



A4-618 Indicador general de calidad del suelo en diferentes sistemas de uso del suelo en el Sur de Brasil

Elodie da Silva⁽¹⁾, Elena Velásquez⁽²⁾, Alessandra Santos⁽³⁾, Marie Luise Carolina Bartz⁽⁴⁾, Patrick Lavelle⁽⁵⁾, George Gardner Brown⁽⁶⁾

(1) Posdoc CNPq – Embrapa Florestas, Colombo/PR, Brasil elodie_dasilva@live.fr; (2) Profesora, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Colombia evelasquezi@unal.edu.co; (3) Estudiante Maestrado Universidad Federal do Paraná, Curitiba/PR, Brasil, ale.santos91@hotmail.com; (4) Profesora, Universidad Positivo, Curitiba/PR, Brasil, bartzmarie@gmail.com; (5) Profesor emérito Universidad Paris VI, patrick.lavelle@ird.fr; (6) Investigador, Embrapa Florestas, Colombo/PR, Brasil, minhocassu@gmail.com

Resumen

Como la degradación de los ecosistemas está asociada con una pérdida importante de la biodiversidad del suelo, es necesario evaluar la calidad del mismo para identificar y desarrollar prácticas agrícolas sustentables. Velasquez et al. (2007) propusieron un Indicador General de la Calidad del Suelo (GISQ en inglés) que combina varios subindicadores. Estos también pueden ser considerados para la evaluación de varios servicios ecosistémicos (SE) como la biodiversidad, la estructura del suelo, la reserva hídrica y el ciclo de los nutrientes. El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto de diferentes usos del suelo en una Reserva Natural en Brasil sobre la calidad del suelo. En cada sistema se midieron las variables asociadas a la diversidad del suelo, fertilidad, propiedades físicas y morfología de los agregados. En el bosque se obtuvieron los mayores valores para el GISQ (0,80) y para los subindicadores de macrofauna, química y física. El análisis ACP diferenció significativamente ($p < 0.001$) el cultivo de Soja de los otros sistemas, basado en sus valores menores en los subindicadores. El GISQ reflejó la provisión de los SE, mostrando que a mayor calidad del suelo, mayor es la producción de SE. La metodología utilizada puede ser aplicada en cualquier lugar y permite el monitoreo de los cambios de usos de suelo. Además, podría ayudar en la implementación de tecnologías de restauración del suelo.

Palabras-claves: Macrofauna; Subindicadores; Servicios Ecosistémicos; Monitoreo.

Abstract

Since the degradation of ecosystems is associated with an important loss of soil biodiversity, there is an urgent need for soil quality evaluation in order to identify and develop more sustainable practices. A General Indicator of Soil Quality (GISQ) has been proposed by Velasquez et al. (2007) which combines a set of subindicators. These subindicators may also be considered as indicators of the performance of different ecosystem services (ES) such as soil structure and nutrient cycling. This study aimed to evaluate the impact of different land-use systems on soil quality in a Natural Reserve of South Brazil. Variables associated with soil biodiversity, fertility, physical properties and aggregate morphology were measured for each system. The highest GISQ average value was calculated for the Forest (0.80), while this system also had the highest values for macrofauna, chemical and physical subindicators. PCA analysis showed a significant separation ($p < 0.001$) of the Soybean crop from the others systems based on the lowest subindicators values. The GISQ reflected the provision of soil ES, showing that better soil quality produces more ES. The methodology used can be applied extensively and allows monitoring of land-use changes through time. It could therefore guide the implementation of soil restoration technologies.

Keywords: Macrofauna; Subindicators; Ecosystem Services; Monitoring.

Introducción

Los suelos son un recurso esencial en múltiples servicios ecosistémicos que proveen beneficios a la población humana. Estos servicios ecosistémicos (SE) incluyen el suministro de nutrientes para las plantas, el mantenimiento de la estructura del suelo y la regulación del clima, siendo además un importante componente de la biodiversidad en los ecosistemas (ej. comunidad de macro invertebrados) (MEA, 2005). La macrofauna del suelo juega un papel importante en los procesos biológicos y fisicoquímicos del suelo. Ella contribuye en el mantenimiento de condiciones favorables para las plantas y los microorganismos del suelo (Brown et al., 2000; Lavelle et al., 2006). También influye en la agregación del suelo y en propiedades tan importantes como la infiltración y el almacenamiento de agua y carbono (Lavelle et al., 2006). La degradación de los ecosistemas esta asociada a la pérdida de biodiversidad y a los servicios que esta provee, por lo tanto es necesario desarrollar herramientas que permitan evaluar la calidad del suelo con el fin de desarrollar prácticas más sustentables (MEA, 2005; Pulleman et al., 2012).

