

EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO BAJO LA
INCORPORACIÓN DE SIETE ABONOS VERDES EN UN ANDISOL DE PASTO, NARIÑO

MARIA FERNANDA URBANO ESTRADA
MARIA FERNANDA PANTOJA MOLINA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO

2018

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE SUELO BAJO LA
INCORPORACIÓN DE SIETE ABONOS VERDES EN UN ANDISOL DE PASTO, NARIÑO

MARIA FERNANDA URBANO ESTRADA
MARIA FERNANDA PANTOJA MOLINA

Anteproyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO
AGROFORESTAL

Presidente de tesis:

Iván Andrés Delgado Vargas M.Sc.

Copresidente:

Paulo Cesar Cabrera Moncayo M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma de presidente de tesis

Firma de copresidente de tesis

Firma de jurado

Firma de jurado

SAN JUAN DE PASTO, NOVIEMBRE DEL 2018.

Dedicatoria María Fernanda Urbano Estrada

De todo corazón quiero dedicar este trabajo primeramente a Dios, a mis padres y hermanos; especialmente a mi madre quien ha sido un apoyo incondicional durante todo este tiempo, y quien ha sabido guiarme y aconsejarme para seguir adelante, además de haber puesto toda su fe y confianza en mí, quien ha sabido darme la fortaleza para nunca darme por vencida y sacar mi carrera adelante; por eso quiero dedicarle este triunfo ella y agradecerle por todo su amor y comprensión en esta importante etapa de mi vida; por otro lado también quiero agradecerle a mis amigos y especialmente a mi compañera a tesis, que fue un gran apoyo y una gran amiga que ante todas las dificultades siempre estuvo ahí, y nunca me dejó sola, le agradezco sobre todo por su paciencia y perseverancia y gracias a todo ese esfuerzo que hicimos para culminar con este trabajo de grado.

Dedicatoria María Fernanda Pantoja Molina

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, a mi madre Nancy por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor; a mi padre Byron por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, a mis hermanos Eliana y Yeferson, por su apoyo y cariño, por ser mis segundos padres que tanto quiero y a mi compañera de tesis, María Fernanda Urbano por su comprensión, compromiso, apoyo y amistad; que sin su trabajo esta meta no se cumpliría, muchas gracias de todo corazón.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro presidente de tesis Iván Andrés Delgado M. Sc y a nuestro copresidente Paulo Cesar Cabrera Moncayo M. Sc, Docentes de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño; por permitirnos hacer parte de este proceso de investigación y acompañarnos durante toda esta de investigación y formación.

A nuestros jurados de tesis Iván Felipe Benavides Martínez Ph. D y Jorge Fernando Navia Estrada Ph.D., Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño; que siempre estuvieron pendientes y dispuestos a colaborarnos firmemente con todos sus conocimientos y por enseñarnos de nuestros errores y convertirse en aliados en este proceso.

Jairo Sarasty Bravo. I.AF, Laboratorista Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, quien nos permito utilizar algunos equipos de su laboratorio.

Les agradecemos a todos ustedes, puesto que sin su ayuda no habría sido posible realizar este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	4
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
CONCLUSIONES.....	17
RECOMENDACIONES.....	17
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

Evaluación de algunas propiedades biológicas del suelo bajo la incorporación de siete abonos verdes en un andisol de Pasto, Nariño

Evaluation of some biological properties of soil after the incorporation of seven green manures in an andisol Pasto, Nariño

María Fernanda Urbano E. ¹

María Fernanda Pantoja M. ²

Iván Andrés Delgado V. ³

Paulo Cesar Cabrera M. ⁴

¹ Estudiante- Tesista. Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. E-mail; mariafernandaurbanoestrada@gmail.com. 2018.

² Estudiante- Tesista. Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. E-mail; marpantoja.1996@gmail.com. 2018.

³ I. AF. M.Sc. Docente investigador. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. E-mail; ivandelgado5@gmail.com. 2018.

⁴ I. AF. M.Sc. Docente investigador. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. E-mail; paulocabrera28@gmail.com. 2018.

RESUMEN

Se realizó la evaluación de algunas propiedades biológicas del suelo mediante la incorporación de siete abonos verdes en suelos del corregimiento de Genoy del municipio de Pasto. Se diseñó una parcela experimental de 50 x 15m, la cual se dividió en 24 subparcelas de igual dimensión (6 x 3.6m), las cuales fueron asignadas para la aplicación de los siete abonos verdes (tres réplicas por tratamiento) y un testigo, al cual no se le aplicó ningún abono. El muestreo de macrofauna se realizó en tres profundidades (0-10, 10-20 y 20- 30cm) un mes después de la aplicación de los abonos, siguiendo la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), utilizando monolitos de dimensiones 0.25 x 0.25 x 0.30m, obteniendo un monolito por cada tratamiento, con tres réplicas. Posteriormente se realizó el conteo e identificación taxonómica de los individuos a nivel de orden y familia. Se determinó la riqueza, biomasa, abundancia y los índices de diversidad de Simpson y Shannon-Wiener y se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación post-hoc de Tukey, para determinar el efecto de la aplicación de los

abonos sobre cada variable. En general, los resultados mostraron mayor abundancia, riqueza y diversidad en los tratamientos con abonos verdes en comparación con los testigos. Los valores más altos en abundancia, riqueza y diversidad los presentó el tratamiento con *Alnus jorullensis* y la profundidad de 0-10cm. Se encontraron familias de gran importancia ecológica que desempeñan un rol trascendental en el suelo.

Palabras clave: suelo, abonos verdes, macrofauna, diversidad, abundancia, riqueza.

ABSTRACT

We evaluated some biological properties such as richness, diversity, abundance and biomass of the edaphic macrofauna after the incorporation of seven green manures in the soils of Genoy (Pasto, Colombia). An experimental plot of 50 x 15 m was designed and divided into 24 subplots of equal size (6 x 3,6 m), which were assigned for the application of seven green manures (three replicates per treatment) and one control. The sampling of macrofauna were performed by extracting three replicate monoliths (0,25 x 0.25 x 0,30 m in size) at three soil depths (0-10, 10-20 y 20-30 cm) from each treatment, forty five days after applying the green manures, this sampling was performed using the TSBF methodology (Tropical Soil Biology and Fertility). Every individual found in the samples was identified to the taxonomic level of family. We estimated the richness, biomass, abundance and Simpson and Shannon-Wiener diversity indexes of each sample and applied ANOVA and Tukey post-hoc tests to determine the effect of the green manures and soil depths on the biological variables. As a general result all the green manure treatments increased the abundance, richness and diversity in comparison to the control group. The higher values in abundance, richness and diversity were found in the treatment with *Alnus jorullensis*, but this occurred mainly at the 0-10 cm soil depth. Also, this depth showed presence of families of high ecological importance such as earthworms, ants and some beetles, which play key roles in the soil, acting as soil engineers.

