 2016; Guillaume et al., 2016; Vallejo-Quintero, 2013). Por ejemplo, la sustitución del bosque nativo por pastura y por cultivos agrícolas en zonas del cerrado de Brasil ha generado conflictos de uso y desmejoramiento de algunas propiedades del suelo de manera significativa, tales como el contenido de materia orgánica y la concentración de potasio intercambiable (Valera et al., 2016). Además, estos cambios pueden desencadenar en otros daños ambientales específicamente el aumento de la erosión del suelo y la degradación de la calidad del agua con impactos negativos sobre la biodiversidad acuática, y las otras funciones estructurales de la materia orgánica del suelo. Al respecto, se ha señalado que la conversión de bosques tropicales en tierras agrícolas conduce a una fuerte disminución de la materia orgánica del suelo, afectando sus funciones como almacenador de C y suministro de fertilidad (Guillaume et al., 2016).

Para suelos de la región central amazónica de Brasil sometidos a distintos estados de restauración, la densidad aparente, el nitrógeno total, K^+ y P fueron los parámetros más sensibles para diferenciar zonas restauradas y degradadas con respecto al suelo de referencia (Bosque), lo cual se reflejó en un alto valor de correlación (>de 0.70) entre dichas variables (Viana et al., 2014).

El suelo como recurso natural cumple múltiples funciones relacionadas con su calidad y seguridad, y algunas de ellas asociadas a la fertilidad del suelo (MacBratney et al., 2013), entre ellas: **a)** Medio para el desarrollo de las plantas o producción de biomasa, **b)** componente del ciclo hidrológico y regulador de los suministros de agua, **c)** hábitat y proveedor de energía y reciclaje de nutrientes para organismos, **d)** agente almacenador, degradador, desintoxicador de sustancias, **e)** medio que provee soporte a las plantas. Desde el enfoque sistémico constituye uno de los subcomponentes centrales del agroecosistema y se ha señalado a la fertilidad del suelo como uno de los atributos conectado con la sustentabilidad, la cual debe permitir el mantenimiento de su productividad mediante un adecuado manejo, mejorando la estructura, el contenido de materia orgánica y la aireación, adecuado contenido de humedad, el pH apropiado y un óptimo nivel de nutrientes (Astier-Calderón et al., 2002). La expresión anterior tiene implícito

la proporción para los cultivos de unas adecuadas condiciones físicas, química y biológicas como base para la fertilidad integral del suelo (Casanova, 2005). Dicha fertilidad debe manejarse mediante la integración del enfoque agroecológico a los sistemas de producción teniendo como objetivo fundamental la construcción de la fertilidad a largo plazo (Gliessman, 2007). En regiones tropicales húmedas como la Amazonía Ecuatoriana, el clima ejerce sobre la edafogénesis una influencia primordial que favorece la lixiviación de las bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}), lo que induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibsita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros asociados a la fertilidad principalmente el pH (Gardi et al., 2014; Custode y Sourdat, 1986).

Este antecedente, resulta fundamental por dos razones, la primera para entender la influencia que puede tener el cambio de uso del suelo sobre la fertilidad cuando existe la conversión de un ecosistema natural a sistemas de cultivos o ganaderos, y la segunda como elemento clave para el manejo y optimización de la fertilización. Diferentes estudios han confirmado las características químicas y la baja fertilidad natural de estos suelos, caracterizado por ser ácidos, con alto contenido de materia orgánica, deficientes en P, S, y en bases cambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) y alta presencia en hierro (Bravo et al., 2015; Nieto y Caicedo, 2012; Martín y Pérez, 2009). Si bien, la mayoría de los nutrientes están de manera deficiente, el fósforo representa uno de los elementos más críticos en suelos amazónicos. Al respecto, se ha señalado que dicho elemento es un macronutriente que desempeña una serie de funciones importantes en las plantas. En distintas zonas tropicales, se ha considerado que la deficiencia de fósforo es uno de los mayores obstáculos para la producción de alimentos debido a la baja cantidad de P nativo y a la alta fijación de óxidos de hierro y aluminio (Simpson et al., 2015).

En contraste, la fertilidad física de los suelos en esta zona ha mostrado adecuados índices estructurales, baja densidad aparente, alta porosidad de aireación y de retención, alta conductividad hidráulica y baja resistencia a la penetración, lo cual está muy favorecido por los altos contenido de materia orgánica sobre todo en el horizonte superficial (Bravo, 2015).

Bajo este enfoque, el objetivo de este trabajo consistió en caracterizar los factores asociados a la fertilidad físico-química del suelo en diferentes usos de la tierra localizados en las provincias de Napo y Pastaza, Ecuador.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en la región amazónica en áreas con distintos usos de la tierra localizados en las provincias de Napo y Pastaza, Ecuador (Figura 1). El clima es característico de un bosque húmedo tropical, con una

altura entre 500 a 600 msnm. La precipitación anual promedio es de 3481,7 mm, una evapotranspiración de 150 mm, temperaturas entre 23,4 a 25,4 °C y una humedad relativa de 87 %. Los suelos pertenecen al orden inceptisol, suelos recientes sin horizontes bien definidos, poco profundos, generalmente ácidos y de baja fertilidad natural (bajo contenido de potasio, calcio, fósforo) y altos contenidos de hierro (Nieto y Caicedo, 2012).