El Indicador General de Calidad del Suelo GISQ (por sus siglas en ingles) es un índice sintético que se ha generado y validado en varios proyectos de investigación a nivel mundial (Velasquez et al., 2007a; Grimaldi et al., 2014; Lavelle et al., 2014). Este indicador de la calidad del suelo evalúa los servicios de los ecosistemas del suelo a través de un conjunto de varios subindicadores. El diseño y el cálculo del GISQ se basan en secuencias de análisis multivariados. Los subindicadores evalúan la calidad física, la fertilidad química, la materia orgánica, la agregación a través de la morfología y la biodiversidad de la macrofauna del suelo. Se utilizo este GISQ para evaluar la calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en la Reserva Natural de Sur de Brasil que representa solo el 7% de la Mata Atlántica.

Metodología

El trabajo de campo fue realizado en la Reserva Natural de la Mata Uru localizado a 6 km de Lapa-PR, en el sur de Brasil (25°48'11"S e 49°41'27"W), en Febrero de 2015. Se evaluó la calidad del suelo en cinco tipos de uso: Campo nativo (C), Bosque nativo (F), Bosque en regeneración (R), Pastizal (P) y cultivo de soja con labranza mínima (S). En cada sistema de uso del suelo se trazaron dos transectos separados 30m y se colectaron seis muestras en cada sistema.

La macrofauna fue determinada utilizando el método TSBF – Tropical Soil Biology and Fertility – (Lavelle, 1988; Anderson & Ingram, 1993) con monolitos de 25*25cm hasta 20 cm de profundidad. Los invertebrados fueron separados e identificados en 19 órdenes. La fertilidad química se evaluó a través de ocho propiedades (pH, C, K, P, Ca, Mg, Al, Na), se evaluaron además las siguientes variables físicas del suelo: densidad aparente, humedad gravimétrica y resistencia a la penetración.

La morfología del suelo se evaluó según la metodología desarrollada por Velásquez et al. (2007a., 2007b); en cada punto se tomó un monolito de 10x10cm y 10cm de profundidad, cada uno de estos bloques fueron separados suavemente para obtener sus diferentes componentes: (1) Agregados biogénicos, producidos por los “ingenieros del ecosistema” como las lombrices, termitas, hormigas y algunas larvas de coleópteros; los cuales pueden diferenciarse por sus colores oscuros (deyecciones de lombrices), formas circulares, galerías y macroporos, (2) Agregados físicos, producto de compactaciones producidas por el pisoteo de animales y la acción del agua, generalmente en suelos arcillosos y con presencia

de ganado, los cuales se diferencian por sus formas planas y angulares, (3) Agregados producidos por las raíces, (4) Materia orgánica (fragmentos de tallos, hojas, madera, semillas, flores), (5) Suelo sin agregar, (6) raíces y (7) piedras. El material residual de la separación de los anteriores componentes fue tamizado (0.5cm de diámetro) y considerado como suelo sin agregar. Todos los agregados y el suelo sin agregar fueron secados en un horno a 60°C durante 24 horas.

Tratamiento estadístico de los datos: Para cada grupo de variables (macrofauna, fertilidad química, la calidad física y morfología) se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y un test de Montecarlo. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R (R Core Team, 2013) y el paquete ade4 para el análisis multivariado (Dray y Dufour, 2007). Para la construcción del indicador general de la calidad del suelo (GISQ) se siguieron cuatro etapas diferentes: (i) el análisis de ACP cada uno de los cuatro conjuntos de variables lo cual permite discriminar los sitios en función de su calidad y del tipo de uso del suelo, (ii) identificación de las variables que mejor diferencian los sitios de acuerdo a la calidad del suelo, (iii) la creación de subindicadores de la calidad del suelo física, fertilidad química, morfología y macrofauna del suelo, con valores que van desde 0,10 a 1,00; (iv) combinación de los cuatro subindicadores en un indicador general. En el artículo Velasquez et al (2007a) se encuentra una explicación detallada de todo el cálculo del GISQ. Se realizó un ANOVA para evaluar la diferencia entre los sistemas de uso del suelo.

