

Capítulo IX.

Las lombrices de tierra como bioindicadores del manejo sostenible del suelo, utilizando sistemas silvopastoriles

*Hernán Rigoberto Benavides Rosales*²¹

*Silvino Vargas Hernández*²²

*Diego Caicedo Rosero*²³

*Luis Carvajal Pérez*²⁴

*Luís Rodrigo Balarezo Urresta*²⁵

*Segundo Ramiro Mora Quilismal*²⁶

²¹ Docente Titular Agregado Dos. Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador - Tulcán. Ing. en Recursos Naturales Renovables. Magíster en Diseño Curricular y Evaluación Educativa. Magíster en Auditoría Ambiental. (c) Doctor en Ciencias Veterinarias hernan.benavides@upec.edu.ec

²² Profesor Titular Principal. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba, Santa Clara. Ing. Zootecnista. Magíster en Manejo Racional de pastos y forrajes. Doctor en Ciencias Veterinarias. vargas@uclv.edu.cu.

²³ Docente Titular Auxiliar Dos. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador - Tulcán. Ing. en Recursos Naturales Renovables. Magíster en Manejo Comunitario de Recursos Naturales. diego.caicedo@upec.edu.ec

²⁴ Docente Titular Agregado Uno. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador - Tulcán. Ing. Comercial Administración de Empresas luis.carvajal@upec.edu.ec

²⁵ Docente Titular Agregado Dos. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador - Tulcán. Médico Veterinario Zootecnista. Magíster en Producción Animal. Doctor en Ciencias Veterinarias. luis.balarezo@upec.edu.ec

²⁶ Docente Titular Agregado Dos. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador - Tulcán Ing. Agrónomo, Magíster en Diseño Curricular y Evaluación Educativa. Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas. segundo.mora@upec.edu.ec

La Educación Superior como Escenario de Reconciliación Territorial desde la Agroforestería Climáticamente Inteligente

Una Estrategia para el Desarrollo Rural y el Fortalecimiento
de una Cultura de Paz en los Municipios de Tumaco y Ricaurte
del Departamento de Nariño



Resumen

Se realizó un experimento para evaluar los efectos de los Agroecosistemas (AES) y períodos de los años sobre la densidad de la población de lombrices de tierra, utilizando tres AES dedicados a la producción de leche: A1- (Pastos, *Alnus acuminata* Kunth); A2 – (Pastos, *Acacia melanoxylon* R. Br); y A3 – (Pastos como experimento de control). Los árboles fueron plantados siguiendo las curvas de nivel en diciembre de 2015. Las áreas de los AES fueron: A1 7.50 ha, A2 4.64 ha y A3 13.29 ha. Los AES fueron divididos en potreros por medio de cercas eléctricas. El manejo se hizo con once vacas cruzadas Holstein x Jersey en cada AES. Treinta muestras de suelo de 0.027 m³ fueron recolectadas y las lombrices fueron contadas manualmente en cada AES. Los muestreos fueron realizados cuatro veces en cada período posterior de los años (PY): 1-12-2015 (1); 1-6-2016 (2); 1-12-2016 (3) y 1-6-2017 (4). Se utilizó un análisis multivariado con dos factores de fijación (AES y PY) y sus interacciones. Los principios de manejo racional del pasto fueron aplicados con agricultura sostenible de bajo ingreso.

Los resultados mostraron interacciones ($p < 0,05$) entre AES y PY en la densidad de población de lombrices (DPL). Se alcanzó los resultados más altos en A1-PY1 con 205 lombrices de tierra m²⁻¹. El peor desempeño se obtuvo en el PY1 en todos los AES en los que sus valores medios originales no superaron los 50 organismos m²⁻¹. La cantidad de oligoquetos se estabilizó de PY2 a PY4. La DPL en los medios transformados fue mayor en A1-PY3, A1-PY4 y A3-PY2. Los agroecosistemas no tuvieron ningún efecto ($p < 0,05$) en la densidad de población de las lombrices de tierra. Por el contrario, los períodos de los años mostraron un efecto significativo en la cantidad de oligoquetos. Las diferencias principales ($p < 0,05$) ocurrieron en los valores originales y transformados en PY1, en comparación con el resto del PY, siendo estos últimos, iguales entre ellos. Se sugiere continuar evaluando la dinámica de DPL con el fin de estimar la capacidad potencial de las interacciones suelo-planta-animal-manejo, para mejorar la salud de los suelos andosoles degradados, en el sector lácteo de la provincia de Carchi, Ecuador.

Introducción

Las actividades humanas pueden alterar drásticamente el medio ambiente del suelo e influir directamente en las poblaciones de lombrices, bien sea por modificaciones físicas directas o, indirectamente, alterando el entorno físico-químico (Curry, Doherty, Purvis y Schmidt, 2008).