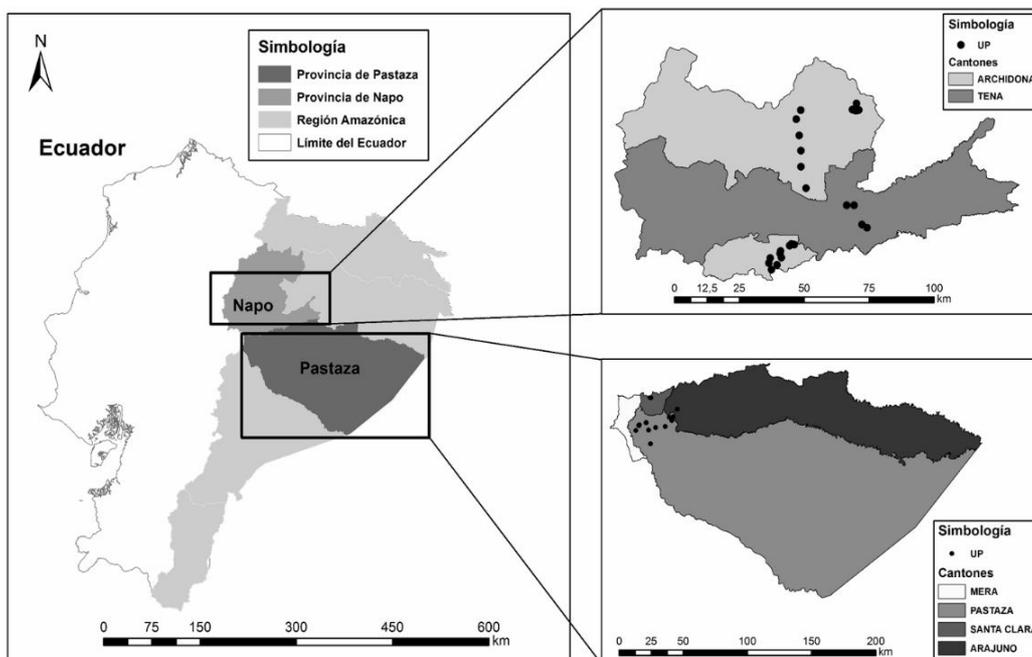


Figura 1. Localización geográfica de los usos de tierra seleccionados, provincia de Napo y Pastaza.

Descripción de los Usos de la Tierra evaluados

Se seleccionaron 32 Unidades de producción Agropecuaria (UPAs), que fueron agrupadas en siete (7) usos agropecuarios y comparados con el bosque secundario (BS) en tres pisos altitudinales. Los usos de la tierra evaluados fueron los que tradicionalmente se vienen desarrollando en muchas áreas de la Amazonia Ecuatoriana, tanto en la línea de Cacao (*Theobroma cacao*), Naranjilla (*Solanum quitoense*) y en sistemas ganaderos con pasturas de ciclo largo como gramalote, (*Axonopus scoparius*) y de ciclo corto Dallis (*Paspalum dilatatum*), codificados de la siguiente manera: 1) Cacao agroforestal (CAF), principalmente con arreglo en forma de Chakra, definida como un sistema agroforestal tradicional de producción diversificado que se asocia a cultivos como la yuca, plátano y otras especies de cultivos de ciclo corto y perenne; 2) Cacao monocultivo (CAMC), sin presencia de especies arbóreas con uso de agroquímicos, fertilizantes y enmiendas; 3) Naranjilla (NA), definido como un sistema de producción que normalmente se siembra como monocultivo con uso de agroquímicos, enmiendas y en espacios abiertos recién deforestados en medio de bosques secundarios o bosques degradados con densidades de siembra de 3x3 para un total 1111 platas ha⁻¹; 4) Pasto gramalote (*Axonopus scoparius*) con árboles (PGCA), 5) Pasto gramalote sin arboles (PGSA), 6)

Pasto dallis (*Paspalum dilatatum*) con árboles (PDCA), 7) Pasto Dallis sin árboles (PDSA) y 8) Bosque secundario (BS).

Muestreo y análisis de suelo

Para el estudio se usaron 10 muestras de suelo alteradas y no alteradas, recolectadas a dos profundidades de muestreo, de 0-10 cm y de 10-30 cm de profundidad en cada una de las fincas y uso de tierra seleccionado. La densidad aparente (D_a) del suelo se determinó por el método del cilindro (Blake and Hartge, 1986); la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) mediante el método de carga variable y la porosidad de aireación (P_a) se evaluó mediante la mesa de tensión en muestras no alteradas, usando un toma muestra tipo "Uhland" con cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura (Pla, 2010). El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0.5 N ($H_2SO_4 + FeSO_4 \cdot 7H_2O$). El nitrógeno total se midió por el método de kjeldahl. El pH fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiabiles (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}), micronutrientes y contenido de fósforo (P) fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995).

