

Recibido 18 de febrero de 2017 // Aceptado 14 de marzo de 2018 // Publicado online 15 de mayo de 2019

Distribución espacial de lombrices de tierra y propiedades de un Inceptisol en la ceja de selva peruana

MESTANZA NOVOA, C.J.¹; ZOROGASTÚA CRUZ, P.E.²

RESUMEN

Las lombrices de tierra son los agentes más estudiados de la macrofauna del suelo. La influencia de su actividad sobre las propiedades del suelo se ha comprobado en diversas investigaciones. Sin embargo, son pocos los estudios a nivel de distribución espacial. El presente estudio evaluó la distribución espacial de la comunidad de lombrices y propiedades de un Oxyaquic Humudepts utilizando el sistema SADIE (índices de distancia). Las muestras se tomaron de un cafetal orgánico, en el distrito de Santa Rosa de Huayabamba ubicado en la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas, Perú. El área de estudio ocupó 900 m² ubicando 49 puntos de muestreo en una malla regular de 30 m x 30 m con distanciamientos de 5 m entre puntos. Las mediciones comprendieron densidad y biomasa total de lombrices, densidad de adultos y juveniles, carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo disponible, reacción del suelo (pH), densidad aparente, humedad gravimétrica y relación C:N. Se elaboraron mapas por interpolación de los índices obtenidos con SADIE para facilitar la interpretación. Los resultados revelan que la densidad y biomasa total de lombrices, densidad de adultos y juveniles, fósforo disponible y densidad aparente se distribuyen en patrones agregados ($I_a \geq 1,40$), mientras que el carbono orgánico total ($I_a = 0,97$), nitrógeno total ($I_a = 0,98$), pH ($I_a = 1,22$), humedad gravimétrica ($I_a = 1,18$) y relación C:N ($I_a = 0,15$) son aleatorios. A su vez la comunidad de lombrices presentó una asociación espacial positiva con el nitrógeno total (densidad lombrices 0,32; adultos 0,31; juveniles 0,37) y negativa con la densidad aparente (adultos -0,32; biomasa -0,37) y la relación C:N (densidad lombrices -0,44; juveniles -0,39; biomasa -0,40). Concluimos que las comunidades de lombrices tienen patrones agregados y baja asociación espacial con las propiedades del suelo excepto para el nitrógeno total, densidad aparente y relación C:N.

Palabras clave: patrón agregado, asociación espacial, SADIE.

ABSTRACT

Earthworms are the most studied agents of soil macrofauna. The influence of its activity on the soil properties was prove in several investigations. However, are few studies at spatial distribution level. The present study evaluated the spatial distribution of the earthworms and Oxyaquic Humudepts properties using the SADIE system (distance indices). The samples were taken from an organic coffee plantation in the Santa Rosa de Huayabamba district in Rodriguez de Mendoza province at Amazonas region – Peru. The study area had 900 m², placing 49 sampling points in a regular grid of 30 x 30 m² with distances of 5 m between points. Earthworm

¹Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Agronomía, Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú.
Correo electrónico: julian.cmn@gmail.com

²Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Agronomía, Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú.
Correo electrónico: percyz@lamolina.edu.pe

total density and biomass, adult and juvenile density, total organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, pH, bulk density, gravimetric moisture and C:N were measured. Maps were produced by interpolation of the SADIE indices to facilitate interpretation. The results show that the total density and biomass, adult and juvenile density, available phosphorus and bulk density were distributed in aggregate patterns ($Ia \geq 1,40$), while total organic carbon ($Ia = 0,97$), total nitrogen ($Ia = 0,98$), pH ($Ia = 1,22$), gravimetric moisture ($Ia = 1,18$) and C:N ($Ia = 0,15$) were distributed in random patterns. In turn, the earthworm community had a positive spatial association with total nitrogen (earthworm density 0,32; adults 0,31; juveniles 0,37) and negative with bulk density (Adults -0,32; biomass -0,37) and C:N (earthworm density -0,44; juveniles -0,39; biomass -0,40). We conclude that earthworm communities have aggregate patterns and low spatial association with soil properties except for total nitrogen, bulk density and C:N.