Key words: soil, green manures, macrofauna, diversity, abundance, richness.

INTRODUCCIÓN

El suelo como parte del sistema natural y social cumple funciones fundamentales de naturaleza biológica, alimentaria, depuradora y de soporte mecánico, albergando numerosas y diversas especies microbianas, animales y vegetales responsables de la actividad metabólica, esencial para la formación, funcionamiento y fertilidad del mismo. Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas, son el principal agente del ciclo de los nutrientes y regulan la dinámica de la materia orgánica del suelo (FAO, 2007).

La degradación acelerada e irreversible del recurso suelo, considerada como uno de los mayores peligros para la humanidad en el futuro, en una primera aproximación, es definida por Blum, (2000) como un desbalance de algunas de las funciones del suelo que pueden ser causa de su deterioro físico, químico y biológico y hasta de su total destrucción. Para Lichtinger *et al.* (2000) la degradación del suelo y la consecuente reducción en la capacidad para proveer alimento para una población creciente es un tema crítico cuando se considera la seguridad alimentaria del país. La importancia que tiene la evaluación de la degradación del suelo radica en que si bien algunos aspectos de esta son reversibles a largo plazo como la pérdida de materia orgánica, otros son irreversibles como la erosión.

Como alternativa de manejo para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos cultivados por agricultores de bajos recursos, se ha hecho uso de tecnologías agroecológicas como los abonos verdes, los cuales mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, dentro de estas últimas aumentando la diversidad de organismos edáficos (Labrador, 2001). Dentro de las propiedades biológicas se encuentra la presencia de organismos que habitan en el suelo, a los cuales se confiere gran importancia en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica y en el mejoramiento de la estructura del suelo (Julca *et al.*, 2006). En dichos procesos, las diferentes especies de invertebrados cumplen funciones diversas; como agentes del ciclo de los nutrientes, regulación de la dinámica de la materia orgánica del suelo, retención de carbono alteración de la estructura material del suelo, entre otros. (Abi-Saab, 2012). Estos servicios no sólo son decisivos para el funcionamiento de los

ecosistemas naturales, sino que constituyen un importante recurso para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas (Cabrera y Crespo, 2001).

De acuerdo con la FAO (2008), cerca del 20% de los suelos con potencial agrícola se encuentran degradados de manera irreversible, lo cual conlleva a la necesidad de explorar nuevas tecnologías agrícolas que reduzcan el impacto sobre el suelo, al tiempo que generen beneficios para los productores. Una de estas tecnologías es el uso de abonos verdes que representa una atractiva alternativa de la agricultura orgánica, que es viable y económica para aportar nutrientes, carbono orgánico y mejorar las propiedades de los suelos (Prager *et al.*, 2012). Al tener en cuenta lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar algunas propiedades biológicas del suelo como diversidad, riqueza, abundancia y biomasa de la macrofauna edáfica, después de la incorporación de siete abonos verdes en dos andisoles del Municipio de Pasto en el departamento de Nariño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en la finca El fondo de la vereda Nueva Campiña del corregimiento de Genoy, ubicada al sur occidente del departamento de Nariño, a 13 km de la ciudad de Pasto, con coordenadas geográficas 77 °19 '57.80" LO y 1°16' 21.09" LN, a una altitud 2700 msnm, temperatura promedio 15°C, precipitación media anual 1527 mm, humedad relativa del 70% (Climate-Data.Org, 2018). Según el IGAC (2004), los suelos donde se realizó la investigación tiene una clasificación taxonómica Typic Melanocryands, Lithic Melanocryands y Misceláneo Rocoso (MEBf), son suelos que se han desarrollado a partir de depósitos espesos y delgados de ceniza volcánica sobre andesitas; presentan con frecuencia abundantes fragmentos de roca de naturaleza variable a diferentes profundidades, son bien drenados, moderadamente profundos a superficiales, limitados por la roca.

Diseño experimental. Los tratamientos se organizaron en una parcela de 15 x 50 m, con un diseño experimental en bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones por tratamiento (subparcela). La separación entre tratamientos fue de 0,27 m y entre bloques de 1,4 m. El área total del experimento fue de 750 m². La ubicación espacial de los tratamientos se observa en la (Figura 1). Debido a un gradiente de 20% de pendiente, los tratamientos se distribuyeron de

manera uniforme evitando que los procesos de escorrentía en días de lluvias favorecieran la mezcla entre tratamientos incurriendo en un aumentado error experimental. Teniendo en cuenta el diseño se procedió a señalar el lote y cada una de las unidades experimentales mediante el uso de algunas herramientas agrícolas (machetes, palas y azadones).

Tratamientos

T0: Testigo absoluto

T1: Abono verde de Alverjilla (*Vicia sativa* L).

T2: Abono verde de Llantén forrajero (*Plantago lanceolata* L).

T3: Abono verde de Alfalfa (*Medicago sativa* L).

T4: Abono verde de Trébol (*Trifolium repens* L).

T5: Abono verde de Nabo (*Brassica napus* L).

T6: Abono verde de Chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet).

T7: Abono verde de Aliso (*Alnus jorullensis* Humboldt, Bonpland & Kunth).

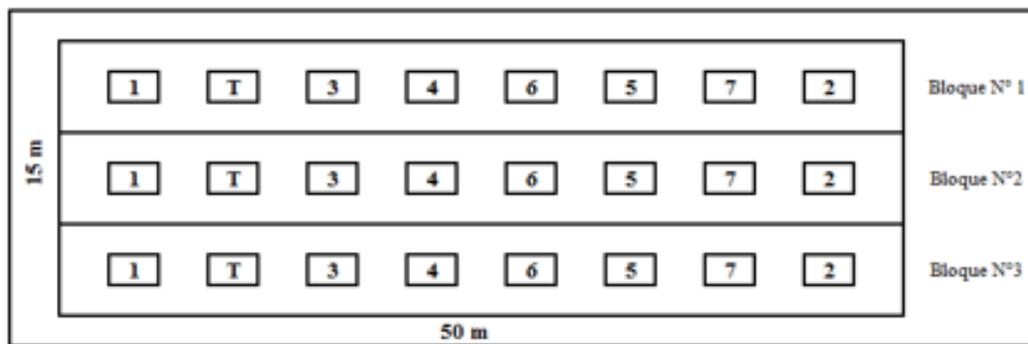


Figura 1. Distribución espacial de los tratamientos en el ensayo en la finca El Fondo, Genoy.

