

# FERTILIDAD DEL SUELO DE BOSQUES TROPICALES Y PASTIZALES DE USO GANADERO EN EL SUR DEL ECUADOR

Leticia S. Jiménez<sup>1</sup>, Eduardo T. Mezquida<sup>2</sup>, Marta Benito Capa<sup>3</sup> y Agustín Rubio Sánchez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigación y Manejo Sustentable del Suelo, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto. 1101608-LOJA (Ecuador)

<sup>2</sup> Dpto. Silvopascicultura, E.T.S.I. de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. 28040-MADRID (España)

<sup>3</sup> Dpto. Edafología, E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. 28040-MADRID (España)

## Resumen

Los bosques tropicales del sur de Ecuador están sufriendo una rápida transformación a pastizales, por lo que es importante conocer el efecto de estos impactos en las características del suelo y su evolución tras un periodo prolongado de uso ganadero. En este estudio se han comparado varios parámetros de los suelos de bosques de la provincia de Zamora Chinchipe (Ecuador) con los de pastizales adyacentes (de más de 30 años bajo este uso). Se tomaron un total de 56 muestras de suelo en bosque y 56 en pastizal, a dos profundidades de (0–20 cm y 20–40 cm), en siete localidades. Para cada muestra se determinó: textura, color, densidad aparente, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio disponible. Tras unos 30 años después de la transformación del bosque a pastizal se observó que los pastizales presentaron resultados más altos para la densidad aparente, pH, materia orgánica, potasio, calcio, cobre y hierro en las dos profundidades, en cambio no se presentaron diferencias para el nitrógeno total, y magnesio en las dos capas; para el fósforo, manganeso y boro solo se encontró diferencia en la capa más profunda.

Palabras clave: *Deforestación, Ecuador, Fertilidad, Suelos tropicales, Usos del suelo*

## INTRODUCCIÓN

Las transformaciones que han experimentado grandes áreas boscosas como consecuencia del aprovechamiento ganadero han afectado a grandes superficies en todo el planeta. Todavía no están muy claras las consecuencias que tales transformaciones causan en los suelos, de manera que se sigue sin poder evaluar realmente la sostenibilidad de tales aprovechamientos. La región amazónica, con su gran riqueza forestal, florística y faunística, es una de las regiones en las que es posible a día de hoy seguir apreciando el incre-

mento de la frontera agrícola con el empleo de diversas prácticas agrícolas y, en concreto, la región amazónica de Ecuador es una de las zonas de selva amazónica con la tasa de deforestación anual más alta de América del Sur (FABIÁN *et al.*, 2005) siendo las actividades de reforestación muy poco habituales (RHOADES, 1999).

En los bosques de estas regiones, la mayor parte de los nutrientes se encuentran en los árboles y sólo una pequeña parte en el suelo. Por consiguiente, la incorporación de estos nutrientes tras actuaciones de quema, tala o siembra de cultivos, no permite la regeneración del suelo, lo