Keywords: aggregate pattern, spatial correlation, SADIE.

INTRODUCCIÓN

Las lombrices son el componente más importante de la macrofauna del suelo en términos de abundancia. Dada la importancia de sus actividades son llamados ingenieros del ecosistema (Lavelle y Spain, 2003). Autores como Choosai *et al.* (2001) observaron incrementos en la concentración de elementos minerales en los sitios donde se concentraban sus excretas. Lavelle *et al.* (1999) notaron la influencia positiva y negativa de ciertas especies sobre las propiedades físicas del suelo, y Bernard *et al.* (2012) concluyeron que las lombrices propician la mineralización de la materia orgánica al estimular cambios en la estructura de las comunidades bacterianas.

Los procesos ecológicos presentan patrones espaciales; agregados, uniformes, en gradiente o aleatorios, conceptos asociados de forma intuitiva a la distribución en el espacio de los organismos (Maestre y Escudero, 2008). Debido a la influencia de las lombrices sobre las propiedades del suelo, el patrón espacial de las propiedades puede estar influenciado directamente por el patrón de las lombrices. Para determinar esto se planteó determinar la distribución espacial de los parámetros poblacionales de la comunidad de lombrices, densidad total de lombrices (Lo), densidad de adultos (Ad), juveniles (Ju) y biomasa total (Bio), y propiedades del suelo como, carbono orgánico total (Cox), nitrógeno total (N), fósforo extractable con Olsen (Po), reacción del suelo (pH), densidad aparente (Da), humedad gravimétrica (H) y relación C:N. Y finalmente evaluar la asociación espacial entre los parámetros poblacionales y las propiedades del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio

El estudio procedió en febrero del 2014 en un cafetal orgánico localizado en el distrito de Santa Rosa de Huayabamba de la provincia de Rodríguez de Mendoza (región Amazonas) ubicado en las coordenadas UTM 228471

9286184 y a una altitud de 1775 m s. n. m. La descripción del sitio se hizo con los datos de la zonificación ecológica y económica de Amazonas (IIAP, 2010). La fisiografía son montañas de laderas moderadamente empinadas con pendientes entre 15 y 25%. La geología pertenece a la formación Chonta, caracterizada por calizas de color crema y areniscas limosas color verdoso con concreciones de cuarzo. La ecología es un bosque muy húmedo montano bajo tropical, según el esquema de zonas de vida de Holdridge. Se evaluó y clasificó un pedón modal hasta la categoría de subgrupo obteniendo un Oxyaquic Humudepts (Soil Survey Staff, 2014).

Colecta y análisis de muestras

Se estableció una malla regular de 30 m x 30 m tomando muestras cada 5 m resultando en un total de 49 puntos de muestreo. El método empleado para evaluar la comunidad de lombrices fue el de abundancia de la macrofauna del suelo, del Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales o método TSBF por sus siglas en inglés (Moreira *et al.*, 2012). Se extrajeron lombrices a tres profundidades 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm; posteriormente las lombrices fueron conservadas en solución de formol al 4% (10% de la solución comercial) para su pesado y registro de la biomasa total en laboratorio.

Paralelamente se tomaron muestras de suelo para cada profundidad, y analizaron en el laboratorio de Fertilidad de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina con los siguientes procedimientos: nitrógeno total con micro kjeldahl, carbono orgánico total por digestión en H_2SO_4 , fósforo extractable con Olsen, pH con potenciómetro (1:1), densidad aparente con cilindro, humedad gravimétrica con método gravimétrico, relación C:N por cálculo.