Siembra de los abonos verdes. Las 24 subparcelas que conformaron el diseño experimental tuvieron un área de 21,6 m² (6 x 3,60 m), en las cuales se realizó la siembra al voleo en altas densidades. Teniendo en cuenta el porcentaje de germinación de cada una de las especies se utilizaron las siguientes cantidades: Alverjilla (*V. sativa*): 166,6 g, llantén forrajero (*P. lanceolata*): 166,16 g, alfalfa (*M. sativa*): 154 g, trébol (*T. repens*): 151 g, nabo (*B. napus*): 141,6 g y chocho (*L. mutabilis*): 661,6 g.

Incorporación de los abonos verdes. Transcurridos 60 días después de la siembra, se procedió a cortar el forraje de las especies implementadas en las parcelas, mientras que el forraje de *A. jorullensis* se obtuvo de los árboles de la zona, con la ayuda de una báscula se pesaron 8 kg de forraje de cada uno de los abonos (Moran *et al.*, 2012) y se incorporaron en las unidades experimentales de forma superficial mediante la utilización de herramientas agrícolas (palas, azadones, machetes).

Muestreo de macrofauna edáfica. Después de 45 días de la incorporación de los abonos verdes, se realizó un muestreo de macrofauna edáfica utilizando la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) descrito por Anderson e Ingram en 1993 (Lavelle *et al.*, 2003). Se ubicó al azar un sitio de muestreo por cada unidad experimental y se obtuvieron tres monolitos replicados de dimensiones 0,25 x 0,25 x 0.30 m, correspondientes a un área de 0.0625 m², posterior a esto se tomaron 3 submuestras de los monolitos (sección vertical extraída del suelo, que permite exhibir su condición natural) de: 0-10 cm, 10-20 cm, y 20-30 cm de profundidad. Se procedió a extraer cuidadosamente y de forma manual todos los individuos de macrofauna edáfica encontrados en las muestras, los cuales fueron almacenados en frascos de plástico previamente rotulados. Los artrópodos se conservaron en alcohol al 70% y los anélidos en formol al 5%. Todos los individuos encontrados se trasladaron al laboratorio de Entomología de la Universidad de Nariño donde fueron identificados hasta el nivel de familia con la ayuda de un estereoscopio Nikon smz 646. Posteriormente todos los individuos fueron contabilizados y pesados en una balanza analítica para el cálculo de biomasa.

Análisis de datos. Para cada muestra se determinó la riqueza de familias, la abundancia de macrofauna calculando el número de individuos por m² (i/ m^2) y la biomasa determinada por el peso fresco en gramos por m² (g.p.f/m²). Se realizó una curva de acumulación de especies para determinar la eficiencia del esfuerzo de muestreo, y se estimaron los estadísticos Chao 1, Jack 1 y Bootstrap utilizando el programa Estimate S versión 9.1.0 (Colwell, 2006).

Se estimaron los índices de Simpson y Shannon-Wiener (Moreno, 2001) utilizando el software Past Versión 3.20. Una vez sistematizados todos los datos se realizó un análisis de varianza de dos vías para evaluar el efecto del tratamiento, la profundidad y su interacción (variables independientes), sobre la biomasa, abundancia y riqueza (variables dependientes) de forma separada. Finalmente se ejecutaron pruebas de comparación de medias de Tukey para cada

variable, para localizar las diferencias identificadas por el análisis de varianza. Todos estos análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat versión 2017.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Abundancia. La abundancia total encontrada en Genoy fue de 9488 individuos/m², siendo mayor en el *Alnus jorullensis* con un total de 2080 individuos/m², el cual estuvo representado por las clases Clitellata, Insecta, Arachnida y Chilopoda. Las especies pertenecientes a la clase Clitellata como los son las lombrices cumplen una importante función transformando el material orgánico en humus, ya que, consumen cada día un volumen de alimento equivalente al peso de su cuerpo. Además, son responsables de cambios importantes en la estructura física del suelo (Lavelle y Spain, 2001). La clase Insecta, especialmente las familias de orden Coleóptera, se destacan por contribuir a la degradación y transformación de la materia orgánica, mejorando la calidad y manteniendo la fertilidad del suelo (Arango y Vásquez, 2003).

El tratamiento de *Medicago sativa* tuvo una abundancia de 1552 individuos/m², representado principalmente por las clases Insecta, Clitellata y Gastropoda, seguido del tratamiento con *Plantago lanceolata* con un total de 1504 individuos/m² y representado por las clases Clitellata, Insecta, Arachnida, Chilopoda, Gastropoda y Malacostraca. El tratamiento con *Brassica napus* tuvo una abundancia de 1344 individuos/m², representada principalmente por las clases Insecta, Gastropoda, Clitellata, Arachnida y Chilopoda. El *Lupinus mutabilis* que tuvo una abundancia de 1088 individuos/m² y estuvo representado principalmente por las clases Clitellata, Insecta y Arachnida, mientras que el tratamiento con *Trifolium repens* tuvo una abundancia de 720 individuos/m² y estuvo representado por las clases Clitellata, Arachnida y Insecta. Las abundancias para cada tratamiento y su principal composición por familias se muestran detalladamente en la Tabla 1.

Tabla 1. Abundancia encontrada para cada familia de la macrofauna edáfica asociada a la incorporación de los siete abonos verdes en la finca El Fondo, Genoy.

Familia	Testigo	Alverjilla	Llantén	Alfalfa	Trébol	Nabo	Chocho	Aliso	TOTAL
Acaridae	0	112	64	0	16	48	64	32	336