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP), técnica multivariada que permite la reducción de la dimensionalidad de los datos, conservando la variación del conjunto de datos (Bengio et al., 2013), a partir de la matriz de correlación entre los indicadores, seleccionando aquellos componentes con valor propio, mayor o igual a la unidad ($\lambda = 1$). Así, para el análisis del ACP, se utilizaron un conjunto de variables (23) que incluyeron parámetros físicos, químicos de 0-30 cm, piso climático y profundidad y, que permitió establecer las diferencias entre los distintos usos de la tierra. Finalmente, se seleccionaron los cuatro primeros componentes principales (CPs) y aquellas variables con carga ≥ 0.6 para explicar los cambios en la fertilidad de suelo de los usos seleccionados. Todos los datos se procesaron mediante el paquete estadístico SPSS versión 21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas

Las propiedades físicas y químicas del suelo tanto del horizonte superficial (0-10 cm) como del subsuperficial (10-30 cm) se presentan en las Tablas 1 y 2. En general, la condición física del suelo evaluada a través de los índices estructurales (D_a , K_{sat} , P_t , P_a , P_r) mostro rangos categorizados adecuados para todos los usos de la tierra considerados (Tabla 1). La D_a registró valores

que oscilaron de 0,34 a 0,96 Mg m⁻³ en los primeros 10 cm, mientras que para el segundo horizonte varió de 0,40 a 1,19 Mg m⁻³, siendo menor en el uso con Naranjilla (NA) y mayor en el cacao monocultivo (CAMC) en ambos horizontes. Es bien conocido que la densidad aparente tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de raíces, la resistencia a la penetración, el movimiento de agua, aire, nutrientes y su disponibilidad (Vera et al., 2012; Álvarez y Taboada, 2008; Martínez et al, 2008).

La capacidad de aireación de estos suelos se caracterizó por presentar una alta porosidad total (Pt) en ambos horizontes con una distribución de tamaños de poros con predominancia de los microporos en comparación con los macroporos (> 15 µm). La porosidad total osciló de 62 a 89 % en los primeros 10 cm de profundidad y de 58 a 86 % en la capa de 10-30 cm, registrando menor % con cacao manejado como monocultivo (CAMC) en ambos horizontes y mayor en Naranjilla. La porosidad de retención (Pr) exhibió un comportamiento similar con rangos de 52 a 74 % en el horizonte superficial y de 51 a 74 % en la segunda capa, cuyos valores se correspondieron con los usos de CAMC y NA respectivamente.

La porosidad de aireación (Pa) presentó rangos de 9,68 (CAMC) a 18 % (BS) en el primer horizonte y de 6,70 (CAMC) a 14 % (PACA) en la segunda capa. Los poros de aireación contribuyen activamente al flujo de agua y al movimiento de aire en el suelo proporcionando una condiciones adecuadas para la actividad biológica del suelo (Bravo et al., 2008; Álvarez y Taboada, 2008). Desde el punto de vista de manejo, se ha señalado que aquellos valores de macroporos (Pa) > 15 µm por debajo de 10 % pueden representar serias limitaciones al flujo de agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Florentino, 1998 y Pla, 2010). Por tanto, los resultados de algunos manejos sugieren que pudieran presentarse problemas de aireación a partir de los 10 cm de profundidad.

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo en el horizonte superficial (0 a 10), bajo distintos usos de la tierra, provincia de Napo y Pastaza, Ecuador.

Características	Sistemas de producción							
	CAF	CAMC	NA	PGCA	PGSA	PACA	PASA	BS
Da, Mg m ⁻³	0,63	0,96	0,34	0,56	0,52	0,49	0,52	0,56
K _{sat} , cm h ⁻¹	16,00	9,10	13,91	22,74	27,77	26,26	29,59	43,80
Pt, (%)	76,08	62,02	88,75	81,32	81,70	83,59	80,69	76,37
Pa, (%)	13,46	9,68	14,54	13,62	16,04	15,62	17,13	17,79
Pr, (%)	62,62	52,35	74,22	67,71	65,66	67,97	63,56	58,59
Nt, (%)	0,53	0,42	1,24	0,67	0,35	0,81	0,71	0,74
COT, (%)	12,40	6,76	14,29	11,83	13,88	9,84	8,59	10,63
R C:N	33,98	15,78	11,81	20,14	43,55	14,02	12,42	22,40
pH	5,11	5,94	5,03	5,24	5,11	5,36	5,24	4,84
NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	24,73	26,40	97,94	78,89	59,47	81,91	86,13	60,70
P, mg kg ⁻¹	5,73	18,28	9,13	9,40	6,84	12,86	10,20	8,74
K ⁺ , meq 100 ml	0,06	0,15	0,29	0,23	0,16	0,22	0,21	0,15

