






Macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo, en fincas cafetaleras de pequeños agricultores

Edaphic macrofauna and soil physicochemical properties, in smallholder coffee farms

Macrofauna edáfica e propiedades físico-químicas do solo, em fazendas de café de pequenos produtores

Eli Morales Rojas^{1*}, Segundo Chavez Quintana¹,
Elder Chichipe Vela¹, Manuel Oliva¹ y Lenin Quiñones
Huatangari²

¹Investigador del instituto de investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, calle Higos Urco N° 342-350-356 – Calle Universitaria N° 304. Correo electrónico: (EM): eli.morales@untrm.edu.pe, ; (SCh): segundo.quintana@untrm.edu.pe,  (ECh) elder3191@gmail.com, ; (MO): manuel.oliva@untrm.edu.pe, . ²Investigador del instituto de Ciencia de Datos, Universidad Nacional de Jaén, Jaén 06801, Perú. Correo electrónico: lenin.quinones@unj.edu.pe, .

Resumen

La macrofauna edáfica es un indicador biológico de suelos poco aplicado en la identificación de su calidad en fincas de café. El objetivo fue evaluar la macrofauna edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo en cuatro fincas cafetaleras en diferentes altitudes. Las fincas se seleccionaron en cuatro caseríos de caficultores a pequeña escala. En plantaciones de una hectárea, se muestrearon tres monolitos de 25 × 25 cm de ancho por 30 cm de profundidad. Se tomaron muestras de suelo en cada parcela, luego se determinó el contenido de materia orgánica (MO), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y contenido de nitrógeno (N). No hubo diferencias en la diversidad de macrofauna para las altitudes estudiadas, pero sí según época del año (lluvia y estiaje). El índice de Shannon máximo fue de 2,2 (época de lluvia) y de 1,1 (época de estiaje). Los parámetros fisicoquímicos como el pH del suelo osciló entre 7,8 a 8,15 en las fincas de menor altitud y para las fincas de mayor altitud estuvo entre 6,38 y 6,65. El pH estuvo altamente

Recibido: 02-02-2021 . Aceptado: 02-06-2021.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: eli.morales@untrm.edu.pe

correlacionado de manera negativa con la altitud. Mientras que el nitrógeno estuvo correlacionado de manera positiva con la materia orgánica. La diversidad faunística está correlacionada de manera negativa con las épocas y la presencia de microorganismos está influenciada por las características fisicoquímicas del suelo.

Palabras clave: *Coffea arabica*, materia orgánica, hormigas, *Lumbricus* spp., diversidad

Abstract

Edaphic macrofauna is a biological soil indicator that is rarely applied in the identification of soil quality in coffee farms. The objective was to evaluate edaphic macrofauna and soil physico-chemical properties in four coffee farms at different altitudes. The farms were selected in four hamlets of small-scale coffee farmers. In one-hectare plantations, three monoliths of 25 × 25 cm wide by 30 cm depth were sampled. Soil samples were taken from each plot, then the organic matter (OM) content, hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC) and nitrogen (N) content were determined. There were no differences in macrofaunal diversity for the altitudes studied, but there were differences according to the time of year (rainfall and low water). The maximum Shannon index was 2.2 (rainy season) and 1.1 (dry season). Physico-chemical parameters such as soil pH ranged from 7.8 - 8.15 in the lower altitude farms and for the higher altitude farms it was 6.38 - 6.65. Soil pH was highly negatively correlated with altitude. Nitrogen was positively correlated with organic matter. Faunal diversity is negatively correlated with season and the presence of microorganisms is influenced by the physico-chemical characteristics of the soil.