Los servicios de los ecosistemas de lombrices de tierra para sistemas de cultivo han sido revisados recientemente por Bertrand et al., (2015) resumiendo los beneficios de las lombrices de tierra para cultivos y discutiendo algunas técnicas para aumentar su abundancia. Estudios como los de Schelfhout et al., (2017) han sido llevados a cabo para demostrar el impacto de los árboles en las comunidades de lombrices a través de la hojarasca, la cual está estrechamente asociada con las características del suelo; e.g. las lombrices anécicas fueron abundantes bajo las especies arbóreas *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica* y *Fraxinus excelsior*, que se relacionan con una camada rica en calcio y baja acidificación del suelo. Siguiendo esta línea de investigación, se discutió el efecto de las principales características del suelo: textura, materia orgánica y contenido de nutrientes, sobre los diferentes mecanismos que permiten que la lombriz de tierra influya en el crecimiento de la planta, pero los autores argumentan que es difícil predecir la fuerza y dirección de los efectos de una determinada especie de lombrices en una planta determinada. Es probable que las propiedades del suelo sean muy influyentes en la determinación de las respuestas de las plantas a las actividades de lombrices de tierra (Laossi, Decaëns, Jouquet y Barot, 2010).

En un estudio integrado del agroecosistema fueron caracterizadas doce funciones ecológicas a partir de parcelas de praderas que variaban en riqueza de especies vegetales, con el cual se demostró que la diversidad promueve la estabilidad a través de diferentes funciones ecológicas y niveles de organización de los ecosistemas en praderas (Proulx et al., 2010). Por otra parte, Rolinski et al., (2017) emprendieron modelos dinámicos de vegetación global

para proporcionar un marco de modelización adecuado con el fin de evaluar la dinámica de los pastizales, la productividad y el impacto en los ciclos biogeoquímicos, en cinco diferentes esquemas de manejo de pastizales a escala global.

Zaller et al., (2011), evaluaron las lombrices de tierra y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), como importantes ingenieros del ecosistema, que coexisten en pastizales templados; utilizaron grandes mesocosmos para estudiar los efectos de diferentes grupos funcionales de lombrices de tierra y una mezcla de cuatro taxones AMF sobre el establecimiento, la diversidad y la productividad de las comunidades vegetales. Encontraron que la densidad de la planta disminuyó en mesocosmos libres de AMF, cuando tanto las lombrices anecóticas como las endógenas, estaban activas. También evidenciaron que la biomasa de los brotes y las raíces solo se ven afectadas por las lombrices, en los mesocosmos libres de HMA.

Con el fin de evaluar los efectos de las lombrices en la productividad de las plantas, su interacción con las especies de plantas y la riqueza de grupos funcionales, así como sus efectos sobre la competencia de plantas subterráneas, se llevó a cabo un experimento con dos especies de plantas fitometrales: *Centaurea jacea* y *Lolium perenne*. El experimento destacó que las lombrices de tierra aumentaron la productividad total de la comunidad vegetal (+ 11 %), biomasa de brotes de leguminosas (+ 35 %) y biomasa de brotes del fitómetro *C. jacea* (+ 21 %). Se sugirió que las lombrices de tierra y las leguminosas forman una relación mutua que afecta las funciones esenciales del ecosistema en las praderas templadas; en particular, la descomposición y la productividad de las plantas (Eisenhauer et al, 2009).

En praderas tropicales se evaluó la utilidad de las lombrices y microbios del suelo, como indicadores de la calidad del suelo y cómo su ocurrencia, abundancia, biomasa y actividad, cambiaron bajo diferentes prácticas pastoriles, sugiriendo que la dispersión y riego de efluentes condujeron a aumentos significativos de

densidad de lombrices y biomasa que alcanzaron su punto máximo en los potreros que recibían tanto efluentes como agua de riego. Los investigadores descubrieron que la lombriz epigótica *Lumbricus rubellus* aumentó 32 % donde el efluente se había diseminado; el 123 %, si estaba irrigado y el 180 %, donde tanto el efluente como el agua de riego fueron agregados (Manono, 2014).

Sobre la base de los antecedentes expuestos, el presente estudio tuvo como objetivo, evaluar los efectos de los agroecosistemas, los períodos de los años y su interacción sobre la densidad de población de lombrices.

Materiales y métodos

Ubicación: el estudio se realizó en la parroquia El Carmelo, cantón Tulcán, provincia del Carchi, Ecuador, ubicada en el área hidrográfica 230, entre 0° 41 'y 3 "N y 77° 36' y 42 "O, altitud 2955 msnm, (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, 2017). El suelo está clasificado como Andosol, que se distingue por su alto contenido de Fe y Al. Las propiedades del horizonte melánico, la materia orgánica altamente humidificada, con menor proporción de ácidos fúlvicos/húmicos, negruzcos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, 2014), la precipitación y la temperatura durante el año 2016 y en parte de 2017, son evidenciadas en la Figura 47.