que acarrea un notable descenso de la fertilidad (ZECH et al., 1999). Efecto que debe ser más patente en los horizontes más superficiales, mientras que los más profundos deben conservar menos alteradas sus características originales. En este trabajo pretendemos identificar el cambio que experimentan las propiedades físicas y químicas del suelo al convertir los bosques en zonas de pastos, como consecuencia de las actividades ganaderas, a la vez que valorar la afeción a la fertilidad del suelo tanto en la capa más superficial, como en profundidad.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en la sección media de la Cuenca del río Zamora, Sudeste de Ecuador (coordenadas UTM 17751998 E y 9584147 N). La morfología del entorno resulta irregular debido a la presencia de dos grandes cordilleras Ecuatorianas (la Cordillera Occidental y la Oriental). Las zonas presentan altitudes medias en torno a 924 m.s.n.m. El clima del área de estudio es cálido tropical húmedo, con una temperatura media anual de 25°C, y una precipitación media anual de 2100 mm (ALMANAQUE ECUATORIANO, 2002). Los suelos se desarrollan sobre materiales de edad paleozoica, rocas ígneas jurásicas, sedimentarias cretácicas y una gama de depósitos superficiales del Cuaternario (INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERÍA DGGM, 1986). En la región del estudio los suelos dominantes son *Inceptisoles* del suborden *Aquepts*, del gran grupo *Tropaquepts* y del subgrupo *Fluventic* (INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERÍA, 1986). En concreto, en la zona de estudio dominan los suelos de la serie Yantzatza, caracterizados por ser suelos moderadamente profundos, procedentes de terrazas aluviales antiguas, mal drenadas, con un horizonte Apg de 20 cm de espesor de textura franco arcilloso y horizonte ABg de 60 cm de espesor de textura franco y horizonte ABg de 60 cm de espesor de textura franca horizonte ABg de 60 cm de espesor de textura franco (VALAREZO et al., 1998). En este área se han localizado dos tipos de sistemas: uno antrópico (pastizales y cultivos) y otro el Bosque Siempreverde Piemontano de la Amazonía cuya diversidad vegetal pertenece fundamentalmente a

las familias: *Annonaceae*, *Arecaceae*, *Lauraceae*, *Lecythidaceae*, *Myristicaceae*, *Meliaceae*, *Mimosaceae*, *Moraceae*, *Euphorbiaceae*, *Melastomataceae* y *Sapindaceae* (SIERRA, 1999).

### Muestreo

Los lugares de estudio se seleccionaron en base a los mapas del Instituto para el desarrollo Regional Amazónico y las fotos aéreas de 1976 obtenidas del Instituto Geográfico Militar, teniendo en cuenta el tipo de material geológico, la altitud, la pendiente y la edad de los pastizales. Se eligieron un total de siete sitios experimentales (fincas) donde fue posible ubicar un área de bosque secundario muy próxima a otra de área de pastizal, cuyas edades fueran aproximadamente entre 30 y 35 años de antigüedad (más detalles en JIMÉNEZ et al., 2007). En cada una de las dos áreas de cada finca se tomaron 4 muestras del suelo, teniendo la precaución de que ninguna de ellas hubiera sido fertilizada con anterioridad, ni hubiera sido influenciada por quemas recientes. Para la toma de muestras se utilizó un cilindro metálico (Ø 10 cm) a dos profundidades: de 0-20 y de 20-40 cm. Estas muestras se llevaron al laboratorio donde fueron secadas al aire y cernidas en un tamiz de 2 mm para separar la tierra fina.

### Análisis Edáficos

Para determinar la densidad aparente (Da) se pesó la muestra del cilindro y se aplicó la fórmula  $Da = \text{Peso}/\text{Volumen}$ . El pH con potenciómetro y agua desionizada (LUZURIAGA Y MENDOZA, 1992). La materia orgánica (MO) con el método Walkley y Black (NELSON & SOMMERS, 1996). El nitrógeno total (Nt) por el método de digestión Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982). El fósforo asimilable (P) extraído por el método OLSEN & SOMMERS (1982) y determinado por colorimetría (MURPHY & RILEY, 1962). Se determinaron K, Ca, Mg, (centimoles.kg<sup>-1</sup>), Zn, Mn, Cu, Fe asimilables (mg.kg<sup>-1</sup>), mediante una solución Olsen con determinación final de los elementos metálicos y alcalinotérreos por absorción atómica (SSSA, 1990); el B (mg.kg<sup>-1</sup>) soluble por colorimetría (BERGER, 1940).