Acridoidea	16	0	0	0	0	0	0	16	32
Blattidae	0	16	0	0	0	0	0	0	16
Carabidae	16	0	64	112	0	48	0	576	816
Chrysomelidae	0	0	0	80	16	0	0	0	96
Cicadidae	0	0	0	0	16	16	32	0	64
Coccinellidae	48	0	96	48	48	0	16	16	272
Cryptopidae	0	32	64	0	0	48	0	16	160
Curculionidae	0	0	32	80	0	128	16	80	336
Drosophilidae	0	0	0	0	0	144	0	16	160
Elateridae	0	16	0	0	0	32	0	0	48
Elmidae	0	0	16	16	16	0	0	48	96
Entomobryidae	0	32	16	0	0	0	0	0	48
Forficulidae	0	0	16	96	16	0	0	0	128
Formicidae	0	0	176	368	48	16	288	0	896
Geelechiidae	0	0	16	0	0	0	0	0	16
Hemerobidae	0	0	32	48	16	32	16	32	176
Lumbricidae	320	160	640	480	432	464	320	640	3456
Lycosidae	16	16	0	0	0	16	0	32	80
Miridae	0	0	0	16	0	0	0	0	16
Nabidae	0	0	16	0	0	0	16	32	64
Noctuydae	0	0	0	0	16	0	32	32	80
Nymphalidae	0	32	0	16	16	0	0	32	96
Pentatomidae	0	16	0	0	0	0	0	0	16
Polydesmidae	0	16	0	0	0	0	0	0	16
Porcellionidae	0	0	16	0	0	0	0	0	16
Ptilodactylidae	48	0	64	0	0	0	0	80	192
Scarabaeidae	48	208	128	144	32	320	224	80	1184
Sp 1	0	0	0	16	0	0	0	0	16
Sp 2	0	0	0	0	0	16	0	0	16
Sp 4	0	0	48	0	0	0	0	0	48
Staphylinidae	0	0	0	32	16	0	48	96	192
Stratyomidae	0	0	0	0	0	0	16	192	208
Tipulidae	0	0	0	0	0	0	0	32	32
Vespidae	0	32	0	0	16	16	0	0	64
TOTAL	512	688	1504	1552	720	1344	1088	2080	9488

La macrofauna edáfica se puede agrupar en grupos funcionales así detritívoros, ingenieros del suelo, fungívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros, que se diferencian según su hábito alimentario y su contribución al funcionamiento multitrófico del ecosistema (flujos de energía y mejoramiento de la calidad del suelo) (Barnes *et al.*, 2014).

De acuerdo a los resultados obtenidos se pueden distinguir los siguientes grupos funcionales: Los detritívoros representados fundamentalmente por los diplópodos (milpiés), isópodos (cochinillas) y algunos coleópteros (escarabajos) (Bar *et al.*, 2005) los cuales pueden ser utilizados para indicar el estado de perturbación en el medio edáfico. Ellos viven y se alimentan en la superficie del suelo, con lo que ayudan en el fraccionamiento de la hojarasca y material vegetal, por ende influyen en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Cabrera *et al.*, 2011). Esta comunidad detritívora, es muy sensible a los cambios bruscos de humedad y temperatura, por lo que tienden a desaparecer ante condiciones de estrés (Zerbino *et al.*, 2005).

Los ingenieros del suelo (Clitellata, Insecta :Formicidae), este grupo funcional tiene un impacto específico en el interior del suelo a partir de la transformación de las propiedades físicas, que favorecen agregados y la estructura, el movimiento y la retención del agua, así como el intercambio gaseoso (Lavelle, 2000; Cunha *et al.*, 2016). Los depredadores de las clases Arachnida, Insecta (coleópteros de las familias Carabidae, Coccinellidae), cuya presencia es indicativa de redes tróficas complejas, a la vez que contribuyen al control de plagas en áreas agrícolas (Gullan y Cranston, 2000; Rousseau *et al.*, 2013).

El análisis de varianza indicó un efecto significativo de la profundidad y un efecto marginalmente significativo del tratamiento sobre la variable abundancia (Tabla 2). La prueba post-hoc de Tukey (Figura 2) indicó que los tratamientos con abonos verdes afectan el número de individuos de la macrofauna edáfica de manera diferencial en ciertos estratos, presentando mayor abundancia en la profundidad de 0-10 cm en los tratamientos con *A. jorullensis*, *B. napus* y *L. mutabilis*, para un total de 384 i/ m², 309 i/ m² y 234,67 i/ m² respectivamente, y siendo el tratamiento testigo donde menor abundancia hubo con un total de 26,67 i/m². Se pudo observar que a una profundidad de 0 a 10 cm se encuentra la mayor cantidad de individuos y que dicha cantidad se reduce a medida que la profundidad aumenta. Con esto se corrobora lo descrito por Castro *et al.*, (2007), quienes reportan que la macrofauna del suelo se desenvuelve en el estrato de mantillo y en la profundidad de 0-10 cm, ya que a medida que se profundiza en el perfil del

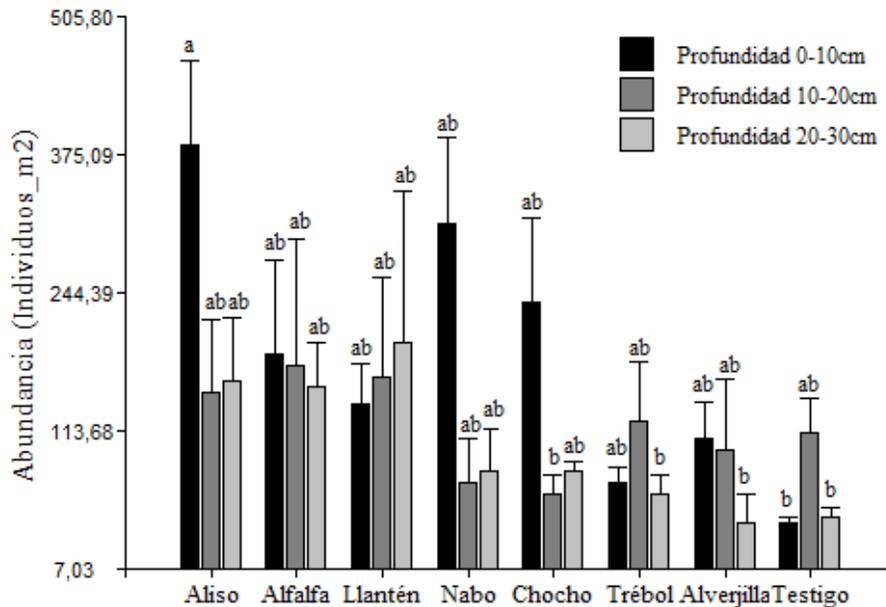
suelo disminuye el contenido de materia orgánica y el oxígeno que proporcionan el hábitat y el alimento para su desarrollo. En general, estos resultados muestran que es la profundidad de 0-10 cm donde el efecto de los abonos es más claro, ya que todos son capaces de influenciar el aumento en la abundancia de individuos de macrofauna edáfica. Particularmente *A. jorullensis* el cual tuvo la capacidad de incrementar en 87,01% la abundancia en relación al testigo.

Tabla 2. Análisis de varianza para las variables abundancia, riqueza, biomasa, índice de Simpson e índice de Shannon-W, en los siete tratamientos con abonos verdes y el testigo en la finca El Fondo, Genoy.