Keywords: *Coffea arabica*, organic matter, ants, *Lumbricus* spp., diversity

Resumo

A macrofauna edáfica é um indicador biológico da qualidade do solo nas fazendas de café que tem sido pouco aplicado. O objectivo era avaliar a macrofauna edáfica e as propriedades físico-químicas do solo em quatro explorações de café em diferentes altitudes. As fazendas foram seleccionadas em quatro aldeias de pequenos cafeicultores. Em plantações de um hectare, três monólitos de 25 × 25 cm de largura por 30 cm de profundidade foram amostrados. Amostras de solo foram retiradas de cada parcela, depois foi determinados o teor de matéria orgânica (OM), potencial de hidrogénio (pH), condutividade eléctrica (CE) e teor de azoto (N). Não houve diferenças na diversidade macrofaunística para as altitudes estudadas, mas houve diferenças de acordo com a época do ano (estação chuvosa e seca). O índice máximo de Shannon era 2,2 (estação chuvosa) e 1,1 (estação seca). Os parâmetros físico-químicos como o pH do solo variavam entre 7,8 - 8,15 nas explorações de menor altitude e para as explorações de maior altitude era

de 6,38 - 6,65. O pH do solo estava altamente correlacionado negativamente com a altitude. Enquanto que o azoto estava positivamente correlacionado com a matéria orgânica. A diversidade faunística está negativamente correlacionada com as estações do ano e a presença de microorganismos é influenciada pelas características físico-químicas do solo.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, matéria orgânica, formigas, *Lumbricus* spp., diversidade

Introducción

La macrofauna del suelo representa la biodiversidad de los ecosistemas influyendo en la naturaleza y el funcionamiento de los suelos (Ferrerías *et al.*, 2009). Diversos organismos son responsables de la creación de macroporos y la redistribución de la materia orgánica en el suelo (Li *et al.*, 2019). Así como las interacciones de los grupos funcionales están determinadas de acuerdo con el uso de tierra y las propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes ecosistemas (Calderón-Medina *et al.*, 2018).

Los grupos de macrofauna edáfica son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas, las cuales puede generar disminución de la estabilidad y la fertilidad del suelo (Pinzón-Triana *et al.*, 2015).

La macrofauna del suelo puede servir como indicador de fertilidad, por existir una fuerte relación entre los indicadores de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo (Siregar *et al.*, 2019; Velasquez and Lavelle, 2019) Los componentes de la macrofauna también son conocidos como indicadores biogeográficos, por su gran aptitud en sus ciclos de vida cortos, baja dispersión, al ser indicadores de contaminantes y en que pueden ser afectados por el uso de agroquímicos

Introduction

The macrofauna of the soil represents the biodiversity of the ecosystems influencing the nature and functioning of the soils (Ferrerías *et al.*, 2009). Various organisms are responsible for the creation of macropores and the redistribution of organic matter in the soil (Li *et al.*, 2019). As well as the interactions of the functional groups are determined according to the land use and the physical and chemical properties of the soil in different ecosystems (Calderón-Medina *et al.*, 2018).

Edaphic macrofauna groups are sensitive to natural and anthropic disturbances, which can cause a decrease in soil stability and fertility (Pinzón-Triana *et al.*, 2015).

The macrofauna of the soil can serve as a fertility indicator, since there is a strong relationship between the macrofauna indicators and the physical and chemical characteristics of the soil (Siregar *et al.*, 2019; Velasquez and Lavelle, 2019). The components of the macrofauna are also known as biogeographic indicators, due to their great aptitude in their short life cycles, low dispersion, as they are indicators of pollutants and in that they can be affected by the use of agrochemicals on farms (Noguera-Talavera, 2011; Sofo *et al.*, 2020).

en las fincas (Noguera-Talavera, 2011; Sofo *et al.*, 2020).

La hojarasca es la principal entrada de nutrientes y energía para los organismos del suelo, y la sombra y la aplicación de abonos orgánicos en el café protegen a los microorganismos de altas temperaturas (Velmourougane, 2016). En el verano, suele evidenciarse la presencia de termitas, las cuales se alimentan de estructuras maderables, su alimentación se basa en lignina y celulosa, por lo tanto, cumplen el rol de organismos descomponedores, generalmente en suelos secos (Calderon y Constantino, 2007; De Souza *et al.*, 2016). Los organismos del suelo expresan en su población y biomasa respuestas ambientales asociadas más con la estructura del agroecosistema que con la variación química (Jiang *et al.*, 2015)

El uso de monolitos en estudios sobre cafetos, en los que se utilice la macrofauna como indicador de la calidad del suelo puede ser la mejor opción para identificar el estado de salud de los distintos tipos de suelo (Baretta *et al.*, 2007; Bignell, 2009).