Ca ⁺² meq 100ml	3,81	12,28	2,84	3,12	2,76	5,65	2,92	7,38
Mg ⁺² , meq 100ml	0,57	1,52	0,66	0,90	1,03	0,84	0,94	1,13
S, mg kg ⁻¹	13,73	10,50	5,93	6,57	6,05	7,92	4,30	9,51
Zn, mg kg ⁻¹	1,74	2,92	4,32	4,64	3,92	6,00	4,13	6,59
Cu, mg kg ⁻¹	5,12	6,28	7,05	5,47	4,65	5,13	4,94	5,56
Fe, mg kg ⁻¹	132,67	177,20	225,09	419,49	402,68	391,10	421,15	319,75
Mn, mg kg ⁻¹	0,57	1,52	0,66	0,90	1,03	0,84	0,94	1,13
Bo, mg kg ⁻¹	13,73	10,50	5,93	6,57	6,05	7,92	4,30	9,51
SB, meq 100 ml	4,44	13,95	3,79	4,21	3,95	6,71	4,06	8,66

Da: Densidad aparente del suelo; **K_{sat}:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **Nt:** Nitrógeno total; **COT:** Carbono orgánico total; **C:N:** Relación carbono nitrógeno; **P:** Fósforo disponible; **K⁺¹:** Potasio intercambiable; **Ca⁺²:** Calcio intercambiable; **Mg⁺²:** Magnesio intercambiable; **S:** Azufre disponible; **Zn:** Zinc; **Cu:** Cobre; **Fe:** Hierro; **Mn:** Manganeseo; **Bo:** Boro; **SB:** Suma de Bases; **CAF:** Cacao Agroforestal; **CAMC:** Cacao monocultivo; **NA:** Naranjilla; **PGCA:** Pasto gramalote con árboles; **PGSA:** Pasto gramalote con árboles; **PACA:** Pasto anual con árboles; **PASA:** Pasto anual con árboles; **BS:** Bosque secundario.

En general, la fertilidad física de los suelos, evaluada a través de los índices estructurales sugieren que la mayoría de los usos de la tierra se caracterizan por presentar bajos valores de Da, alta capacidad de infiltración y captación de agua relacionada con los altos valores de K_{sat} y de los poros de retención (Pr, microporos) y una alta capacidad de aireación reflejada por su porosidad total y de aireación (Pa, macroporos). Por tanto, desde una perspectiva integral los valores de los parámetros físicos indican que a pesar del cambio de uso y la implementación de sistemas de manejo con componente ganadero no se presentan problemas de compactación del suelo y por el contrario existe un ambiente edáfico para un adecuado crecimiento de raíces y de microorganismos. Desde la perspectiva de degradación física para algunas zonas de la Amazonía se ha señalado el proceso de erosión hídrica como uno de los principales problemas ambientales derivados del cambio de uso de la tierra (Bravo et al., 2015).

Tabla 2. Características físicas y químicas del suelo en la capa de 10 a 30 cm de profundidad bajo distintos usos de la tierra, provincia de Napo y Pastaza, Ecuador.

Características	Sistemas de producción							
	CAF	CAMC	NA	PGCA	PGSA	PACA	PASA	Bosque
Da, Mg m ⁻³	0,78	1,19	0,40	0,66	0,56	0,57	0,59	0,71
K _{sat} , cm h ⁻¹	0,44	0,42	11,12	16,10	16,97	27,89	36,89	17,70
Pt, (%)	73,39	57,75	85,88	76,83	80,61	79,70	78,15	74,02
Pa, (%)	8,41	6,70	11,40	11,36	11,40	14,04	13,63	11,58
Pr, (%)	64,97	51,04	74,49	65,46	69,21	65,66	64,52	62,44
Nt, (%)	0,38	0,22	0,70	0,35	0,29	0,54	0,44	0,44
COT, (%)	5,23	2,25	6,07	5,66	7,33	6,01	4,58	4,91
R C:N	14,20	10,22	9,00	16,29	25,27	11,82	9,83	12,31
pH	5,40	6,15	5,03	5,38	5,31	5,39	5,33	5,14
NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	20,05	11,68	31,75	39,22	29,67	43,72	54,23	31,91