Variab	F.V	SC	GI	CM	F	Pr > F
Abundancia	Tratamiento	220924,44	7	31560,6	2,08	0,0644 ^{ms}
	Profundidad	93532,44	2	46766,2	3,08	0,0553*
	Trat x Prof	226296,89	14	16164,1	1,06	0,4125 ^{ns}
	Error	729770,67	48	15203,6		
	Total	1270524,4	71			
Riqueza	Tratamiento	78,21	7	11,17	3,62	0,0033**
	Profundidad	54,11	2	27,06	8,77	0,0006***
	Trat x Prof	87	14	6,21	2,02	0,0367*
	Error	148	48	3,08		
	Total	367,32	71			
Biomasa	Tratamiento	17192,78	7	2456,11	3,4	0,005**
	Profundidad	4639,97	2	2319,99	3,21	0,0492*
	Trat x Prof	54879,68	14	3919,18	5,42	<0,0001*
	Error	34709,35	48	723,11		
	Total	111421,79	71			
I. Simpson	Tratamiento	1,23	7	0,18	2,67	0,0206*
	Profundidad	0,27	2	0,14	2,05	0,1393 ^{ns}
	Trat x Prof	1,13	14	0,08	1,23	0,2893 ^{ns}
	Error	3,17	48	0,07		
	Total	5,81	71			
I. Shannon	Tratamiento	5,31	7	0,76	3,1	0,0089**
	Profundidad	2,13	2	1,06	4,34	0,0185*
	Trat x Prof	4,89	14	0,35	1,43	0,1776 ^{ns}
	Error	11,75	48	0,24		
	Total	24,08	71			

* Presenta diferencias significativas a $p < 0.05$, ** Presenta diferencias significativas a $p < 0.01$, *** Presenta diferencias significativas a $p < 0.001$, ms Presenta diferencias marginalmente significativas, ns No presenta diferencias significativas.

Según Lavelle y Spain (2001), los abonos verdes influyen sobre la actividad biológica del suelo por la incorporación y efecto de la hojarasca y/o follaje, y su atenuante efecto físico sobre la disminución de la temperatura y por el mantenimiento de condiciones adecuadas de humedad del suelo, constituyéndose en alternativas para lograr la colonización (Figura 2).



Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Promedios con letras diferentes indican diferencias significativas con $p < 0.05$ según la prueba post-hoc de Tukey.

Figura 2. Promedios de abundancia (i/m^2) de macrofauna edáfica por cada tratamiento de abono verde y profundidad del suelo.

Riqueza. En la figura 3 se muestra que, aunque las curvas no alcanzaron una asíntota, si indican que la eficiencia en el esfuerzo de muestreo de familias pudo alcanzar alrededor de un 50% del total considerándose un muestreo satisfactorio según Chao *et al.* (2009). El análisis de varianza mostró efecto significativo de los factores tratamiento de abono verde, profundidad del suelo y su interacción sobre la riqueza de familias (Tabla 2). La prueba de comparación de medias de Tukey (Figura 4) indicó que los tratamientos aplicados al suelo afectan la riqueza de la macrofauna de manera diferencial en ciertas profundidades al igual que la abundancia. En general se puede observar que a medida que aumenta la profundidad del suelo la riqueza de

familias disminuye. En el tratamiento de *A. jorullensis*, las familias más relevantes fueron Lumbricidae, Scarabaeidae, Carabidae y Ptilodactylidae.

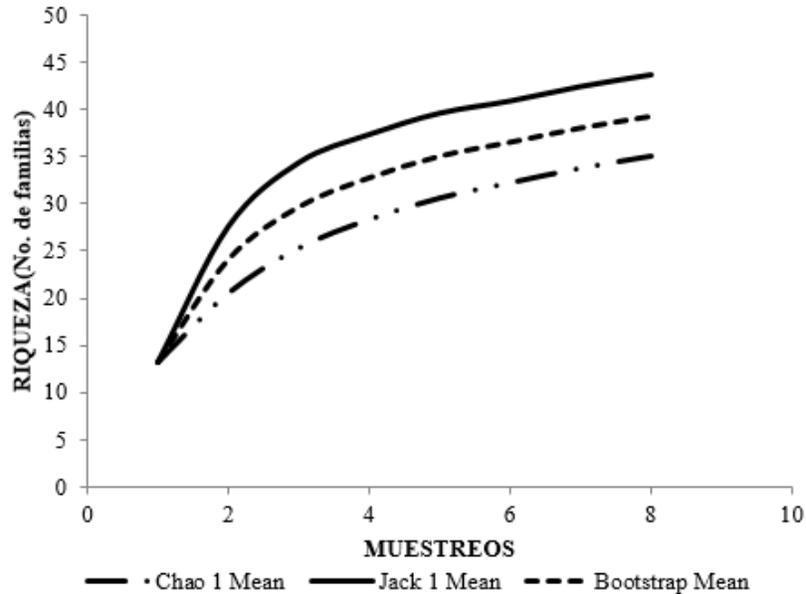
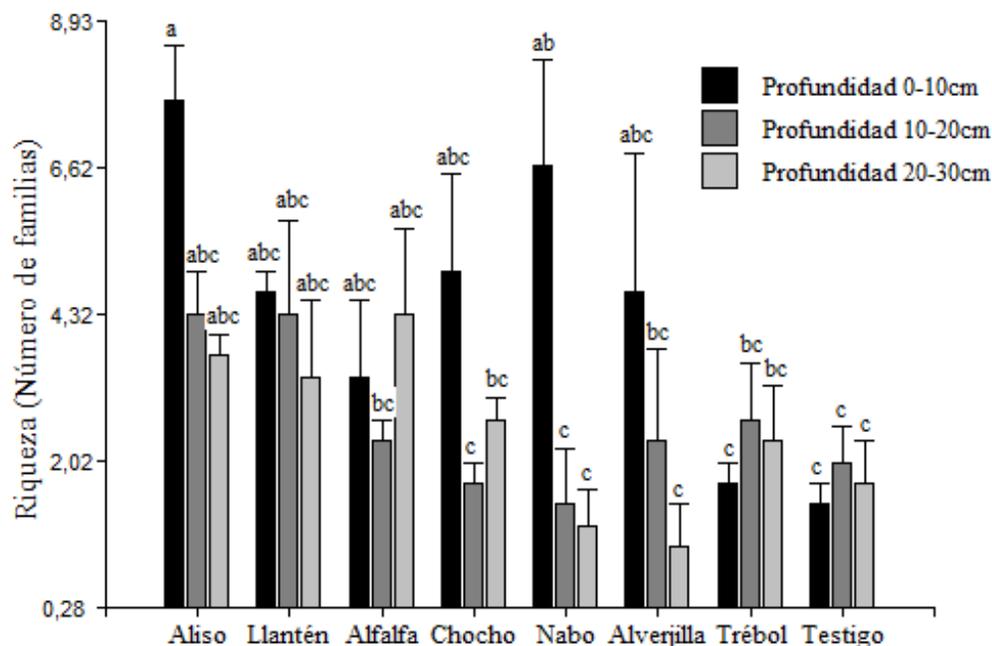


Figura 3. Curva de acumulación de familias para la parcela experimental ubicada en la finca El Fondo, Genoy.