### Análisis Estadístico

Para poner a prueba si hubo diferencias en los parámetros edáficos entre las zonas de bos-

que secundario y los pastizales adyacentes, se usaron modelos generales lineales mixtos (MGLM). Para cada parámetro edáfico se construyó un modelo, tomando el tipo de uso (bosque secundario o pastizal) como factor fijo anidado dentro del factor finca (cada uno de los siete sitios experimentales). El factor finca se definió como factor al azar. La mayoría de las variables fueron transformadas para incrementar la normalidad y homogeneizar las varianzas. Se utilizaron transformaciones logarítmicas, angulares y de Box-Cox, dependiendo del tipo de variable.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El promedio de la Da de los horizontes de los suelos estudiados fue de  $0,79 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  para el primer horizonte y  $0,91 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  para el segundo, valores en principio bajos para suelos de textura arcillosa o franco-arcillosa. En nuestro estudio, la Da de los pastizales en las dos profundidades fue significativamente mayor que la de los horizontes de suelos del bosque (bosque 0-20 cm:  $0,72 \pm 0,03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , pastizal 0-20 cm:  $0,87 \pm 0,03$ ,  $F_{7,42} = 3,7$ ,  $p < 0,01$ ; bosque 20-40 cm:  $0,82 \pm 0,03$ , pastizal 20-40 cm:  $1,00 \pm 0,04$ ,  $F_{7,42} = 4,7$ ,  $p < 0,001$ ). Estas diferencias fueron probablemente debidas a que el pisoteo del ganado podría favorecer una mayor compactación del suelo de estos pastizales.

La gran mayoría de estos suelos tropicales presentan pH ácidos (Figura 1A) determinados por fenómenos de lavado intenso como consecuencia de las altas precipitaciones (alrededor de 2.100 mm anuales), en sintonía con los resultados hallados en otros trabajos (ALVES Y PAZ, 2003; VALAREZO et al., 1998). Nuestros datos señalan unos pH significativamente más altos ( $p < 0,05$ ) en los horizontes superiores de los suelos de los pastizales que en los de bosque, coincidiendo con otros trabajos (VELDKAMP, 1994) que también detectan pH más ácidos en suelos de bosque que en suelos de pastizales en Costa Rica. En profundidad no hay diferencias significativas entre pastizales y bosques.

Los valores de MO en los horizontes de estos suelos oscilan entre muy altos en el horizonte superior y medios en los profundos (Figura 1B). En nuestro estudio los valores de la MO muestra-

ron diferencias significativas entre usos ( $p < 0,05$ ) en los horizontes superiores, observándose el mayor contenido en los pastizales, coincidiendo con ALVARADO (2004) al entender que en estos entornos el bosque manifiesta una gran eficiencia en el ciclo biogeoquímico con un rápido reciclado del material vegetal.

Los valores de Nt se han situado de forma general entre medio y alto, aunque sin mostrar diferencias significativas en cuanto a los usos en los distintos horizontes estudiados. En este hecho deben influir muy notablemente tanto que los contenidos de Nt en los suelos tropicales presentan un amplio rango de variación (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1987), como que en los suelos de pastizales se superponen el empobrecimiento atribuible a su aprovechamiento junto con un enriquecimiento debido a que entre el 60 y 90% del N es depositado de nuevo en el suelo a través de la orina o de los estiércoles (DI & CAMERON, 2002) procedentes del propio ganado.