P, mg kg ⁻¹	3,11	4,62	2,81	3,78	2,81	6,88	5,72	5,13
K ⁺ , meq 100 ml	0,02	0,04	0,12	0,07	0,06	0,09	0,09	0,06
Ca ⁺² , meq 100ml	2,16	3,54	1,08	1,35	1,74	3,70	2,18	5,41
Mg ⁺² , meq 100ml	0,23	0,31	0,35	0,37	0,75	0,47	0,64	0,83
S, mg kg ⁻¹	7,99	3,98	6,62	5,28	5,66	4,91	3,22	4,99
Zn, mg kg ⁻¹	0,65	0,50	0,83	1,90	1,29	2,65	2,04	2,36
Cu, mg kg ⁻¹	4,99	4,12	8,20	5,66	4,71	5,59	4,99	5,59
Fe, mg kg ⁻¹	87,93	99,80	179,20	243,53	258,57	315,15	333,85	263,68
Mn, mg kg ⁻¹	3,85	3,42	7,01	12,00	9,72	17,14	23,65	17,00
Bo, mg kg ⁻¹	0,54	0,60	0,35	0,46	0,38	0,42	0,34	0,42
SB, meq 100 ml	2,41	3,89	1,55	1,80	2,54	4,26	2,92	6,30

Da: Densidad aparente del suelo; K_{sat}: Conductividad hidráulica saturada; Pt: porosidad total; Pa: Porosidad de aireación; Pr: Porosidad de retención; Nt: Nitrógeno total; COT: Carbono orgánico total; C:N: Relación carbono nitrógeno; P: Fósforo disponible; K⁺: Potasio intercambiable; Ca⁺²: Calcio intercambiable; Mg⁺²: Magnesio intercambiable; S: Azufre disponible; Zn: Zinc; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Bo: Boro; SB: Suma de Bases; CAF: Cacao Agroforestal; CAMC: Cacao monocultivo; NA: Naranja; PGCA: Pasto gramalote con árboles; PGSA: Pasto gramalote con árboles; PACA: Pasto anual con árboles; PASA: Pasto anual con árboles; BS: Bosque secundario.

Fuente: Autores

La fertilidad química para los distintos usos de la tierra en el horizonte superficial fue muy variada (Tabla 1), mostrando un pH categorizado de ácido a moderadamente ácido, con alto contenido de carbono orgánico total en todos los usos, en especial en los sistemas de manejo con NA, PGCA, PGSA y BS. Este gran aporte orgánico sobre y debajo de la superficie del suelo, está muy relacionado con los antecedentes del manejo de la zona que potencialmente es usada con bosque caracterizados por una gran diversidad de especies de plantas, cuya cantidad y calidad de hojarasca y raíces contribuyen fuertemente a los ciclos biogeoquímicos mejorando los contenidos de algunos nutrientes en especial el nitrógeno (Bravo et al., 2015; Hernández et al., 2008). Al respecto el contenido de nitrógeno total varió de 0,35 (PGSA) a 1,24% (NA), mientras que el contenido de nitrógeno en forma amoniacal (NH₄⁺) osciló de 25 a 98 mg kg⁻¹ categorizados de niveles a medios a altos. Igualmente, algunas bases cambiables (Ca⁺² y Mg⁺²) y microelementos (Fe, Cu y B) mostraron rangos considerados de medios a altos. Para este horizonte, la relación C:N exhibió oscilaciones de 11 a 33 considerados como niveles normales y de muy lenta liberación de nitrógeno respectivamente (Medina, 1989).

Para el segundo horizonte de 10 a 30 cm (Tabla 2), los suelos en los distintos manejos presentaron rangos de pH de 5.03 a 6.15 calificado como ácido y moderadamente ácido, con menores contenidos de COT que la capa superficial, pero considerados de medios a altos (2.25 7.33 %). Esa misma tendencia se observó con el contenido de macro y micronutrientes, cuyas concentraciones disminuyeron con la profundidad independientemente del uso de la tierra. Al respecto, el % de Nt, NH₄⁺, Ca⁺² y Mg⁺² y algunos microelementos (Mn, Fe) mostraron valores de medios a altos, mientras que

el resto presentaron rangos categorizados como bajos (P, K, S, Cu, Zn, B) (Bertsh, 1995).

Los resultados de las variables químicas reflejan en gran medida la situación de los suelos locales, su baja fertilidad probablemente está relacionada con los materiales parentales sobre los cuales se han desarrollado que por su naturaleza son muy pobres en bases intercambiables, por el contrario muy ricos en hierro y cobre, lo que hace que el porcentaje de saturación con bases de estos suelo sea muy baja y generalmente ácidos, coincidiendo con previos estudios para la zona (Bravo et al., 2015; Martín y Pérez, 2009).

En términos prácticos significa, que al momento de proponer sistemas de producción para la Amazonía ecuatoriana hay que tomar en cuenta las restricciones. Las primeras relacionadas con los la acidez, los bajos contenidos de nutrientes de los suelos, que limitan su fertilidad y las otras ligadas al clima, la topografía, al drenaje que deberían definir la selección adecuada de los usos de la tierra para esta zona.