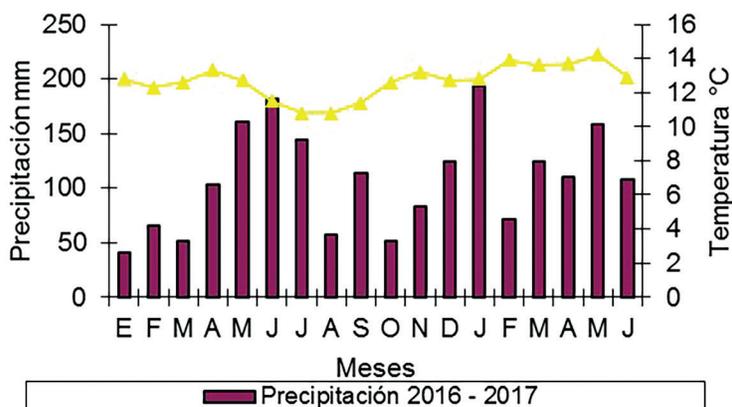


Figura 47. Medidas de precipitación y temperatura, información procesada de INAMHI estación meteorológica El Carmelo.

Fuente: INAMHI (2017).

Sistemas Silvopastoriles: el diseño experimental fue completamente al azar, con tres agroecosistemas (AES). Se utilizó dos arreglos silvopastoriles y un experimento de control compuesto solo con pastos. Los pastos predominantes en todos los AES fueron: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L.), Ray grass (*Lolium perenne* L.), Holco (*Holcus lanatus* L.) y Trébol blanco (*Trifolium repens* L.). El AES consistía en: A1 (Pastos y árboles de aliso, *Alnus acuminata* Kunth); A2 (Pastos y acacias, *Acacia melanoxylon*) y A3 (Pastos sin árboles).

Los árboles fueron plantados en diciembre de 2015. Se estableció una cerca eléctrica en doble hilera, tanto para hacer potreros como para proteger a los árboles jóvenes, de los daños de los animales. Los períodos de rotación y permanencia de los animales en los potreros fueron registrados desde enero de 2016 hasta la fecha. Las vacas híbridas Holstein x Jersey fueron utilizadas aplicando un manejo racional de pastoreo en potreros de 1000 m². La siembra de los árboles se realizó siguiendo las curvas de nivel. Las áreas de los AES fueron: A1 7.50 ha, A2 4.64 ha y A3 13.29 ha, respectivamente.

Muestreo de lombrices de tierra: el área de campo donde se tomó la muestra fue georreferenciada con un sistema de posicionamiento global (Figura 48) y muestreada en la misma ubicación, cuatro veces en cada período posterior de los años: 1-12-2015; 1-6-2016;

1-12-2016 y 1-6-2017. La distribución del muestreo se realizó en tres transectos paralelos, tomando diez muestras en el relieve alto, medio y bajo, contabilizando 30 muestreos de suelo de 0.027 m³ cada uno, en A1, A2 y A3, respectivamente. En las muestras de Agrosistemas: A1 y A2, se tomó muestras separadas a dos metros de las filas de los árboles, y el muestreo del suelo en A3 fue diagonalmente asignado al azar en los potreros en zigzag. Las lombrices de tierra fueron extraídas de un bloque de suelo de .30 m × .30 m × .30 m de capa de suelo excavado, utilizando una pala de cabeza cuadrada para que los resultados fueran expresados como densidad de población de lombrices (número m⁻²). El suelo extraído de la fosa se colocó sobre una lámina de plástico y se buscó las lombrices de tierra al desmenuzar la matriz del suelo a mano (Edwards y Lofty, 1972).

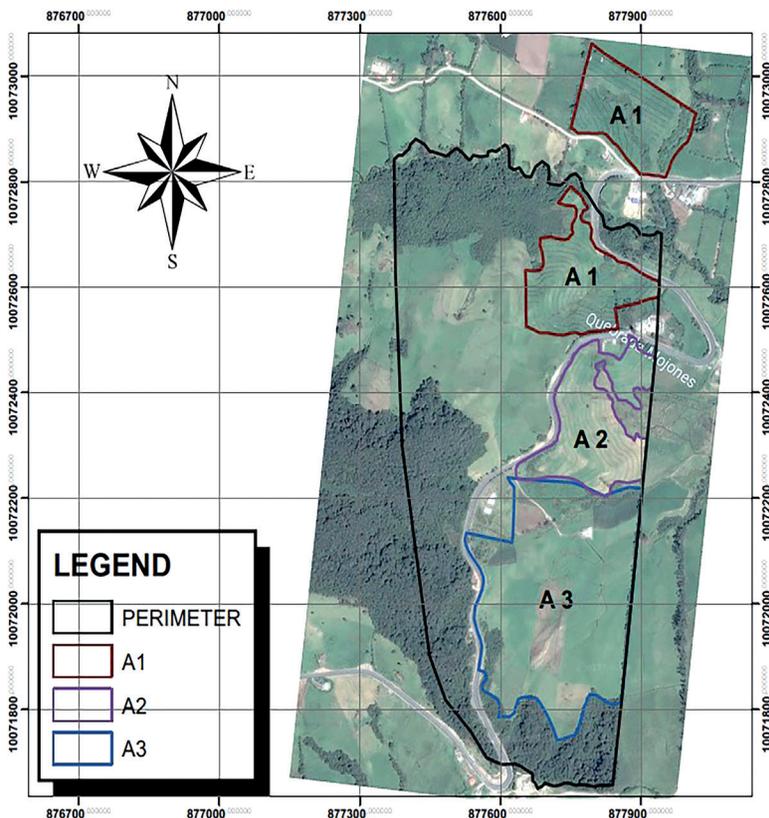


Figura 48. Imágenes de Agroecosistema: A1, A2 y A3.