La hojarasca de *A. jorullensis* proporciona mayor humedad al suelo, favoreciendo el desarrollo de los organismos descomponedores de materia orgánica (Cabezas *et al.*, 2008). Esta es probablemente la razón por la cual se encontró una alta riqueza de familias que cumplen funciones importantes en la descomposición y transformación de materia orgánica. El tratamiento con *B. napus* presentó mayor presencia de las familias Lumbricidae, Scarabaeidae, Carabidae y Curculionidae. Según Birbaumer *et al.*, (2000), *B. napus* se utiliza como abono verde puesto que favorece el reciclaje de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno. Le sigue el tratamiento con *L. mutabilis*, donde las familias Lumbricidae, Scarabaeidae y Formicidae fueron las más relevantes (Figura 4).



Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Promedios con letras diferentes indican diferencias significativas con $p < 0.05$ según la prueba post-hoc de Tukey.

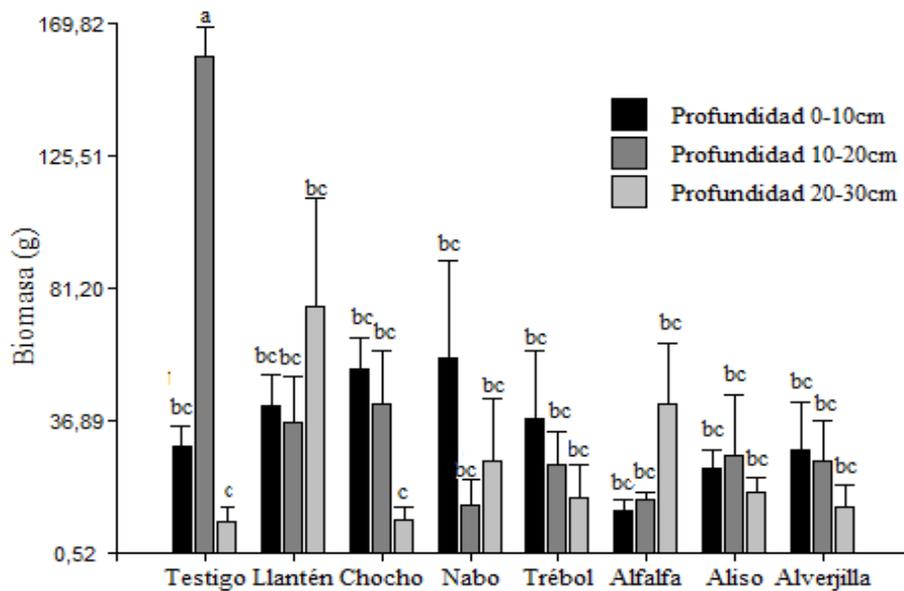
Figura 4. Promedios de riqueza (i/m^2) de familias de macrofauna edáfica por cada tratamiento de abono verde y profundidad del suelo.

Las familias encontradas en los anteriores tratamientos son de gran importancia ecológica, las lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) y las hormigas (Insecta: Formicidae) actúan como ingenieros ecosistémicos en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica (Cabrera *et al.*, 2011), además se constituyen como indicadores de los procesos que se producen en el suelo y de la calidad biológica de estos (Cairo, 2003).

Otras familias encontradas del orden coleóptera como Carabidae, Curculionidae y especialmente la familia Scarabaeidae, se destacan por contribuir a la degradación y transformación de la materia orgánica mejorando la calidad del suelo y manteniendo la fertilidad de este (Arango y Vásquez, 2003). Por último, el testigo fue el que presentó la menor riqueza en las tres profundidades, y sus familias más relevantes fueron Lumbricidae y Ptilodactylidae. Adicionalmente, es clave llegar al nivel taxonómico de género y especie en la macrofauna

edáfica para relacionar la composición con las condiciones edafoclimáticas de la zona, con el fin de identificar taxones como indicadores de salud y funcionalidad del suelo.

Biomasa. El análisis de varianza indicó efecto significativo del tratamiento de abonos verdes, la profundidad y su interacción sobre la variable biomasa (Tabla 2). Según la prueba de comparación post-hoc de Tukey (Figura 5), estas diferencias existen únicamente por el testigo, que a la profundidad de 10-20 cm fue el que mayor biomasa presentó con respecto a los demás tratamientos (161,76 g.p.f/m²). Los tratamientos con menor biomasa se presentaron en la profundidad de 20-30 cm, que correspondieron al testigo y a *L. mutabilis* con 1,92 g.p.f/m² y 0,69 g.p.f/m², respectivamente. La variabilidad en los datos de biomasa de los individuos con respecto a los tratamientos y a la profundidad de muestreo podría deberse a factores como la disponibilidad de recursos alimenticios, condiciones microclimáticas, propiedades químicas y estructura del suelo, las cuales afectan significativamente el tamaño, biomasa, composición y distribución de las comunidades bióticas existentes en el suelo (Beare *et al.*, 1995; Villalobos *et al.*, 2000).



Promedios con letras diferentes indican diferencias significativas con $p < 0,05$ según la prueba post-hoc de Tukey.

Figura 5. Promedios de biomasa de macrofauna edáfica por cada tratamiento de abono verde y profundidad del suelo. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

Diversidad. El análisis de varianza para el caso del índice de Shannon indicó efectos significativos del tratamiento de abonos verdes y la profundidad, mientras que para el índice de Simpson solo hubo efecto de los abonos (Tabla 2). Los índices de Shannon ($H' = 1,30$) y Simpson ($\lambda = 0,65$) fueron mayores en *A. jorullensis* seguido por el *P. lanceolata*, Shannon ($H' = 1,15$) y Simpson ($\lambda = 0,60$), mientras que el testigo fue el que menores valores presentó en ambos índices, Shannon ($H' = 0,39$) y Simpson ($\lambda = 0,25$) (Figura 6). Resultados similares han sido reportados por Brévault *et al.*, (2007), quienes registraron mayores índices de diversidad en sistemas sin labranza y con cobertura de mantillo, los cuales propician variedad de sustratos e influyen en el desarrollo de varios grupos faunísticos edáficos.