En síntesis, se puede señalar que la fertilidad física y química de los suelos en los primeros 10 cm de profundidad, es mejor que la segunda capa, lo cual está muy relacionado con los altos niveles de materia orgánica que principalmente mejora las condiciones físicas y la disponibilidad de nitrógeno. En condiciones amazónicas con vocación potencial para bosque se ha sugerido que la cantidad de hojarasca, y el desarrollo de raíces contribuyen a la construcción de un mayor reserva de materia orgánica en el suelo (Viana et al., 2014), lo cual tiene un efecto positivo sobre la formación y estabilidad de agregados del suelo y la retención de nutrientes. Su principal constituyente son las sustancias húmicas, que junto con los polisacáridos y la biomasa microbiana, son los ingredientes activos para la agregación del suelo (Hernández et al., 2008). Esa mayor entrada orgánica sobre y debajo de la superficie del suelo producto de una mayor diversidad de plantas cuya cantidad y calidad de hojarasca y raíces pueden contribuir a los ciclos biogeoquímicos.

Indicadores asociados a la Fertilidad del suelo en diferentes usos de la Tierra

El test KMO arrojó un valor de 0,64, evidenciando que no es una matriz de identidad ($P < 0.001$) y cuyo valor representa una condición aceptable para realizar el estudio multifactorial (Hair *et al.* 1999). Los factores asociados a la fertilidad que caracterizan los distintos usos de la tierra en el contexto amazónico se presentan en la Tabla 3.

El ACP indica que con cuatro componentes es posible explicar 70,54 % de la variabilidad del sistema. El primer CP etiquetado como *Físico* fue el que mayor varianza explicó, con 26,08 % según lo establecido en el método. Este CP se relaciona principalmente con el piso climático con varios indicadores estructurales como: densidad aparente, porosidad total, porosidad de

retención y algunos parámetros químicos del suelo que a su vez definen distintos procesos como la posibilidad de enraizamiento, compactación, movimiento de agua, aireación del suelo y la retención de humedad.

La densidad aparente representa una variable de gran significado agrícola por su influencia sobre otras propiedades como la resistencia a la penetración, la conductividad hidráulica saturada y la porosidad (Pla, 2010). La variación de estos indicadores incide directamente sobre el comportamiento hídrico y biogeoquímico, en el movimiento de agua y la aireación del suelo, lo cual resulta de gran relevancia en condiciones amazónicas debido a sus características climáticas como la alta pluviosidad (Bravo et al., 2015; Martín y Pérez, 2009).

Tabla 3. Matriz de ACP de los factores asociados a la fertilidad del suelo bajo distintos usos de la tierra en el contexto amazónico.

Componente	Variables	Factor de Peso	Autovalor	Varianza Acumulada %
CP1: Físico	Piso Climático	0,66	6,26	26,08
	Densidad Aparente Mg m ⁻³	-0,87		
	Porosidad Total, %	0,89		
	Porosidad de retención,%	0,91		
	Cobre, mg kg ⁻¹	0,69		
CP2: Químico- Físico	Profundidad, cm	-0,83	5,25	47,95
	Nitrógeno total,%	0,70		
	NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	0,70		
CP3: Químico	K ⁺ , meq 100 ml	0,83	3,53	62,64
	pH	0,64		
	P, mg kg ⁻¹	0,60		
	Ca ²⁺ , mg kg ⁻¹	0,88		
	Boro, mg kg ⁻¹	0,64		
	SB, meq 100 ml	0,86		
CP4: Orgánico	COT, %	0,82	1,90	70,54
	Relación C:N	0,92		
	S, mg kg ⁻¹	0,70		

K⁺: Potasio; **P**: Fósforo; **NH₄⁺**: Amonio; **S**: Azufre; **COT**: Carbono orgánico total; **Ca²⁺**: Calcio; **SB**: Suma de Bases. Fuente: Autores

Cuando se integran el segundo (Químico-Físico) y tercer (Químico) CP se explica hasta el 63 % de la varianza acumulada por el modelo ajustado, ambos integrados por indicadores relacionados con la fertilidad química. La disponibilidad de nutrientes en el suelo está muy marcado por la profundidad, sugiriendo que a mayor profundidad disminuye la cantidad de nutrientes disponible y el contenido de materia orgánica. Estos componentes se relacionan con la disponibilidad de nitrógeno en forma amoniacal, fósforo y potasio (N-P-K) que definen la fertilidad química del suelo y que las plantas

los requieren en grandes cantidades. Dichos nutrientes, normalmente se encuentran en cantidades de medianas a bajas, que se hacen más deficiente con la profundidad (Tabla 2) independientemente de la zona y de los usos de la tierra, lo cual los convierten en factores limitantes y puntos críticos a considerar en planes de fertilización (Bravo et al., 2015).