Análisis estadístico: los datos fueron sometidos a un análisis multivariado, utilizando el siguiente modelo matemático, con un valor de p de 0,05. Se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS (2011) versión 20.0. Los valores originales de la cantidad de lombrices fueron transformados de acuerdo con $\sqrt{x + 0.375}$ (DeCoster, 1998):

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + P_j + (S, P)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

...donde: Y_{ijk} es la observación correspondiente al individuo k en el agro-ecosistema i y período del año j ; μ : media general de la población; S_i : efecto del agro-ecosistema i -ésimo; P_j : efecto del período j -ésimo del año; $(S, P)_{ij}$: efecto debido a la interacción del agroecosistema i -ésimo con el período j -ésimo del año y ϵ_{ijk} : error experimental.

Resultados y Discusión

Efecto de las interacciones: la interacción entre AES - PY (Tabla 15) demostró que la variación de la densidad de población de las lombrices de tierra (DPL) dependía de los efectos combinados AES - PY. Por otro lado, el PY mostró más variación en la prueba estadística F en comparación con la fuente de variación AES. También, las transformaciones de datos fueron justificadas estadísticamente, debido a que el valor de p era igual a .057 frente a .000 en los valores originales y transformados, respectivamente. En la prueba de efectos entre sujetos, los AES no mostraron ningún efecto ($p = .185$ y $.222$) tanto en los valores originales como en los transformados, respectivamente.

Tabla 15. Densidad de la población de lombrices de tierra sobre los agroecosistemas y períodos de los años m^{-2}

	Pastos + <i>Alnus acuminata</i> , A1	Pastos + <i>Acacia mela-noxylon</i> , A2	Pastos A3	Pastos + <i>Alnus acuminata</i> , A1	Pastos + <i>Acacia mela-noxylon</i> , A2	Pastos A3
	Medias de valores originales			Medias transformadas		
PY1(1-12-15)	7.33 ^c	50.5 ^c	4.77 ^c	2.08 ^c	6.37 ^c	1.57 ^c
PY2(1-6-16)	147 ^b	138 ^b	166 ^b	10.8 ^b	10.9 ^b	12.2 ^a
PY3(1-12-16)	205 ^a	142 ^b	157 ^b	13.5 ^a	10.9 ^b	11.7 ^b
PY4(1-6-17)	170 ^b	98.2 ^b	118 ^b	12.8 ^a	9.17 ^b	10.0 ^b
SE±		20.5			.745	

Nota: abc, las medias sin letra común son diferentes en $p < 0.05$ (Tukey, 1949)

Los resultados de este estudio permitieron evidenciar interacciones ($p < 0,05$) entre AES - PY en la densidad de población de lombrices de tierra. La DPL más alta se obtuvo en A1-PY1 con 205 lombrices m^{-2} . Este promedio podría explicarse, en parte, debido a las lluvias acumuladas, antes de 30 días de evaluación en este período. El menor impacto de las interacciones se produjo en el PY1 en todos los AES en los que sus valores medios originales representaron no más de 50 lombrices m^{-2} . La cantidad de oligoquetos se estabilizó de PY2 a PY4, sin detectar diferencias en esos períodos y sus interacciones dentro de cada AES. La DPL en los medios transformados fue mayor y no se

obtuvo diferencias en A1-PY3, A1-PY4 y A3-PY2. Los resultados revelaron un mejor impacto a la densidad de *L. terrestris* a lo largo de las interacciones evaluadas en A1. Esto podría deberse, probablemente, a la presencia de *A. acuminata*, que fue el sistema agroforestal (*A. acuminata* - *Acacia melanoxylon*) con mayor materia orgánica del suelo (MOS) en Colombia (Arteaga, Navia y Castillo, 2016).

Estos autores concluyeron que la MOS fue la variable que mejor detectó el efecto del uso y manejo del suelo. Estudios previos han reportado algunos factores que afectan la DPL, como: aplicación de fertilizantes químicos, humedad, materia orgánica del suelo (MOS), altitud, tipo y profundidad del suelo (Kalu, 2015); sin embargo, éstos no tuvieron en cuenta la dinámica de DPL, como menciona Vargas (2013), quien sugirió que *L. terrestris* puede ser evaluado como bioindicador de la salud y sostenibilidad del suelo; afirmó que las gramíneas nativas y el banco de proteínas AES fueron más altos en DPL comparado con *Sacharum officinarum*. Estos hallazgos fueron congruentes con Decaëns, Margerie, Aubert, Hedde y Bureau (2008), quienes encontraron que los pastizales permanentes obtuvieron DPL más altos, en comparación con los cultivos y AES forestales.