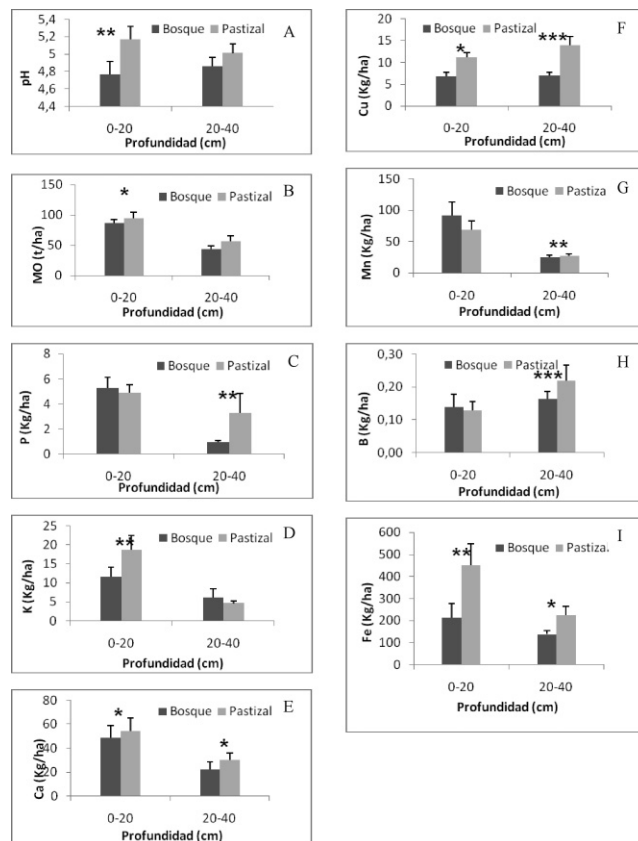
Las bajas cantidades observadas en los macronutrientes P, K, Ca y Mg se pueden atribuir al hecho de que la mayor cantidad de éstos se encuentra en la capa orgánica, que en los suelos de bosque montano bajo en Ecuador es muy delgada (WILCKE et al., 2002). En concreto, en relación al P asimilable son suelos muy pobres, incluso en la totalidad del perfil (VALAREZO et al., 1998). En nuestro estudio el horizonte superior del bosque ha presentado mayor cantidad de este elemento frente al pastizal, aunque sin llegar a ser significativa, a diferencia de lo observado en el segundo horizonte, donde se presentó una significativa ( $p < 0,01$ ) mayor cantidad de este elemento en los pastizales (Figura 1C). En una línea análoga a la comentada con el Nt distintos estudios han comprobado que del 60 al 99% del P ingerido por los animales procedente de los pastos es devuelto a los suelos a través de los excrementos (DI & CAMERON, 2002). La significativamente mayor cantidad de K en los horizontes superiores de los suelos de pasto ( $p < 0,01$ ), en comparación con los de bosque (Figura 1D), pudiera estar relacionada con posibles anteriores quemadas de estas zonas para su transformación, difíciles de evaluar. Además, es posible que este catión monovalente acuse con intensidad la facilidad para el lavado en un horizonte superior con menores contenidos de

humus como son los horizontes superiores de los bosques. Para el Ca se han detectado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto al uso para las dos profundidades (Figura 1E), pero no se observó diferencias estadísticamente significativas para el Mg, y por ello no se muestran.

En cuanto a hierro y cobre los pastizales manifiestan significativamente mejores niveles en sus contenidos en todo el perfil estudiado de los suelos de pastizales (Figura 1F, I), mientras que para el manganeso y el boro las diferencias significativas sólo se manifestaron en los horizontes más profundos (Figura 1G, H).

Así pues, con los modelos lineales generalizados mixtos utilizados es posible separar el importante efecto que provocan las distintas fincas, y así aislar y detectar el posible efecto que

provoca el distinto uso ganadero o de bosque en los distintos horizontes edáficos estudiados. En concreto se ha podido observar que los suelos de los pastizales muestran unas mejores características en su fertilidad, comparados con los suelos de los bosques. En ello debe estar influyendo, por un lado las elevadas tasas de mineralización típicas de los suelos de bosque, y por otro el aporte de ciertos nutrientes y materia orgánica en el estiércol y orina del ganado que realiza el aprovechamiento de los pastizales, junto con la tupida red de raíces finas de los pastizales que protegen estos suelos de posibles pérdidas. Todo ello debe ser el motivo de que la explotación ganadera que se ha llevado a cabo no haya provocado un empobrecimiento notable en la fertilidad de estos suelos.