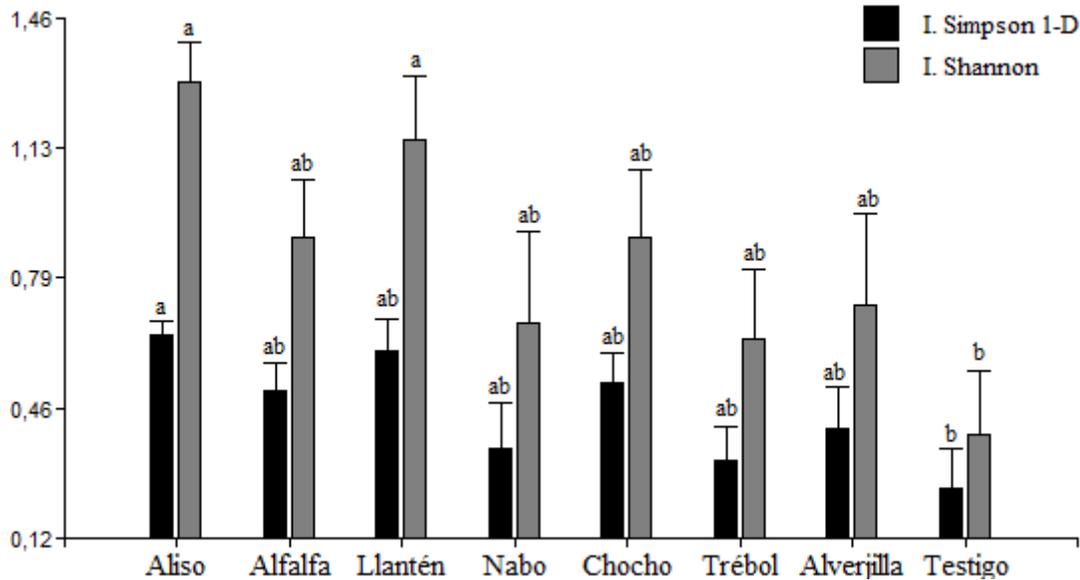


Figura 6. Promedio de los índices de Simpson y Shannon para las familias de macrofauna edáfica por cada tratamiento de abono verde y profundidad del suelo. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Promedios con letras diferentes indican diferencias significativas con $p < 0,05$ según la prueba post-hoc de Tukey.

En general, todos los valores de diversidad según ambos índices fueron bajos, esto podría estar relacionado con la historia del uso y el manejo del suelo, puesto que anteriormente la parcela de estudio se ocupaba como potrero. Según Moran y Alfaro (2015), el impacto del pastoreo afecta drásticamente las comunidades de macrofauna debido al efecto que ejerce el ganado con el pisoteo, provocando compactación, erosión y degradación de los suelos, transformando sus

propiedades físicas y por tanto, degradando el hábitat disponible para la macrofauna. Según Barraqueta (2001), Mathieu *et al.* (2005) y Marichal *et al.* (2014) prácticas inadecuadas de manejo (tala, labranza intensiva, uso de agroquímicos, cambio de cobertura) y el uso inadecuado del suelo, afectan la diversidad y densidad tanto de los principales grupos de descomponedores de la materia orgánica como de otras comunidades de la macrofauna del suelo, ya que provocan variaciones bruscas en condiciones de temperatura y humedad del suelo, cobertura y calidad de la hojarasca, cantidad de residuos, y destrucción mecánica de los microhábitats.

Por el contrario las practicas agroecológicas influyen en las condiciones de humedad, temperatura y en las propiedades físicas y químicas del suelo que forman el hábitat de estos organismos edáficos (Nieto *et al.*, 2013), lo que puede explicar que los tratamientos con abonos verdes promovieran mayor diversidad que el testigo. Esto reafirma a estos abonos como una práctica agroecológica efectiva.

Se considera importante para futuras investigaciones tener en cuenta otros factores que puedan afectar el estudio como lo son los parámetros físicos y químicos de los suelos y las condiciones microclimáticas de la zona, también es relevante tener en cuenta la tasa de descomposición de cada uno de los abonos verdes, la cual depende de su naturaleza (composición química, relación C/N), de su volumen, de la fertilidad del suelo, del manejo de la cobertura y de las condiciones climáticas, principalmente precipitaciones y temperaturas. Factores que influyen directamente en el metabolismo de los organismos descomponedores del suelo, principales agentes responsables por la descomposición de los residuos (Álvarez *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

El tratamiento con *A. jorullensis* presentó los valores más altos en abundancia riqueza y biodiversidad de familias de entomofauna edáfica.

A una profundidad de (0- 10 cm) se presentó el mayor nivel de riqueza y abundancia en la zona de estudio, debido a las condiciones favorables de alimentación y hábitat que se presentan por la incorporación de los abonos verdes.

En la parcela se encontraron organismos de gran importancia ecológica como es el caso de la familia de las lombrices de tierra (Lumbricidae) y las hormigas (Formicidae), las cuales intervienen en las propiedades físicas del suelo.

RECOMENDACIONES

La utilización de abonos verdes es una alternativa de producción útil, por este motivo se recomienda extender esta investigación, incluyendo incrementar el tiempo de abonado del suelo y la medición de variables físico-químicas.

Se recomienda en un próximo estudio llegar al nivel taxonómico de especie, que permita obtener una mayor información sobre las funciones ecosistémicas que la biodiversidad, a través de los grupos funcionales de la entomofauna edáfica, presta al suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi-Saab R., (2012). *Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico*. La Estancia, Madrid, Cundinamarca. Utilizando indicadores de calidad de suelos. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 93 p.
- Álvarez, C., Quiroga, A., Santos, D., Bodrero, M. (2012). *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Anguil: EEA INTA.
- Anderson, J.M. & Ingram, J.S.I. (1993). *Tropical soil biology and fertility*. A handbook of methods. Wallingford, UK: CAB International. 221 p.
- ARANGO, P Y VÁSQUEZ, M. (2003). Los coleópteros y el compost. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 93-95.
- Bar, Me; Mp Damborsky; G Avalos; E Monteresino & Eb Oscherov. (2005). Fauna de Arthropoda de la Reserva Iberá, Corrientes, Argentina. *Miscelánea*, 14: 293 - 310.
- Barnes, A.D., M. Jochum, S. Mumme, N. F. Haneda, A. Farajallah, T. H. Widarto, U. & Brose. (2014). Consequences of tropical land use for multitrophic biodiversity and ecosystem functioning. *Nature Communications*. 5: 5351.
- Barrequeta, P. (2001). La fauna del suelo: entre la repoblación forestal y la tala. En: Conservación, uso y gestión de los sistemas forestales. VI Jornada de Urdaibai sobre desarrollo sostenible (Coord. MD Salinas, MC de la Huerga & C Giménez). Departamento de ordenación del territorio, vivienda y medio ambiente, Gobierno Vasco, España. 257 p.
- Beare, M.H., D.C. Coleman, D.A. Crossley, P.F. Hendrix & E.P. Odum. (1995). A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. pp.