El tipo de asociación en el sistema de cultivo, así como el gradiente altitudinal influye en la composición de las comunidades edáficas (Rojas-Múnera *et al.*, 2021) Poco se conoce de la variación de la macrofauna edáfica a diferentes altitudes, que sirva como indicador biológico.

Con base en lo mencionado, el objetivo de esta investigación fue evaluar la macrofauna edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo en fincas de café, cultivado por pequeños agricultores a diferentes

Leaf litter is the main nutrient and energy input for soil organisms, while shade and organic application of fertilizers in coffee protect microorganisms from high temperatures (Velmourougane, 2016). In the summer, the presence of termites is usually evident, which feed on timber structures, their diet is based on lignin and cellulose, therefore, they play the role of decomposing organisms, generally in dry soils (Calderon and Constantino, 2007; De Souza *et al.*, 2016). Soil organisms express environmental responses in their population and biomass associated more with the structure of the agroecosystem than with chemical variation (Jiang *et al.*, 2015).

The use of monoliths in studies on coffee trees, in which the macrofauna is used as an indicator of soil quality may be the best option to identify the health status of the different types of soil (Baretta *et al.*, 2007; Bignell, 2009).

The type of association in the cropping system, as well as the altitudinal gradient influences the composition of the edaphic communities (Rojas-Múnera *et al.*, 2021). Little is known about the variation of the edaphic macrofauna at different altitudes, which serves as a biological indicator.

Based on the aforementioned, the objective of this research was to evaluate the edaphic macrofauna and the physical-chemical properties of the soil in coffee farms, cultivated by small farmers at different altitudes of the Cajaruro district, Amazonas, Peru.

altitudes del distrito de Cajaruro, Amazonas, Perú.

Materials and methods

Materiales y métodos

Ubicación. La investigación se realizó en el distrito de Cajaruro, ubicado en la margen derecha del río Utcubamba, región Amazonas-Perú. Cuenta con un territorio de 1.763.230 km² entre 400 a 2.600 msnm. Los suelos que predominan son los vertisoles (FAO, 2016). El tipo de clima es cálido, varía según los pisos altitudinales de la zona de 10 a 40 °C, la precipitación es de 200 a 7.000 m³ anuales, los meses de enero a marzo suele llover con mayor intensidad y de junio a septiembre es la época de estiaje (Ancca *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2010).

Selección de localidades. Se seleccionaron cuatro fincas cafetaleras de los caseríos de Nuevo Belén (NB) a 985 msnm, San Isidro (SI) a 990 msnm, San Isidro Alto (SIA) a 1186 msnm y Santa Rosa (SR) a 1720 msnm (figura 1). Las coordenadas se tomaron con GPS modelo GPSMAP 66i-GARMIN (cuadro 1).

Location. The research was carried out in the Cajaruro district, located on the right bank of the Utcubamba River, Amazonas-Peru region. It has a territory of 1,763,230 km² between 400 to 2,600 meters above sea level. The soils that predominate are vertisols (FAO, 2016). The type of climate is warm, it varies according to the altitude levels of the area from 10 to 40 °C, the precipitation is from 200 to 7,000 m³ per year, the months of January to March it usually rains with greater intensity and dry season from June to September (Ancca *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2010).

Selection of locations. Four coffee farms were selected from the hamlets of Nuevo Belén (NB) at 985 meters above sea level, San Isidro (SI) at 990 meters above sea level, San Isidro Alto (SIA) at 1186 meters above sea level and Santa Rosa (SR) at 1720 meters above sea level (Figure 1). The coordinates were taken with GPS model GPSMAP 66i-GARMIN (Table 1).