Los andosoles donde se desarrolló esta investigación, tienen una fuerte fijación de fósforo causada por Al activo y Fe. Para mejorar este problema y reducir este efecto, se recomendó incluir la aplicación de cal, materia orgánica y fertilizantes fosfatados (FAO, 2015), pero esto es -de alguna manera- costoso, tanto desde el punto de vista medioambiental como económico. Por lo tanto, las técnicas agroforestales son utilizadas con diversas condiciones ecológicas, económicas y sociales y pueden ser muy productivas y sostenibles (Brito-Vega, Espinosa-Victoria, Salaya-Domínguez y Gómez-Méndez, 2013). El conocimiento de las interacciones terrestres-subterráneas mediadas por las plantas, desempeña un papel vital en la agricultura ecológica sostenible. Las lombrices de tierra tienen numerosos efectos beneficiosos sobre la calidad general del suelo; en la producción de cultivos, estos organismos

son normalmente considerados como ingenieros de ecosistemas (Lavelle et al., 1997).

Además, los hongos micorrízicos arbusculares representan un recurso biológico beneficioso generalmente reconocido con relación a la producción y calidad de la planta (Smith y Read, 2008). En el presente estudio, la asociación de ectomicorrizas (ECM) y micorrizas arbusculares (AM) pudo colonizar *A. acuminata* (Becerra, Zak, Horton y Micolini, 2005), lo que probablemente influyó en la biodisponibilidad del fósforo debido a su fuerte fijación. De manera similar, la *L. terrestris anecóica* también podría haber aumentado la disponibilidad de P por medio de la ingestión de la hojarasca, el estiércol (abundantemente visto en los AES actuales) y los residuos orgánicos. Algunos nutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio podrían ser asimilados por las plantas o liberados al suelo (Lavelle et al., 1997). Se realizó un estudio de mesocosmos para evaluar las mezclas de hongos micorrízicos arbusculares con diferentes grupos funcionales de lombrices de tierra en 18 especies de pastizales y se demostró que los enlaces subterráneos-subterráneos con lombrices de tierra y FMA eran importantes mediadores de la diversidad, estructura y funcionamiento del suelo (Zaller et al., 2011).

Siguiendo los argumentos anteriores, Eisenhauer et al., (2012) sostuvieron que las interacciones subterráneas afectan los efectos complementarios a través de cuatro procesos principales: ampliación del espacio biotópico, mediación de los efectos de las leguminosas, aumento de la resistencia de la comunidad vegetal y mantenimiento de la diversidad de especies vegetales. En el estudio actual, las interacciones intraespecíficas (gramíneas) e interespecíficas (leguminosas y árboles) estuvieron presentes en las praderas y, también, podrían haber contribuido a mejorar la productividad general en el AES.

Efecto de los agroecosistemas: los agroecosistemas no tuvieron ningún efecto ($p < 0,05$) en la DPL (Tabla 16) de las lombrices de tierra. El hecho de que no hubiera diferencias

entre los medios de la población, confirmó la evidencia de que el AES por sí, no determinó la variación de las comunidades de lombrices de tierra. Sin embargo, las medias calculadas en todos los AES fueron superiores a 100 individuos m^{-2} , que es dos veces más alta, en comparación con la densidad de lombrices obtenida en el primer muestreo PY1 (Tabla 17). Puede verse en la Tabla 16, que los promedios de la densidad de lombrices de tierra, independientemente de PY, eran iguales. Estos hallazgos mostraron la posibilidad de aplicar el manejo racional del pasto, aparte del uso de los árboles. También se demostró que la DPL mejoró y se estabilizó a lo largo de los períodos de los años. Sin embargo, se requiere más recopilación de datos para determinar exactamente cómo la variable de respuesta se ve afectada por el AES. Por lo tanto, el presente estudio se considera un análisis preliminar y, contrario a las expectativas, los investigadores no encontramos diferencias significativas hasta ahora, no solo entre los sistemas de pastoreo AES (A1 vs. A2) sino también el A3 sin arborización en los potreros. Los factores de fijación, los agroecosistemas, los años y los períodos de los años, no mostraron diferencias reveladoras entre pastizales nativos y el banco de proteínas AES (Vargas, 2013).

Tabla 16. Densidad de la población de las lombrices de tierra sobre los agroecosistemas m^{-2}

Medias de valores originales			Medias transformadas		
Pastos + <i>Alnus acuminata</i> , A1	Pastos + <i>Acacia melanoxylon</i> , A2	Pastos A3	Pastos + <i>Alnus acuminata</i> , A1	Pastos + <i>Acacia melanoxylon</i> , A2	Pastos A3
132	107	112	9.78	9.33	8.87
Promedio de desviaciones: SE ±					
10.3			0.372		

Nota: $p < 0.05$ (Tukey, 1949)