- 5-22. In: Collins, H.P., G.P. Robertson and M.J. Klug (Eds.). *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Birbaumer, G. Y Grupos Temáticos Del Proyecto. (2000). *Cultivar sin arar. Labranza mínima y siembra directa*. Bogotá, Colombia: Proyecto de Conservación de Suelo y Agua en la Zona Andina – Proyecto Checua Recuperado de http://catalogo.infoagro.hn/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11345&shelfbrowse_itemnumber=11852. Octubre 2018
- Blum, W.E.H. (2000). Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation In: R. Lal et al (eds.) *Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in soil Science*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. 1-16p.
- Brévault, T; Bikay, S; Maldes, J; Naudin, K. (2007). Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil. Til. Res.* Volumen 97: 140-149 p.
- Cabezas, M., Peña., Díaz C., Moreno A. (2008). Dosel de tres especies forestales y su relación con la adaptación a suelos degradados por erosión. *Revista U.D.C.A.* Volumen 11(2): 175-185 p.
- Cabrera, G., Y Crespo, G. (2001). Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 35 (1): 3-9.
- Cabrera, G.; Robaina, N. & Ponce De León, D. (2011). Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. Volumen 34: 331-346. 16 p.
- Cairo, P. (2003). La Fertilidad Física del Suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Villa Clara, Cuba. Volumen 19(1): 300 p.
- Castro. H; Burbano, H Y Bonilla C. (2007). Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos de terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. *ACAG. Acta Agronómica*. Volumen 56(3):127-130.
- Chao, A.; Colwell, R. K.; Lin, C. W.; Gotelli, N. J. (2009). Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. *Ecology*. Volumen 90 (4): 1125-1133.

- Climate-Data.Org. (2018). Datos climáticos mundiales. Clima Genoy. Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/narino/genoy-465490>. Octubre de 2018
- Colwell, R. K., (2006). Estimates: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Version 8. User's Guide and application published at. Recuperado de <http://purl.oclc.org/estimates>. Octubre de 2018.
- Cunha, L.; Gg Brown; Dw Stanton; E Da Silva; Fa Hansel; G Jorge; D Mckey; P Vidal-Torrado; Rs Macedo; E Velásquez; Sw James; P Lavelle & P Kille. (2016). The Terra Preta de Indio Network. Soilanimals and pedogenesis: the role of earthworms in anthropogenicsoils. *Soil Science*. Volumen 181(3/4): 110-125.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. (2004). Estudio general de los suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Bogotá. Recuperado de ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP/MEMORIAS_SUELOS_OFICIALES/NARI%C3%91O/Port%20presentaci%C3%B3n.pdf . Octubre 2018. 733 p.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2007). Funciones de los organismos del suelo: biota edáfica, Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/25/62254>. Octubre de 2018.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). Informe del estado el suelo en el mundo. Sala de prensa oficina Principal Roma – Italia.. Recuperado de <http://www.fao.org/3/b-i6407s.pdf>. Octubre de 2018.
- Gullan, P y Cranston, P. (2000).The importance, diversity, and conservation of insects. Hansen M.K. (eds.). *The Insects.An Outline of Entomology.2da edn.* (pp 2-9). Edición Oxford, UK: Blackwell Science. 584 pp.
- Julca A., Meneses L., Blas R., Bello S, (2006), La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura, *Idesia* Volumen 24(1): 49-61 p.
- Labrador, M.J., (2001). La materia orgánica en los agroecosistemas. Edición Grupo Mundi-Prensa. España. 293 p.

Lavelle, P. (2000). Ecological challenges for soil science. *Soil Science*. Volumen 165: 73-86.

Lavelle, P. y Spain, A.V. (2001). *Soil Ecology*. Springer Science & Business Media. Cap. 4. 654 p.

Lavelle, P. Senapati, B.; y Barros, E. (2003). *Soil macrofauna. In: Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods*. (Eds. G. Schroth & F.L. Sinclair). UK: CABI Publishing. p. 303.

Lichtinger, V., F. Székely, A. Fernandez y R. Rios, (2000). Indicadores para la Evaluación del Desempeño. Reporte Ambiental 2000. *INEGI*. p. 55-71.

Marichal, R; M Grimaldi; Ma Feijoo; J Oszwald; C Praxedes; Dh Ruízco; M Hurtado; T Desjardins; M Lopes Da Silva Junior; L Gonzagada Silva Costa; I Souza Miranda; Mn Delgado Oliveira; Gg Brown; S Tsélouiko; Mb Martins; T Decaëns; E Velásquez & Lavelle. (2014). Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in landscapes of Amazonia deforested. *Appl. Soil Ecol*. Volumen 83: 177-185.

Mathieu, J; Jp Rossi; P Mora; P Lavelle; Pfds Martins; C Rouland & Mgrimaldi. (2005). Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conserv. Biol*. Volumen 19: 1598-1605

Moran. J y Alfaro F. (2015). Diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa oleífera Lam. (Marango) en la finca Santa Rosa, UNA. Managua, Nicaragua. *La Calera*. Volumen 17(29): 78-86.

Moran. Y, Portillo. M, Burbano. H, Vélez. J, Ruiz. H, Navia. J, (2012). Efecto de la incorporación de hojarasca de especies arbóreas sobre el co₂, pH y fósforo en un suelo Vitric Haplustand. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Volumen 29(2): 16 - 25.

Moreno. C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. 1ra Edición, Cyted. 83 p.

Nieto. G.; Libia E.; Valencia. Francis L. y Giraldo-Díaz, R. (2013). Bases pluriépistemológicas de los estudios en agroecología. *Entramado*. Volumen 9 (1):204-211.

- Prager, M., Sanclemente, O., Sánchez De Prager, M., Gallego, J. y Ángel, D. (2012). Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*. Volumen 7: 53-62.
- Rousseau, L; S Fonte; O Téllez; R Van Der Hoekc y P Lavelle. (2013). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecol. Indic.* Volumen 27: 71-82.
- Villalobos F., Ortiz P., Moreno C., Pavón N., Hernández H., Bello J., Montiel S. (2000). Patrones de la macrofauna edáfica en un cultivo de Zea maiz durante la fase postcosecha en "La Mancha", Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*. México. Volumen. 80: 167-183.
- Zerbino, M.S. (2005). Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. Tesis Maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias. Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay. 77p.