El comportamiento de las propiedades químicas de los suelos en la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), están muy marcadas por los procesos de formación y el clima que ejercen un papel importante en el proceso de ferralitización o enriquecimiento de hierro (Custode y Sourdat, 1986). Dicha ferralitización favorecida por las condiciones climáticas de la zona (altas precipitaciones), tiende hacia una hidrólisis total de los materiales primarios alterables y de las arcillas complejas de las rocas, por lixiviación de las bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}) y del sílice, lo que induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibsitita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros químicos principalmente el pH (Gardi et al., 2014). Estos aspectos son de gran relevancia para entender el nivel de fertilidad de los suelos de esta región y representan un elemento clave para el manejo y optimización de la fertilización cuando se cambia de un ecosistema natural a sistemas de manejo con cultivos o ganadería (Bravo et al., 2015; Nieto y Caicedo, 2012).

El cuarto CP etiquetado como *Orgánico* (Tabla 3) se relaciona principalmente, con el contenido de carbono orgánico total (COT) y la relación C:N y el contenido de azufre. La integración de este componente en conjunto explica el 70,54 % de la varianza acumulada del modelo. Los suelos en la región amazónica ecuatoriana se caracterizan por tener un espesor del horizonte superficial muy delgado con un valor promedio cercano a los 10 cm, donde existe mayor acumulación de materia orgánica con una intensa actividad biológica, la cual influye fuertemente en el comportamiento biogeoquímico y en gran medida su capacidad agroproductiva (Bravo et al., 2015).

En este contexto, la cantidad y el tipo de materia orgánica del suelo (MOS), influye en casi todas las propiedades que contribuyen a su calidad y ha sido señalada como un indicador importante de su fertilidad y productividad, debido a su papel crucial en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Chen *et al.*, 2009). Por ejemplo, los cambios producidos en la cantidad, composición y distribución en el perfil de las diferentes fracciones de la MOS por efecto de la introducción de cultivos de cobertura de gramíneas y leguminosas, en comparación con el ecosistema natural, está estrechamente relacionada con el periodo de tiempo bajo el sistema de manejo y con la calidad y cantidad de residuos que retorna al suelo (Lozano et al., 2012). El mejoramiento en la propiedades del suelo con el uso de los sistemas agroforestales ha sido atribuido al efecto combinado de procesos de reciclaje, transferencia, fijación biológica y mineralización de los nutrientes en el suelo, conjuntamente con el mejoramiento de las relaciones agua-aire y la dinámica de los macro y microorganismos del suelo (Vallejo-Quintero, 2013). Por tanto,

la fertilidad física como química del suelo está estrechamente relacionada con la conservación de materia orgánica y se puede considerar como un factor crítico para el manejo sustentable de los agroecosistemas (Gliessman, 2007).

CONCLUSIONES

Los factores de mayor contribución con un 70,54 % a la variación de la fertilidad de los suelos en la región amazónica está afectada principalmente por el piso climático, la profundidad, algunos indicadores físicos y químicos como la densidad aparente, porosidad total, porosidad de retención, pH, COT; N, P, K⁺¹, S, Ca⁺², B, Zn.

Los indicadores estructurales de los suelos evaluados como la densidad aparente, la distribución de tamaños de poros y la conductividad hidráulica saturada sugieren una adecuada fertilidad física, que puede variar de acuerdo al tipo de uso de la tierra, localidad y profundidad. La baja fertilidad química y acidez de los suelos estudiados sugiere que un cambio de uso de la tierra de bosque a sistemas agrícolas y/o pecuarios implica la aplicación nutrientes y enmiendas para satisfacer la demanda de los cultivos, por lo cual si se quiere fomentar un cambio en la matriz productiva, el enfoque de sistemas agroforestales o silvopasturas es una vía hacia la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- Álvarez, CR y M.A Taboada. (2008). Fertilidad física de los suelos. Segunda Edición. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires.237 p.
- Astier-Calderón, M.; M. Maass-Moreno; J. Etchevers-Barra. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620
- Bengio Y., Courville A., Vincent P. 2013. "Representation Learning: A Review and New Perspectives" (PDF). *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 35 (8): 1798–1828.
- Bertsh, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José. Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In Klute, A. (Ed.), *Methods of soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods ASA/SSSA*, Madison, pp 363-375.
- Bravo, C. (2015). Manejo del recurso suelo bajo agroecosistemas ganaderos. En: Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonía Ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica. Puyo-Pastaza. 15-45 pp.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas-Burgos, J. C., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Socio- Environmental Characterization of Agricultural Production Units in the Ecuadorian Amazon Region, Subjects Pastaza and Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4 (1): 3-31.