Resultados y discusión

El Bosque nativo (F) presentó el valor promedio más alto del GISQ (0.80, p-value < 0.03), así como los valores más altos de abundancia y diversidad de macrofauna y de calidad fisicoquímica del suelo (Tabla 1). El Pastizal (P) y el Bosque en regeneración (R) presentaron valores intermedios (0.61). Los altos valores del subindicador de morfología en el Pastizal se relacionan con la alta presencia de lombrices de tierra y la formación de agregados biogénicos producto de la actividad de estas. Los valores más bajos del GISQ los presentó el cultivo de soja (S) (0.23, p-value < 0.01) al igual que en otros trabajos en los cuales se ha calculado el GISQ en Colombia (Lavelle et al., 2014).

TABLA 1. Valores promedio, desviación estándar (SD) y rangos de los subindicadores y del GISQ en cada sistema de uso del suelo. Las letras indican diferencia significativa en los valores del indicador entre los sistemas (ANOVA, $p < 0.05$).

Sistema		Morfología	Física	Macrofauna	Química	GISQ
Bosque	Media ± SD	0.52 ± 0.17 bc	0.79 ± 0.13 a	0.73 ± 0.14 a	0.75 ± 0.17 a	0.80 ± 0.11 a
	Rango	0.34-0.84	0.60-1.0	0.57-0.89	0.60-1.0	0.67-1.0
Regeneración	Media ± SD	0.49 ± 0.13 bc	0.52 ± 0.24 b	0.57 ± 0.15 a	0.66 ± 0.06 ab	0.61 ± 0.05 b
	Rango	0.39-0.70	0.34-0.99	0.35-0.76	0.56-0.73	0.54-0.67
Campo nativo	Media ± SD	0.55 ± 0.12 bc	0.32 ± 0.13 b	0.72 ± 0.15 a	0.50 ± 0.14 b	0.55 ± 0.12 b
	Rango	0.44-0.79	0.10-0.48	0.58-1.0	0.22-0.60	0.34-0.65
Pastizal	Media ± SD	0.74 ± 0.14 ab	0.49 ± 0.14 b	0.54 ± 0.24 a	0.47 ± 0.12 bc	0.61 ± 0.10 b
	Rango	0.64-1.0	0.31-0.74	0.26-0.94	0.33-0.62	0.46-0.73
Soja	Media ± SD	0.30 ± 0.16 cd	0.29 ± 0.08 b	0.23 ± 0.08 b	0.24 ± 0.15 c	0.23 ± 0.10 c
	Rango	0.10-0.48	0.21-0.41	0.10-0.30	0.10-0.50	0.10-0.34

El ACP presentó diferencia significativa ($p < 0.001$) en la separación de los sistemas de uso del suelo en función de los valores de los subindicadores (Figura 1). El primer factor explica el 52.8% de la variabilidad de los datos y separa principalmente el cultivo de soja con los valores más bajos de todos los subindicadores. El segundo factor explica el (27.0%) y separa los sistemas con bosque con los valores mas altos de los subindicadores físicos y químicos del suelo. Estos sistemas presentaron además los valores más altos de abundancia y diversidad de macrofauna, lo que explica sus altos valores del GISQ y demuestra que la macrofauna puede ser utilizada como un buen indicador de la calidad del suelo (Brown et al., 1999; Velasquez et al., 2007a).