Van Eekeren, Murray y Smeding (2007) discutieron en las praderas, la biota del suelo y sus servicios ecosistémicos. Evaluaron dos casos: el uso de mezclas de pasto y una rotación de cultivos arables, en comparación con pastizales permanentes y tierras de cultivo continuas; señalaron que el número de lombrices era bajo al inicio de la ley y que la restauración de las lombrices tarda años para estimular estos servicios. Los autores también resaltaron que las lombrices de tierra podrían ser estimuladas por siembra de trébol. En el presente estudio se sembró una mezcla de gramíneas y trébol antes de rediseñar los AES, algo que, probablemente, podría contribuir a estimular los servicios de los ecosistemas de la biota del suelo. Fue particularmente importante en la agricultura en pendiente, con un buen patrón de distribución de pluviosidad en el que la cantidad de lluvia caída fue superior a 50 mm en 17 de 18 meses registrados (Figura 2). Los hallazgos actuales y los principios aplicados en nuestro estudio estuvieron estrechamente relacionados con las conclusiones de Van Eekeren et al. (2007), en las cuales señalaron las relaciones causales entre la gestión de los pastizales, la red alimentaria del suelo y sus servicios ecosistémicos que posiblemente podrían aclararse de forma cíclica con las raíces de las plantas, la biota del suelo y las propiedades fisicoquímicas del suelo. El desafío para la gestión sostenible de las praderas es permitir que este ciclo funcione óptimamente, con un mínimo de dependencia de los insumos externos (Altieri, Nicholls y Montalba, 2017).

La base de este ciclo es un pastizal productivo, con una buena cantidad de materia orgánica de calidad y un buen funcionamiento del sistema radicular. Se supone que la red alimentaria basal del suelo para pastizales agrícolas sostenibles es una red alimentaria basada en bacterias, que propicia un ciclado rápido de nutrientes y una alta densidad de lombrices que lo cuidan, entre otras cosas, del mantenimiento de la estructura del suelo y la regulación del agua. En general, estos servicios de apoyo fueron discutidos como 'servicios ecosistémicos' necesarios para la producción de todos los demás servicios de los ecosistemas, e inclu-

yen la formación de suelos, el ciclo de los nutrientes, el ciclo del agua, la producción primaria y el hábitat para la biodiversidad.

Además, en el presente estudio, la temperatura registrada se situó entre 12,7 y 14,2 °C en los meses anteriores en los que se tomó muestras de lombrices de tierra. Las temperaturas ya mencionadas fueron cercanas a otros estudios, que indicaron que la reproducción máxima de la lombriz se produjo 6,2 semanas (15 °C) y 15,7 semanas (10 °C) después del inicio de la madurez sexual. La longevidad de los adultos duró aproximadamente 40 semanas a 15 °C y más de 56 semanas a 10 °C. En nuestro caso, el impacto de la humedad del suelo y la interacción de las temperaturas sobre la DPL fue más allá del alcance de este estudio.

Período de los años: los períodos de los años mostraron un efecto significativo en la cantidad de oligoquetos. La disminución observada en la densidad de población de lombrices en PY1 ($p < 0,05$) tanto en los valores originales como transformados, podría atribuirse a la mala gestión de los recursos del agroecosistema antes de rediseñar los AES. Anteriormente se aplicaba fertilizantes nitrogenados (hasta 200- 250 kg de N ha⁻¹ año⁻¹) (Benavides, entrevista personal, 2016); el pisoteo probablemente indujo una gran disminución de la densidad de lombrices de tierra y la biomasa. En este sentido, Cluzeau et al., (1992) encontraron una disminución de 70 a 86 %, respectivamente. En el presente estudio, el área de cada hato lechero no estaba previamente dividida en potreros pequeños, y los animales se mantenían pastando un mayor tiempo en la misma zona, en la que el pisoteo podría haber causado compactación.

Por otra parte, la mala gestión podría haber tenido impactos de deterioro; por ejemplo, el pastoreo excesivo o el pisoteo, desempeñan un papel importante, especialmente en las zonas áridas o con una alta densidad de ganado (Dlamini et al., 2016). La mala gestión también desempeña un papel en el aumento de la desertificación y es la razón principal de la degradación de los suelos, aproximadamente del 15 % en las tierras secas del África subsa-

hariana (Kiage, 2013). Estos factores podrían explicar la menor densidad de individuos encontrados en PY1. En el posterior PY (2-4) no se halló diferencias, como se muestra en la Tabla 17. Estos resultados son consistentes con la gestión racional del manejo del pastizal aplicado desde diciembre de 2015 hasta la actualidad, en la que el nuevo paradigma emprendido provocó cambios en la mala gestión de los recursos de la AES lecheros, optimizándolos, utilizando un enfoque de manejo agroecológico (Vargas, 2013). También hubo otras explicaciones posibles, como la contribución de la camada en la que las especies de árboles afectaron a las comunidades de lombrices a través de las características de la hojarasca y del suelo. Los autores establecieron la relación de la concentración de Al y Ca en el suelo, intercambiables en la camada que afectó la densidad y la biomasa de las lombrices anecoicas (Schelfhout et al., 2017).