**Figura 1.** Valores promedio y error estándar de los parámetros edáficos estudiados en los suelos de bosque (barras oscuras) y de pastizales adyacentes (barras claras). Niveles de significación según los MGLM \*: 0,05; \*\*: 0,01; y \*\*\*: 0,001

## Agradecimientos

Agradecemos a Diana Samaniego y Daniel Capa su colaboración en el campo y a Simone Radersma, Pablo Ramón, W. Wilcke y J. Gallardo sus valiosos comentarios.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMANAQUE ECUATORIANO; 2002. *Edipcentro*. Riobamba – Ecuador.
- ALVARADO, A; 2004. Producción de madera con bajos insumos, reciclaje de nutrientes en plantaciones y bosques tropicales. *En: IX Congreso Ecuatoriano y I Binacional de la Ciencia del Suelo*: 8 – 12. Centro de Investigaciones Agronómicas, Escuela de Agronomía Universidad de Costa Rica. Loja-Ecuador.
- ALVES, M. Y PAZ, J.; 2003. Variabilidad en el pH de un suelo decapitado sometido a diferentes tratamientos de recuperación. *En: IX Conferencia Española de Biometría*: 3-4. La Coruña.
- BERGER, K.C & TRUOG, E.; 1940. Boron deficiencies as revealed by plant and soil test. *Amer. Soc. Agron.* 32: 297-301.
- BREMMER, J.M. & MULVANEY, C.S.; 1982. Nitrogen-total. *In: A.L. Page, R.H. Mille &, D.R. Keeney (eds.), Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd edn. (Agronomy series 9): 595-624. ASA, SSSA. Madison, Wis.
- DI, H. & CAMERON, K.; 2002. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. *Soil Use Manage.* 20(1): 2-7.
- FABIÁN, P.; KOHLPAINNER, M. & ROLLENBECK, R.; 2005. Biomass burning in the amazon – fertilizer for the mountaineous rain forest in Ecuador. *Environent Sci. Pollut. Res.* 12(5): 1-7.
- FASSBENDER, H. & BORNEMISZA, E.; 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. San José, Costa Rica.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERÍA; 1986. *Compilado del IGM. Paquisha, escala 1:100000, hoja 76*. Zamora Chinchipe. Ecuador.
- JIMÉNEZ, L.S.; MEZQUIDA, E.T.; BENITO, M. Y RUBIO, A.; 2007. Cambio en las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales en Zamora-Chinchipe (Ecuador). *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 22: 65-70.
- LUZURIAGA, C. Y MENDOZA, E.; 1992. *Laboratorio de suelos, fertilizantes y plantas de Tumbaco*. ORSTOM.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P.; 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analysis Chemical Acta* 27: 31-36.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E.; 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: J.M. Bartels & Bigham, J.M. (eds), Methods of soil analysis, part 3. Chemical Methods*, 3rd edn. (Agronomy series 5): 961-1010. ASA, SSSA, Madison, WI.
- OLSEN, S.R. & SOMMERS, L.E.; 1982. Phosphorus. *Methods of soil analysis. In: A.L. Page et al. (eds.), Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy Monogr.* 9: 403-430. ASA and SSSA. Madison, WI.
- RHOADES, C.; ECKERT, G. & COLEMAN, D.; 1998. Effect of pasture trees on soil nitrogen and organic matter: Implications for tropical montane forest restoration. *Rest. Ecol.* 6(3): 262–270
- SIERRA, R.; 1999. *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental*. Proyecto INEFAN/GEF – BIRF Y ECOCIENCIA. Ecuador.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA.; 1990. *Soil testing and plant analysis*. Editor: R. L. Westerman. Soil Science of America. Madison, WI.
- VALAREZO, C.; IÑIGUEZ, M.; VALAREZO, L. Y GUAYA, P.; 1998. *Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador*. Loja, Ecuador.
- VELDKAMP, E.; 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science. Soc. Am. J.* 58: 175 -180.
- WILCKE, W.; YASIN, S.; ABRAMOWSKI, U.; VALAREZO, C. & ZECH, W.; 2002. Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *Eur. J. Soil Sci.* 53(1): 16 – 26.
- ZECH, W.; WILCKE, W. & VALAREZO, C.; 1999. *Influencia del uso del suelo en las propiedades del suelo y de elementos en los elementos en los bosques montañosos del Sur del Ecuador. Informe de los resultados del periodo 1997 – 1999*. Loja, Ecuador.