Cuadro 1. Coordenadas de las fincas de café a diferentes altitudes. Distrito de Cajaruro, margen derecha del Río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

Cuadro 1. Coordenadas de las fincas de café a diferentes altitudes. Distrito de Cajaruro, margen derecha del Río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

Este	Oeste	Altitud (msnm)	Punto de muestreo
149210	9350278	985	Nuevo Belén (NB)
149950	9350074	990	San Isidro (SI)
150289	9350771	1186	San Isidro Alto (SIA)
151078	9350179	1720	Santa Rosa (SR)

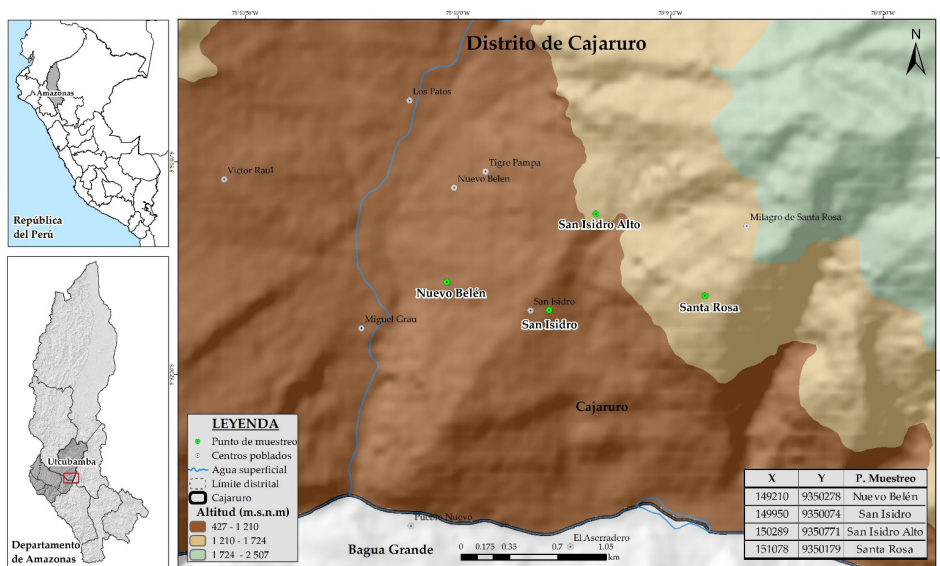


Figura 1. Mapa de ubicación de las cuatro fincas de café muestreadas en el distrito de Cajaruro, margen derecha del río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

Figure 1. Location map of the four coffee farms sampled in the Cajaruro district, right bank of the Utcubamba River, Amazon-Peru region.

Muestreo. El muestreo se realizó durante el mes de febrero (época lluviosa) y octubre (época de estiaje) de 2020. Las fincas de café en los caseríos de Nuevo Belén y San Isidro estuvieron asociadas a sombra de *Inga edulis* y *Musa AAB*. Mientras que la finca de San Isidro Alto estuvo asociada a sombra de árboles forestales maderables (*Cedrela odorata*) y la Finca de Santa Rosa estuvo asociada a sombra de *I. edulis*. En cada localidad se seleccionó una finca representativa para muestrear tres monolitos de 25 cm x 25 cm de ancho por 30 cm de profundidad, los monolitos se muestrearon de manera completa,

Sampling. The sampling was carried out during the months of February (rainy season) and October (dry season) of 2020. The coffee farms in the hamlets of Nuevo Belén and San Isidro were associated in the shade of *Inga edulis* and *Musa AAB*. While the San Isidro Alto farm was associated with the shade of timber forest trees (*Cedrela odorata*) and the Santa Rosa farm was associated with the shade of *I. edulis*. In each locality, a representative farm was selected to sample three monoliths of 25 cm x 25 cm wide by 30 cm deep, the monoliths were sampled completely, and the methodology described by Ingram

y se aplicó la metodología descrita por Ingram (2018). La limpieza y separación de la macrofauna edáfica se realizó *in situ*, de forma manual con la ayuda de una manta blanca. Consistió en eliminar cuerpos extraños, tales como piedras y residuos vegetales. Los organismos extraídos se almacenaron en frascos con alcohol al 70 % para su posterior traslado, identificación y conteo de manera visual, basado en el manual práctico de macrofauna edáfica de Grisel y Cabrera-Dávila (2014). La identificación y almacenamiento de los individuos se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) de Perú. También se calculó la diversidad con el índice de Shannon (H') (Martínez-aguilar *et al.*, 2020). En cada finca de estudio se recolectaron muestras de suelo, para analizar los parámetros de pH, conductividad eléctrica (CE), con el método EPA 9045/Relación Suelo – Agua 1:1 (Estrada-Herrera *et al.*, 2017). El contenido de carbono orgánico (C) del suelo se estimó a partir de la materia orgánica del suelo (MO), a través del método propuesto por Walkley y Black (1934). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES). La toma de temperatura atmosférica se realizó con un Termohigrómetro Modelo: VA-EDT-1-55 y la temperatura del suelo se tomó con un termómetro digital de aguja de 13 cm, con código 111TMP14.