Análisis de datos

Los datos de las tres profundidades se promediaron para conseguir un único valor de 0 a 30 cm. El análisis espacial

se hizo utilizando el sistema Spatial Analysis by Distance Indices (SADIE) propuesto por Perry *et al.* (1996). La metodología cuantifica el patrón espacial de la variable objeto de estudio, detecta los agregados locales de la variable y cuantifica el grado de asociación o disociación espacial entre pares de variables; genera estadísticos continuos para cada punto de muestreo, con lo que las diferentes facetas del patrón espacial que SADIE detecta, pueden ser representadas mediante mapas (Quero, 2006). Los índices obtenidos con SADIE son: el índice de agregación (I_a), índice de agrupación (U_{ij}), y asociación global (X). Por una parte, Perry *et al.* (1996) establecen que valores de la > 1 indican un patrón agregado, la < 1 patrón regular y la $= 1$ patrones aleatorios. Por otra parte, valores de u mayores de 1,5 (U_i) o menores de -1,5 (U_j) advierten sobre la presencia de manchas y claros respectivamente, mientras valores cercanos a la unidad significan ubicación aleatoria de una unidad con respecto a las vecinas.

Los valores positivos de la asociación global señalan asociación positiva y los negativos, disociación. Finalmente, los datos y los índices de agrupación (U_{ij}) se interpolaron a un poder de dos utilizando la distancia inversa ponderada (IDW). El IDW fue elegido en lugar del kriging porque la distribución de los datos es de tipo Poisson y la cantidad de los datos no es la adecuada para estimar un buen variograma. Hengl (2009) recomienda un mínimo de 50 observaciones mientras que Webster y Oliver (2007) sugieren 100 observaciones para variogramas isotrópicos y 250 para anisotrópicos. Los análisis se realizaron con el software SADIE (Conrad, 2008) y los mapas fueron generados con qgis desktop 2.8.1 (QGIS development team, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comunidad de lombrices

Los resultados del análisis SADIE muestran patrones agregados (tabla 1) significativos para la densidad total,

| Variable | I_a | U_j | U_i |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Lo | 1,76 | -1,61 | 1,53 |
| Ad | 1,64 | -1,54 | 1,53 |
| Ju | 1,57 | -1,43 | 1,55 |
| Bio | 1,76 | -1,60 | 1,67 |
| Cox | 0,97 | -0,96 | 0,92 |
| Po | 1,48 | -1,53 | 1,41 |
| N | 0,98 | -0,95 | 0,83 |
| pH | 1,22 | -1,14 | 1,23 |
| Da | 1,70 | -1,65 | 1,50 |
| H | 1,18 | -1,16 | 1,11 |
| Cox/N | 1,15 | -1,15 | 1,17 |

Tabla 1. Índices de agregación obtenidos con SADIE. Valores en negrita indican significancia estadística.

adultos, juveniles y biomasa. En los mapas (figura 1) se evidencia la presencia de manchas y claros más intensos para la densidad y biomasa totales que para los adultos y juveniles. Los resultados de diversos estudios presentan distribuciones variables. Rossi *et al.* (2006) y Gutiérrez *et al.* (2010) observaron que la densidad de la comunidad de lombrices (todas las especies) tiene patrones agregados. Sin embargo, al evaluar poblaciones (individuos de una sola especie), algunas presentan patrones agregados (Rossi, 2003a y Rossi, 2003b) y otras aleatorios (Jiménez *et al.*, 2011; Richard *et al.*, 2012). En el presente trabajo, a nivel de comunidad de lombrices, se determinaron patrones agregados haciendo evidente que al analizar a nivel de comunidad la tendencia es la agregación, sea individuos adultos, juveniles o ambos.

Propiedades del suelo

Por un lado, las propiedades del suelo presentaron patrones aleatorios con excepción del fósforo y la densidad aparente. Generalmente el fósforo se comporta en patrones agregados, como lo presentan Jiménez *et al.* (2011) y Nuutinem *et al.* (1998). Por otro lado, en los trabajos de Rossi *et al.* (2006) y Nuutinem *et al.* (1998), la densidad aparente se comportó de manera aleatoria. Cabe destacar que la densidad aparente es una propiedad que informa sobre la compactación y es influenciada por diversos factores, como el sistema de cultivo, manejo del suelo, macrofauna, entre otros (Porta *et al.*, 2003), por lo tanto, su distribución espacial es muy variable en diferentes condiciones y sistemas de manejo. En los mapas (figura 2) se observan manchas y claros pequeños y dispersos para el fósforo, y grandes agrupadas para la densidad aparente, consistentes con los valores superiores de los índices de agregación (I_a) y agrupación (U_{ij}) de la densidad aparente respecto del fósforo.