- Bravo, C; Z. Lozano; RM Hernández-Hernández; H Cánchica y I González. 2008. Siembra directa como alternativa Agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta Biol. Vene.* 28(1): 15-28
- Casanova, E. (2005): Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela.- UCV. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Caracas. Venezuela. 481 pp.
- Chen, H., R. Hou, Y. Gong., H. Li., M. Fan and Y. Kuzyakov. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 106:85-94.
- Custode. E y Sourdat M. 1986. Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Florentino, A. (1998). Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: Selección de indicadores físicos, valores críticos. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 14 p.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- Gliessman, S. R. 2007. Agroecology. The ecology of sustainable food system. Second Edition. Taylors & Francis Group. New York. United Sated. 384 pp.
- Guillaume, T., Maranguit, D., Murtillaksono, K., & Kuzyakov, Y. (2016). Sensitivity and resistance of soil fertility indicators to land-use changes: New concept and examples from conversion of Indonesian rainforest to plantations. *Ecological Indicators*, 67, 49-57.
- Hair, J.F., Anderson R.E., Tatham, R.L and Black, W.C. 1999. Analisis Multivariante. Quinta edición. Prentince Hall. Iberia, Madrid. p 832
- Hernández-Hernández R. M; E. Ramírez; I. Casto y S. Cano. 2008. Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y Eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia* 42:253-266.
- Lozano P; Z., Rivero; C. Bravo, C., Hernández, R.M. (2012). Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 28: 35-56
- MacBratney, A.B; DJ. Field and A Koch. 2013. The dimensions of soil security. *Geoderma* 213(2014): 203-213
- Martín, N.J. y Pérez, G. 2009. Evaluación agroproductiva de cuatro sectores en la provincia de Pastaza en la Amazonía Ecuatoriana. *Cultivos Tropicales* 30: (1) 5-10.
- Martínez, E; Fuentes JP y Acevedo-H, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8 (1) (68-96).

- Martínez, E; J. Fuentes; P. Silva; S. Valle; E. Acevedo. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99: 232–244.
- Medina, A., 1989. Bases para la interpretación de análisis de suelos y follaje. Departamento Técnico. COLJAP. Bogotá, Colombia, pp. 49
- Mena, C. F., Bilsborrow, R. E., & McClain, M. E. (2006). Socioeconomic drivers of deforestation in the Northern Ecuadorian Amazon. *Environmental Management*, 37(6), 802–815. <http://doi.org/10.1007/s00267-003-0230-z>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–8. <http://doi.org/10.1038/35002501>
- Nelson, D.W. and L.E. Sommer. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-579. In A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. ASA Monogr. 9(2). Amer. Soc. Agron. Madison. WI.
- Nieto, C. y Caicedo, C. 2012. Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazónica Ecuatoriana. INIAP-EECA. Publicación Miscelánea N° 405 Joya de los Sachas, Quito-Ecuador. 158 p.
- Pla, I. 2010. Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales* 40 (2):75-93.
- Simpson, R. J., Stefanski, A., Marshall, D. J., Moore, A. D., & Richardson, A. E. (2015). Management of soil phosphorus fertility determines the phosphorus budget of a temperate grazing system and is the key to improving phosphorus efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 212, 263-277
- Stainfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Torres, B.; F. Starnfeld; J. C. Vargas; G. Ramm; R. Chapalbay; M. Rios; A. Gómez; Y. Torricelli; I. Jurrius; A. Tapia; J. Shiguango; A. Torres; C. Velasco, A. Murgueytio and S.D. Cordoba-Bahle. (2014). *Gobernanza participativa en la Amazonía del Ecuador: recursos naturales y desarrollo sostenible*. Universidad Estatal Amazónica, Ministerio del Ambiente del Ecuador, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo y Cooperación Alemana al Desarrollo. Puyo, Ecuador. P.124
- Valera, C. A., Valle Junior, R. F., Varandas, S. G. P., Sanches Fernandes, L. F., & Pacheco, F. A. L. (2016). The role of environmental land use conflicts in soil fertility: A study on the Uberaba River basin, Brazil. *Science of The Total Environment*, 562, 463-473.
- Vallejo-Quintero, V.E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal* Vol. 16(1): 83–99.

- Vargas, J.C., Benítez, D; Torres, V; Ríos, S; Soria, S; Navarrete, H y Pardo, D. Torres, A. 2014. Tipificación de fincas ganaderas de doble propósito en la provincia de Pastaza. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología. 3:183-197.
- Vargas, J.C., Benítez-Jiménez, D; Bravo, C; Leonard, I; Pérez, M, Torres V; Ríos, S y Torres, A. 2015. Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonía Ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador. 174 pp.
- Vera, S., Lozano, Z., Lobo, D., Bravo, C., Hernández, R.M y Delgado, M. 2012. Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado. Rev. Fac. Agron. (UCV) 38(2): 49-63. 2012.
- Viana, R.C., Ferraz, JBS., Neves J.R., A.F., Viera, G., Pereira, B.F.F., 2014. Soil quality indicator for different restoration stages on Amazon rainforest. Soil & Tillage Research 140, 1-7.

REDVET: 2017, Vol. 18 N° 11

Este artículo Ref. 111705_RED VET (Ref. prov. 080817_factores) está disponible en
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111117.html>
concretamente en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111117/111705.pdf>

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria está editada por Veterinaria Organización®.

Se autoriza la difusión y reenvío siempre que enlace con [Veterinaria.org®](http://www.veterinaria.org) <http://www.veterinaria.org> y con
REDVET®- <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>