Tabla 17. Densidad de la población de las lombrices de tierra por períodos de los años m^{-2}

	PY1	PY2	PY3	PY4	SE±
Descripción	PY1 (1-12-15)	PY2 (1-6-16)	PY3 (1-12-16)	PY4 (1-6-17)	
Original MMevalues	20.9 ^b	150 ^a	168 ^a	129 ^a	11.9
Transf. Values	3.34 ^b	11.2 ^a	12.0 ^a	10.7 ^a	.430

Nota: ab: Las medias en la misma fila sin letra común son diferentes en $p < 0,05$ (Tukey 1949)

Además, se ha destacado que la alta calidad de la camada en praderas, es adecuada para lombrices anecoicas (Decaëns et al., 2008). Por otra parte, se encontró que el P anual más alto retorna al suelo a través de la producción de hojarasca con *Guazuma ulmifolia*.

Los investigadores encontraron que en los sistemas silvopastoriles, el retorno de P a través de la camada era de 1-3 kg ha⁻¹ año⁻¹, en el pasto, y esto fue solo 0.2-0.8 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Martínez, Cajas, León y Osorio, 2014). Además, Laossi et al., (2010) propusieron mejorar los sistemas de uso de tierras altas con vegetación, que produce gran cantidad de hojarasca para fomentar las especies de lombrices beneficiosas y así ayudar a reducir la erosión del suelo y acelerar la restauración de tierras degradadas en ultisoles.

Es evidente que la densidad de árboles, así como la cantidad y calidad de la camada, controlan el retorno de nutrientes al suelo y, en consecuencia, la disponibilidad de nutrientes del suelo mediada por la biota del suelo. En el presente estudio, con 1.000 árboles sembrados de *A. acuminata* y *A. melanoxylon*, el estiércol diario de los animales, la hojarasca de las gramíneas, las leguminosas, los sistemas radiculares, la MOS regeneradora de la biota del suelo y la MOS altamente no degradada inherente a los andosoles (FAO, 2015), se considera que, probablemente, interactúan hasta encontrar el uso óptimo y el potencial de los recursos AES estrechamente ajustados con un manejo racional y holístico en los agroecosistemas lecheros estudiados. En otros estudios, la DPL y su biomasa fueron más altas en pastizales permanentes, que en tierras cultivables. Entre los diferentes parámetros abióticos del suelo, las características relacionadas con el clima y la disponibilidad de agua, afectaron la distribución de las lombrices de tierra (Kanianska, Jad'ud'ová, Makovnicková y Kizeková, 2016).

En el presente estudio, la media de MOS fue superior al 11 %. El pH se clasificó moderadamente como ácido en todos los AES. Las variables químicas entre dos muestreos consecutivos de suelo tomadas diez meses antes, mostraron variabilidad significativa en algunas variables químicas del suelo, en el siguiente orden decreciente: Nitrógeno, Fósforo y Materia orgánica del suelo. Las variables químicas que evidenciaron mayor resistencia para modificar sus valores iniciales, fueron: pH y calcio para todos los AES (datos no publicados).

Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el desarrollo de sistemas basados en pasturas de ganado lechero con bajos insumos externos y AES sostenibles con una mejor salud del suelo y, en consecuencia, una mejor calidad de los alimentos. Se debe realizar una evaluación adicional para investigar la dinámica de las comunidades de lombrices de tierra hasta cumplir 3-5 años.

Conclusiones

Este estudio exhorta a continuar la evaluación a largo plazo de la dinámica de la densidad de población de las lombrices de tierra, particularmente en suelos andinos que suelen tener mayor cantidad de materia orgánica del suelo. El incremento de las comunidades oligoquetales desde la línea de base hasta un año y medio de evaluación, demostró el gran potencial, plasticidad y estabilización de la población de lombrices tanto en los sistemas silvopastoriles como en las praderas, bajo un manejo racional del pastizal para fomentar los servicios ecosistémicos de *L. terrestris* y sus interacciones con la biota del suelo. Sobre la base del estudio actual, se recomienda aplicar la tecnología ecológica preliminarmente evaluada en esta región, y utilizar la DPL como un bioindicador de salud y sostenibilidad del suelo.

Referencias

- Altieri, M., Nicholls, C. & Montalba, R. (2017). Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: an Agroecological Perspective. *Sustainability*, 9(3), 349. Doi: 10.3390/su9030349.
- Arteaga, J., Navia, J. y Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a diferentes usos, departamento de Nariño, Colombia. *Ciencias del suelo, Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 62-75. Doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.53>.
- Becerra, A., Zak, M., Horton, T. & Micolini, J. (2005). Ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* from Calilegua National Park (Argentina). *Mycorrhiza*, 15(7), 525-531.
- Benavides O, (2016). Entrevista personal sobre uso de fertilizantes en la finca San Vicente.
- Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M., Whalen, J., de Oliveira, T. & Roger-Estrade, J. (2015). Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development. Springer Verlag/EDP Sciences/INRA*, 2015, 35(2), 553-567. Doi: 10.1007/s13593-014-0269-7.
- Brito-Vega, H., Espinosa-Victoria, D., Salaya-Domínguez, J. y Gómez-Méndez, E. (2013). The soil biota: importance in agroforestry and agricultural systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(2013), 445-453.
- Curry, J., Doherty, P., Purvis, G. & Schmidt, O. (2008). Relationships between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Applied Soil Ecology*, 39(1), 58-64. Doi: 10.1016/j.apsoil.2007.11.005
- Cluzeau, D., Binet, F., Vertès, F., Simon, J.C., Rivière, J.M. & Trehen, P. (1992). Effects of intensive cattle trampling on soil-plant-earthworm system in two grassland types. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1661-1665.