Una comparación visual entre los mapas de distribución de fósforo, densidad aparente y los de la comunidad de lombrices hace notar que las zonas de manchas de la comunidad de lombrices se encuentran en posiciones similares (esquina superior izquierda) que las zonas de claros del fósforo y densidad aparente. Esto aborda la posibilidad de que en las zonas donde se concentra mayor cantidad de lombrices, el fósforo y la densidad aparente tienden a ser menores.

Asociación espacial de variables

Las variables poblacionales (Lo, Ad, Ju, Bio) se encuentran asociadas positivamente (tabla 2). La biomasa tiene mayor asociación (X) con los adultos (0,81) que con los juveniles (0,40); para futuros trabajos la evaluación de la distribución espacial de la biomasa podría trabajarse solo evaluando la biomasa de los adultos, pues son los que contribuyen en mayor proporción a la biomasa total.

El nitrógeno se encuentra asociado a las variables poblacionales, con excepción de la biomasa, posiblemente

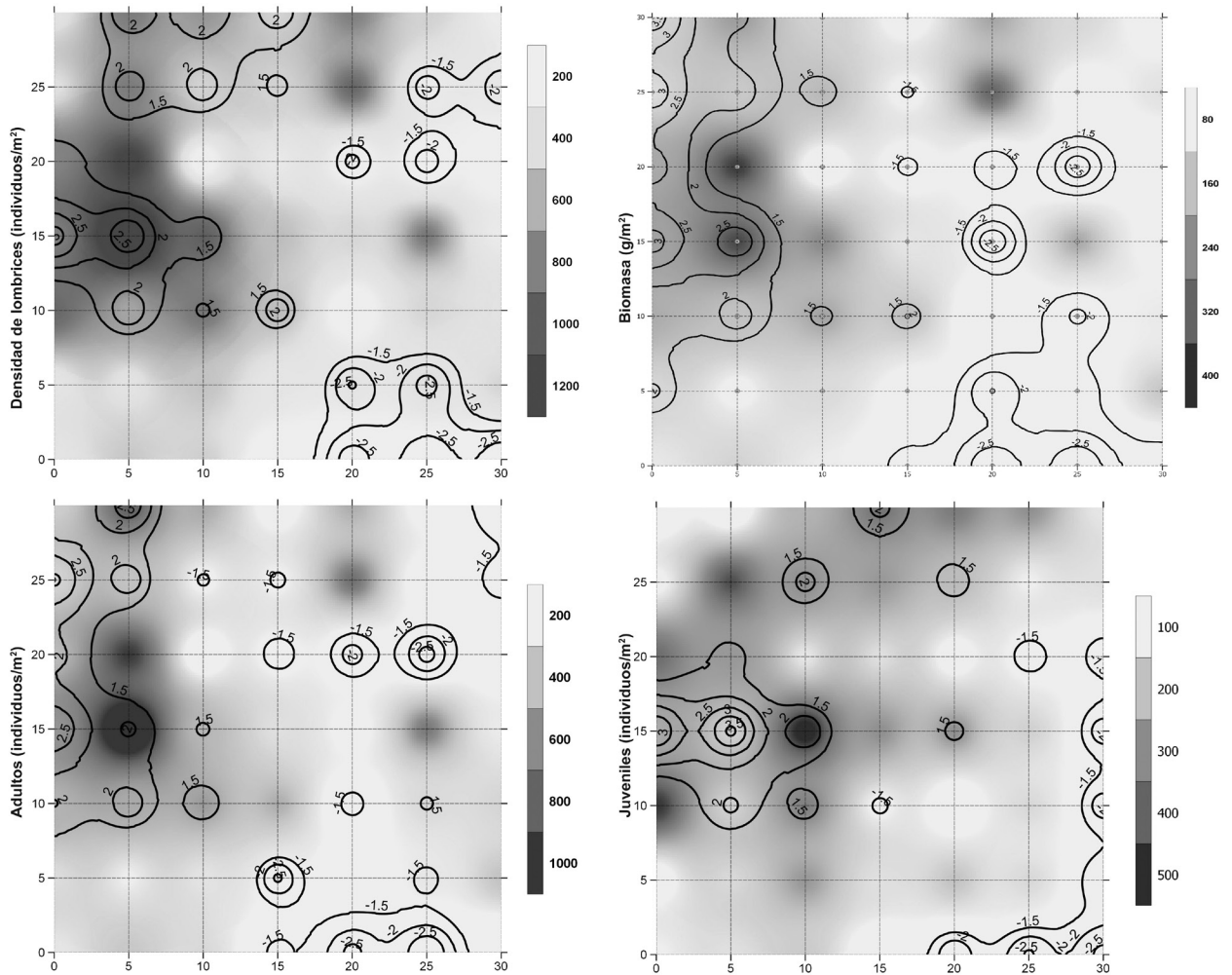


Figura 1. Distribución espacial de variables descriptoras de la comunidad de lombrices.

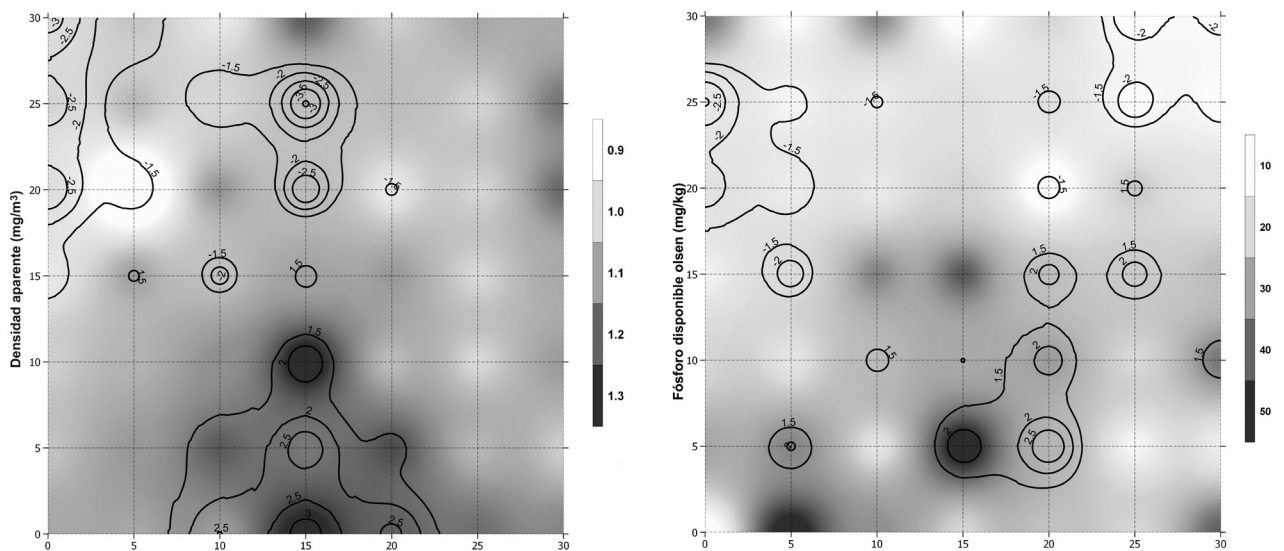


Figura 2. Distribución espacial de las propiedades del suelo.

| | Lo | Ad | Ju | Bio |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Lo | | | | |
| Ad | 0,69 | | | |
| Ju | 0,68 | 0,41 | | |
| Bio | 0,69 | 0,81 | 0,4 | |
| Cox | -0,03 | -0,13 | -0,26 | -0,12 |
| Po | -0,2 | -0,16 | -0,22 | -0,33 |
| N | 0,32 | 0,31 | 0,37 | 0,22 |
| pH | -0,02 | -0,22 | -0,05 | -0,21 |
| Da | -0,23 | -0,32 | -0,25 | -0,37 |
| H | -0,08 | -0,11 | 0,09 | -0,21 |
| Cox/N | -0,44 | -0,25 | -0,39 | -0,4 |

Tabla 2. Matriz de índices de asociación global (X) obtenidos con SADIE.