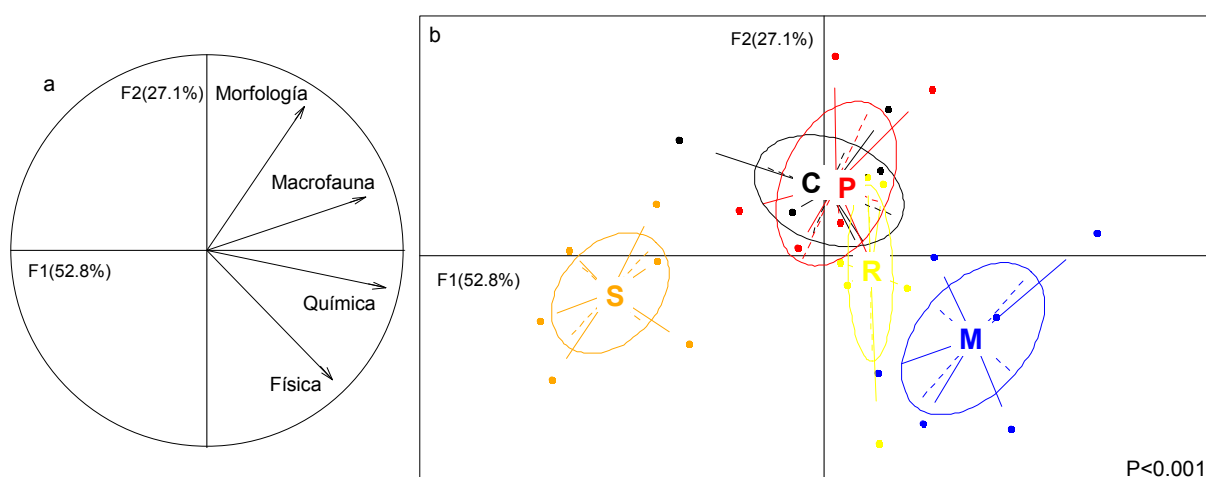


FIGURA 1. ACP de los subindicadores. (a) círculo de correlación de las variables. (b) proyección de los sistemas de uso del suelo en función de los subindicadores.

Los subindicadores pueden ser utilizados para evaluar diferentes servicios ecosistémicos, a través del subindicador de la morfología se puede evaluar la estructura del suelo y propiedades importantes de este como la infiltración y el almacenamiento de químico agua. El subindicador químico evalúa de igual forma la fertilidad química y la capacidad del suelo para sustentar la producción primaria (Velasquez et al., 2007a). En forma general el GISQ permite no solo evaluar la calidad del suelo sino detectar problemas en su funcionamiento y tomar medidas para corregir estos problemas.

Conclusiones

La macrofauna del suelo puede utilizarse como indicadora de calidad de suelo, de rápido, fácil y económico manejo. Su relación con las diferentes características físico-químicas y de materia orgánica, la convierten en una poderosa herramienta de evaluación y monitoreo de la calidad del suelo.

Los diferentes subindicadores, biológico (densidad y abundancia de macrofauna), químico, físico y de morfología, se muestran como metodologías que permiten evaluar los diferentes bienes y servicios del ecosistema y monitorear características físicas como la infiltración del agua, el estado de compactación, aireación, efecto de las estructuras biogénicas, entre otras. El subindicador químico puede utilizarse para evaluar el estado de fertilidad de los suelos y facilitar la toma de decisiones en la aplicación de fertilizantes, insumos y MO.



Agradecimientos

Agradecemos la participación de los estudiantes del curso de Indicadores de Calidad del Suelo impartido en la Universidad Federal of Parana (UFPR) en Febrero 2015.

Referencias bibliográficas

- Anderson, J.M., Ingram, J.S.I., 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods., Wallingford. ed. Oxford University Press, UK.
- Brown, G.G., Pashanasi, B., Villenave, C., Patron, J., Senapati, B.K., Giri, S., Barois, I., Lavelle, P., Blanchart, E., Blakemore, R.J., Spain, A.V., Boyer, J., 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics, in: Lavelle, P., Brussaard, L., Hendrix, P.F. (Eds.), Earthworm Management in Tropical Agroecosystems. pp. 87–147.
- Brown, G.G., Barois, I., Lavelle, P., 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.* 36, 177–198.
- Dray S., Dufour AB., 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *J Stat Softw* 22(4):1–20
- Grimaldi, M., Oszwald, J., Dolédec, S., Hurtado, M. Del P., Miranda, I. De S., Sartre, X.A. De, Assis, W.S. DE, Castañeda, E., Desjardins, T., Dubs, F., Guevara, E., Gond, V., Lima, T.T.S., Marichal, R., Michelotti, F., Mitja, D., Noronha, N.C., Oliveira, M.N.D., Ramirez, B., Rodriguez, G., Sarrazin, M., Da Silva JR., M.L., Costa, L.G.S., Souza, S.L. DE, Veiga, I., Velasquez, E., Lavelle, P., 2014. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: searching for landscape drivers. *Landsc. Ecol.*
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.-P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.* 42, S3–S15. doi:10.1016/j.ejsobi.2006.10.002
- Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M. Del P., Loaiza, S., Xiomara Pullido, S., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E., Fonte, S.J., 2014. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 185, 106–117. doi:10.1016/j.agee.2013.12.020
- Millenium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Pre. ed. Washington, DC.
- Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Pérès, G., Rutgers, M., 2012. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4, 529–538. doi:10.1016/j.cosust.2012.10.009
- R Core Team (2013) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Velasquez, E., Lavelle, P., Andrade, M., 2007a. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 39, 3066–3080. doi:10.1016/j.soilbio.2007.06.013
- Velasquez, E. ; Lavelle, P. ; Grimaldi, M. ; Martins, M. ; Didier Brunet ; Céline Pelosi ; Ana Carolina Rendeiro ; Edmundo Barrios 2007b. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. *Pedobiologia*, v. 51, p. 75-87.