Para el análisis estadístico se correlacionaron las variables físico-

(2018) was applied. The cleaning and separation of the edaphic macrofauna was carried out *in situ*, manually with the help of a white blanket. It consisted of removing foreign bodies, such as stones and plant residues. The extracted organisms were stored in bottles with 70 % alcohol for their subsequent transfer, identification and counting visually, based on the practical manual of edaphic macrofauna by Grisel and Cabrera-Dávila (2014). The identification and storage of the individuals was carried out in the Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) of Peru. Diversity was also calculated with the Shannon index (H') (Martínez-aguilar *et al.*, 2020). In each study farm, soil samples were collected to analyze the parameters of pH, electrical conductivity (EC), with the EPA 9045/Soil-Water Ratio 1:1 method (Estrada-Herrera *et al.*, 2017). The organic carbon (C) content of the soil was estimated from the soil organic matter (OM), through the method proposed by Walkley and Black (1934). The analyzes were carried out in the Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES). The atmospheric temperature was taken with a Thermohygrometer Model: VA-EDT-1-55 and the soil temperature was taken with a 13 cm digital needle thermometer, code 111TMP14.

For the statistical analysis, the physical-chemical variables, diversity and altitude were correlated, through

químicas, diversidad y altitud, a través de una prueba de Pearson, a una significancia de $p \leq 0,05$ y para la tendencia de la temperatura en ambas épocas se realizó con base en sus promedios. Se utilizó el software Minitab 17 (Reyes y Maturel, 2015). Se empleó la prueba t-student para muestras pareadas con la finalidad de comparar la diversidad de macrofauna en las dos épocas de muestreo.

Resultados y discusión

Macrofauna edáfica. Para la época de lluvia en la finca San Isidro Alto se identificó mayor cantidad de familias, con diversidad total de 159 individuos, entre ellos, las lombrices de tierra con 36 individuos y 36 individuos de hormigas. Estos valores pudieron estar relacionados con la humedad del suelo, producto de las constantes lluvias (Welemariam *et al.*, 2018; Santorufo *et al.*, 2012). Asimismo, en la finca Nuevo Belén, situada a menor altitud, se identificaron 137 individuos, con 42 lombrices de tierra, seguido de la finca de Santa Rosa. La finca San Isidro, fue la que mostró menor cantidad de familias, con 23 individuos de hormigas (cuadro 2). La lombriz de tierra es uno de los grupos más importantes de macrofauna del suelo (*Oligochaeta*), ya que aceleran el crecimiento de las plantas (dos Santos *et al.*, 2018)

La biodiversidad máxima fue de 2,18 en la finca de San Isidro Alto, lo cual pudo deberse al tipo de asociación de sombra y a la altitud media a comparación con las demás fincas. Estos resultados tienen relación con

a Pearson test, at a significance of $p \leq 0.05$ and for the temperature trend in both seasons it was performed based on their averages. Minitab 17 software was used (Reyes and Maturel, 2015). The t-student test was used for paired samples in order to compare the diversity of macrofauna in the two sampling times.

Results and discussion

Edaphic macrofauna. For the rainy season in the San Isidro Alto farm, a greater number of families were identified, with a total diversity of 159 individuals, including earthworms with 36 individuals and 36 individuals of ants. These values could be related to soil moisture, product of constant rains (Welemariam *et al.*, 2018; Santorufo *et al.*, 2012). Likewise, in the Nuevo Belén farm, located at a lower altitude, 137 individuals were identified, with 42 earthworms, followed by the Santa Rosa farm. The San Isidro farm was the one that showed the least number of families, with 23 individuals of ants (table 2). The earthworm is one of the most important groups of soil macrofauna (*Oligochaeta*), since they accelerate plant growth (dos Santos *et al.*, 2018).