Valores en negrita indican significancia estadística.

debido a la gran aleatoriedad en la distribución espacial del nitrógeno total. Mientras el carbono orgánico total no presenta asociación significativa ($P < 0,975$). La actividad de las lombrices acelera la mineralización de la materia orgánica por cambios en la comunidad de bacterias (Bernard *et al.*, 2012), como consecuencia el carbono orgánico total debe disminuir y el nitrógeno mineral aumentar. Además, la orina y el mucus excretado aportan nitrógeno (Edwards, 2004), y los individuos muertos, nitratos y amonio, al descomponerse (Edwards y Lofty, 1976). Los lugares donde la densidad y la biomasa sean mayores tienen mayores aportes de nitrógeno, por ello se observa asociación positiva. La densidad de lombrices podría utilizarse para determinar el comportamiento espacial del nitrógeno al formular un plan de agricultura de precisión.

La falta de asociación del carbono orgánico posiblemente se deba al método utilizado, dado que es sabido que el método de rutina de laboratorio evalúa el humus del suelo, es decir, la fracción de carbono orgánico relativamente estable. Las lombrices al presentar una biomasa de fácil descomposición estarían más relacionadas con fracciones lábiles de carbono orgánico como el que se puede calcular por oxidación con permanganato de potasio.

La relación positiva entre las lombrices y el nitrógeno total conlleva a una relación inversa con la relación C:N puesto que esta es inversamente proporcional al contenido de nitrógeno total. Adicionalmente, la digestión de materiales orgánicos conlleva a que las excretas tengan relaciones C:N más bajas contribuyendo a la disociación espacial observada.

Como se observa al comparar los mapas de fósforo disponible, densidad aparente y comunidad de lombrices, estos se encuentran asociados negativamente. Sin embargo, solo las relaciones fósforo-biomasa, densidad-adultos y densidad-biomasa son estadísticamente significativas. El

incremento de la comunidad de lombrices contribuye a un aumento de la cantidad de excretas producidas que favorecen la disminución de la densidad aparente por lo que se puede deducir que las especies predominantes en la comunidad estudiada son del tipo descompactadoras, como sugieren Lavelle *et al.*, (1999). Sumado a esto, la actividad de las lombrices aumenta la cantidad de poros excavados contribuyendo a la disminución de la densidad aparente.