- Decaëns, T., Margerie, P., Aubert, M., Hedde, M. & Bureau, F. (2008). Assembly rules within earthworm communities in Northwestern France - A regional analysis. *Applied Soil Ecology*, 39, 321-335. Doi: 10.1016/j.apsoil.2008.01.007.
- DeCoster, J. (1998). Overview of factor analysis. Recuperado de <http://stat-help.com/factor.pdf>
- Dlamini, P., Chivenge, P. & Chaplot, V. (2016). Overgrazing decreases soil organic carbon stocks the most under dry climates and low soil pH: A meta-analysis shows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 258-269. Doi: 10.1016/j.agee.2016.01.026.
- Edwards, C. & Lofty, J. (1972). *Biology of earthworms*. London, England: Chapman and Hall.
- Eisenhauer, N., Milcu, A., Nitschke, N., Sabais, A., Scherber, C. & Scheu, S. (2009). Earthworm and belowground competition effects on plant productivity in a plant diversity gradient. *Oecologia*, 161(2), 291-301. Doi: 10.1007/s00442-009-1374-1.
- Eisenhauer, N., Reich, P. & Isbell, F. (2012). Decomposer diversity and identity influence plant diversity effects on ecosystem functioning. *Ecology*, 93(10), 2227-2240.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). World Reference Base for soil resources 2014. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
- (2015). Status of the World's Soil Resources: Main Report. Recuperado de <http://www.fao.org/documents/card/es/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). Anuario Meteorológico. Quito, Ecuador. Recuperado de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

- Kalu, S. (2015). Earthworm population in relation to different land use and soil characteristics. *Journal of Ecology and the natural environment*, 7(5), 124-131. Doi: 10.5897/JENE2015.0511.
- Kanianska, R., Jad'ud'ová, J. Makovníková, J. & Kizeková, M. (2016). Assessment of relationships between earthworms and Soil Abiotic and Biotic Factors as a tool in Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 8. Doi: 10.3390/su8090906.
- Kiage, L.M. (2013). Perspectives on the assumed causes of land degradation in the rangelands of Sub-Saharan Africa. Doi: 10.1177/0309133313492543. Recuperado de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133313492543?journalCode=ppga>
- Laossi, K., Decaëns, T., Jouquet, P. & Barot, S. (2010). Can we predict how earthworm effects on plant ground vary with soil properties? *Applied and Environmental Soil Sciences*. Doi: 10.1155 / 2010/784342.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W., Ghillion, S. (1997). Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33, 159-193.
- Manono, B.O. (2014). *Effects of irrigation, effluent dispersal and organic farming on earthworms and soil microbes in New Zealand dairy farms* (PhD Dissertation, University of Otago, Dunedin, New Zealand). Recuperado de <https://ourarchive.otago.ac.nz/handle/10523/5097>.
- Martínez, J., Cajas, Y., León, J. & Osorio, N. (2014). Silvopastoral systems enhance soil quality in grasslands of Colombia. *Applied and Environmental Soil Sciences*. Doi: 10.1155/2014/359736
- Proulx, R., Wirth, C., Voigt, W., Weigelt, A., Roscher, C., Attinger, S., . . . , Schmidt, B. (2010). Diversity Promotes Temporal Stability across Levels of Ecosystem Organization in Experimental Grasslands. *PLoS ONE*, 5(10), 1-8. Doi:10.1371/journal.pone.0013382.

- Rolinski, S., Müller, C., Heinke, J., Weindl, I., Biewald, A., Bodirsky, L., Bondeau, A. et al. (2018). Modeling vegetation carbon dynamics managed grasslands at the global scale with LPJmL 3.6. *Geoscientific Model Development, European Geosciences Union*, 11(1), 429-451.
- Schelfhout, S., Mertens, J., Verheyen, K., Vesterdal, L., Baeten, L., Muys, B. & Schrijver, A.D. (2017). Tree species identity shapes earthworm communities. *Forests*, 8(3), 85-105. Doi: 10.3390/f8030085.
- Smith, S. & Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Cambridge, Reino Unido: Academic Press.
- Tukey, J. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5, 99-114.
- Van Eekeren, N., Murray, P. & Smeding, F. (2007). Soil biota in grassland, its ecosystem services and the impact of management. In: De Vliegheer, A. & Carlier, L. (Eds.) *Grassland Science in Europe*, 12, 247-257.
- Vargas, S. (2013). *Producción de leche bovina tropical sostenible. Diseño, gestión y evaluación de agroecosistemas*. Un enfoque integrado. Alemania: Publicia Editorial.
- Zaller, J., Heigl, F., Grabmaier, A., Lichtenegger, C., Piller, K., Allabashi, R., Frank, T. & Drapela, T. (2011). Earthworm mycorrhiza interactions can affect the diversity, structure and functioning of establishing model grassland communities. *PloS One*, 6(12). Doi: 10.1371/journal.pone.0029293.