The maximum biodiversity was 2.18 in the San Isidro Alto farm, which could be due to the type of shade association and the average altitude compared to the other farms. These results are related to biological sustainability in soils (Lammel *et al.*, 2015). Similarly, Vera-Aviles *et al.* (2020), state that the diversity

Cuadro 2. Individuos de macrofauna edáfica en un área de 0.625 m², en las cuatro fincas de café, distrito de Cajaruro, margen derecha del Río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

Table 2. Individuals of edaphic macrofauna in an area of 0.625 m², in the four coffee farms, Cajaruro district, right bank of the Utcubamba River, Amazon-Peru region.

Grupo Funcional	Orden/Familia/Nombre común	FINCAS MUESTREADAS (0,625 m ²)							
		Nuevo Belen		San Isidro		San Isidro Alto		Santa Rosa	
		E. Lluvia	E. Estiaje	E. Lluvia	E. Estiaje	E. Lluvia	E. Estiaje	E. Lluvia	E. Estiaje
Detritívoros de la hojarasca	Coleópteros/Scarabaeidae/Shansos	5	1	3	0	9	2	1	1
	Coleópteros/Elateridae/Gusano Blanco	0	0	0	1	0	0	0	0
	Blattodea/Termitidae/Cochesitos	18	4	0	13	17	0	0	1
	Isopoda/Armadillidae/huevito	1	0	1	0	3	0	3	0
	Polydesmida/Paradoxosomatidae/Mil pies	2	0	6	0	5	4	0	3
Ingenieros del suelo	Haplotaxida/Lumbricidae/Lombriz de tierra	42	16	5	1	32	12	44	5
	Lepidoptera/Noctuidae/Oruga	0	0	0	1	0	0	0	1
	Isoptera/Termitidae/Comejen	0	0	0	16	0	0	0	0
	Hymenoptera/Formicidae/Hormiga	19	178	23	191	36	0	17	33
Depredadores	Coleópteros/ Tenebrionidae/Escarabajo Negro	0	0	0	0	4	0	0	0
	Araneae/Lycosidae/Araña	0	0	0	11	0	0	0	3
	Coleópteros/Tenebrionidae/Mosco	0	0	0	4	0	0	0	4
	Scorpiones/Typhlochactidae/Alacran	0	0	0	1	0	0	0	0
	Hymenoptera/Vespididae/Avispa negra	2	0	0	0	4	0	4	1
	Escolopendromorfos/Scolopocryptopidae/Ciempie	3	0	2	10	3	0	1	6
Detritívoros	Pulmonata/Helicidae/Caracol blanco	0	0	0	1	1	0	0	1
Herbívoros	Ortópteros/Grylloidea/Grillo	3	0	1	0	8	0	0	1
	Hemipteros/Pseudococcidae/Ácaro	0	0	0	6	0	0	0	0
	Siphonaptera/Pulicidae/Pulgon	13	0	0	0	4	0	11	0
	Hemiptera/Cydnidae/Chinche	25	2	0	10	30	2	5	1
	Hemiptera/Pseudococcidae/Chinche blanco	4	0	0	0	1	0	0	0
	Hemiptera/Chicharra blanca	0	0	0	0	2	0	2	1
Omnívoros	Blattodea/Blattididae/Cucaracha	0	0	0	6	0	0	0	1
	diversidad l (H')	137 (1,68)	201 (0,5)	41 (1)	272 (0,7)	159 (2,2)	20 (1,1)	88 (1,5)	63 (0,6)
	Máximos	42	178	23	191	36	12	44	33
	Diferencia estadística	0.702		0.179		0.009**		0.633	

No hay diferencias estadísticas significativas entre épocas (p>0,05); Índice de Shannon (H').
 ** Diferencia estadística altamente significativa.