CONCLUSIONES

El patrón espacial de las comunidades de lombrices tendió a ser agregado, su distribución espacial estuvo fuertemente agrupada en manchas y claros, y fue fácilmente detectada con mapas. Tuvo baja asociación espacial con la distribución de las propiedades del suelo, con excepción del nitrógeno total con el cual tuvo una fuerte asociación espacial positiva, por ende también con la relación C:N con la cual tuvieron asociación espacial negativa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Santa Rosa de Huayabamba por su apoyo y entusiasmo para el desarrollo de la presente investigación. Y a los profesores Rubén Bazán Tapia, Sady García Bendezú y Braulio La Torre Martínez por sus consejos y ser una fuente de inspiración constante.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNARD, L.; CHAPUIS, L.; RAZAFIMBELO, T.; RAZAFINDRAKOTO, M.; PABLO, A.L.; LEGNAME, E.; POULAIN, J.; BRÜLS, T.; O'DONOHUE, M.; BRAUMAN, A.; CHOTTE, J.L.; BLANCHART, E. 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *The ISME Journal* 6, 213-222.
- CHOOSAI, C.; JOUQUET, P.; HANBOONSONG, Y.; HARTMANN, C. 2010. Effects of earthworms on soil properties and rice production in the rainfed paddy fields of Northeast Thailand. *Applied Soil Ecology*. 45 (3), 298-303.
- CONRAD, K.F. 2008. SADIE reheated. (Disponible: <http://home.cogeco.ca/~sadiespatial/index.html> verificado: 10 de julio de 2014).
- EDWARDS, C. 2004. *Earthworm ecology*. 2 ed. CRC Press, Nueva York. 424 p.
- EDWARDS, C.; LOFTY, J. 1976. *Biology of earthworms*. 2 ed. Chapman and Hall, Londres. 333 p.
- GUTIÉRREZ, M.; JESÚS, J.B.; TRIGO, D.; FERNÁNDEZ, R.; NOVO, M.; DÍAZ, D.J. 2010. Relationships among spatial distribution of soil microarthropods, earthworm species and soil properties. *Pedobiologia* 53 (6), 381-389.
- HENGL, T. 2009. *A practical guide to geostatistical mapping*. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg. 270 p.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA (IIAP). 2010. *Zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas*. Iquitos. 197 p.
- JIMÉNEZ, J.J.; DECAËNS, T.; AMÉZQUITA, E.; RAO, I.; THOMAS, R.J.; LAVELLE, P. 2011. Short-range spatial variability of soil physico-chemical variables related to earthworm clustering in

a neotropical gallery forest. *Soil Biology and Biochemistry* 43 (5), 1071-1080.

LAVELLE, P.; BRUSSARD, L.; HENDRIX, P. 1999. Earthworm management in tropical agroecosystems. Cabi Publish, Nueva York. 320 p.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. 2003. *Soil ecology*. Kluwer, Londres. 654 p.

MAESTRE, F.; ESCUDERO, A. 2008. Introducción. Páginas 1-35. En: MAESTRE, F.; ESCUDERO, A.; BONET, A. (Eds.). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Dykinson, Madrid. 1-33 pp.

MOREIRA, F.; JEROEN, E.; BIGNELL, D. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales: muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. México. 352 p.

NUUTINEM, V.; PITKÄNEN, J.; KUUSELA, E.; WIDBOM, T.; LOHILAHTI, H. 1998. Spatial variation of an earthworm community related to soil properties and yield in a grass – clover field. *Applied Soil Ecology* 8, 85-94.

PERRY, J.; BELL, E.; SMITH, R.; WOIWOD, I. 1996. SADIE: software to measure and model spatial pattern. *Aspects of applied biology* 46, 95-102.

PORTA, J.; LÓPEZ, M.; ROQUERO, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3 ed. Mundi prensa, Madrid. 929 p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. 2009. QGIS geographic information System. Open Source Geospatial Foundation. (Disponible: www.qgis.org verificado: 20 de julio de 2014).

QUERO, J.L. 2006. SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial: casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España). *Ecosistemas* 3, 1-8.

RICHARD, B.; LEGRAS, M.; MARGERIE, P.; MATHIEU, J.; BAROT, S.; CARO, G.; DESJARDINS, T.; DUBS, F.; DUPONT, L.; DECAËNS, T. 2012. Spatial organization of earthworm assemblages in pastures of northwestern France. *European Journal of Soil Biology* 53, 62-69.

ROSSI, J.P.; HUERTA, E.; FRAGOSO, C.; LAVELLE, P. 2006. Soil properties inside earthworm patches and gaps in a tropical grassland (la Mancha, Veracruz, Mexico). *European Journal of Soil Biology* 42, S284-S288.

ROSSI, J. 2003a. Clusters in earthworm spatial distribution. *Pedobiología* 47 (5-6), 490-496.

ROSSI, J. 2003b. Short-range structures in earthworm spatial distribution. *Pedobiología* 47, 582-587.

SOIL SURVEY STAFF. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12 ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 360 p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*, 2 ed. Wiley, England. 315 p.