There are no statistically significant differences between seasons (p> 0.05); Shannon index (H').
 **Highly significant statistical difference.

la sostenibilidad biológica en los suelos (Lammel *et al.*, 2015). Del mismo modo Vera-Aviles *et al.* (2020) afirman que la diversidad de individuos es mayor en agroecosistemas mixtos y está asociada con la calidad de los suelos.

El menor índice de biodiversidad se dio en la finca de San Isidro (1,01), además de una menor cantidad de lombrices de tierra. La diferencia de la diversidad se atribuye a que, en la época de lluvias se evidencia menor temperatura del suelo, la altitud en la que se ubica la finca y el tipo de sombra empleado en las plantaciones de café (Kamau *et al.*, 2017; Karungi *et al.*, 2018).

Durante la época de estiaje, la finca San Isidro Alto se caracterizó por tener menor cantidad de individuos (20), en su mayoría lombrices de tierra y mil pies. Esto pudo suceder por la asociación de árboles forestales de *C. odorata* y al registro de menor temperatura del suelo y de la atmósfera. En ese sentido, la sombra y la hojarasca pudieron ayudar a hospedar individuos de lombrices, lo que podría beneficiar la descomposición de la materia orgánica (Karungi *et al.*, 2018). Algunos autores mencionan que la disminución de la macrofauna puede darse por las condiciones del suelo y al incremento de las temperaturas (Teixeira, 2014). La variación de la diversidad de individuos está en función a las especies arbóreas (Mueller *et al.*, 2016) Nematoda, Oribatida, Gamasida, Opilionida, Araneida, Collembola, Formicidae, Carabidae, La abundancia de hormigas se dio en las fincas de menor altitud, lo cual coincide con el estudio realizado por Silva *et al.* (2015) V Congreso Latinoamericano de Agroecología - (Silva *et al.*, 2015).

of individuals is greater in mixed agroecosystems and is associated with soil quality.

The lowest biodiversity index occurred in the San Isidro farm (1.01), in addition to a lower amount of earthworms. The difference in diversity is attributed to the fact that, in the rainy season, lower soil temperature is evidenced, the altitude at which the farm is located and the type of shade used in coffee plantations (Kamau *et al.*, 2017; Karungi *et al.*, 2018).

During the dry season, the San Isidro Alto farm was characterized by having fewer individuals (20), mostly earthworms and a thousand feet. This could happen due to the association of *C. odorata* forest trees and the lower temperature of the soil and the atmosphere. In this sense, the shade and the litter could help to host individuals of worms, which could benefit the decomposition of organic matter (Karungi *et al.*, 2018). Some authors mention that the decrease in the macrofauna can occur due to soil conditions and increased temperatures (Teixeira, 2014). The variation in the diversity of individuals is a function of the tree species (Mueller *et al.*, 2016). The abundance of ants occurred in the farms of lower altitude, which coincides with the study carried out by Silva *et al.* (2015).

There were no statistical differences ($p > 0.05$) between the farms studied in terms of the diversity of individuals of the edaphic macrofauna. On the other hand, for the San Isidro Alto farm, a highly significant difference ($p < 0.01$) was

No se registraron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) entre las fincas estudiadas en cuanto a la diversidad de individuos de la macrofauna edáfica. Por otro lado, para la finca San Isidro Alto, se encontró diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) en la diversidad de macrofauna para las dos épocas del año, tal como se observa en el cuadro 2.

Temperaturas para las dos épocas de muestreo. En la figura 2, se aprecia la variación de la temperatura promedio del suelo y la temperatura atmosférica para la época de lluvia, la temperatura mínima fue 23 °C y la máxima fue de 28,8 °C; para la época de estiaje la mínima fue de 20,5 °C en la finca de San Isidro Alto, y la temperatura máxima fue de 33°C en la finca de Nuevo Belén. También se puede notar que la temperatura está en función a la altitud.

found in the diversity of macrofauna for the two seasons of the year, as shown in Table 2.

Temperatures for the two sampling times. Figure 2 shows the variation of the average soil temperature and atmospheric temperature for the rainy season, the minimum temperature was 23 °C and the maximum was 28.8 °C; for the dry season, the minimum was 20.5 °C at the San Isidro Alto farm, and the maximum temperature was 33 °C at the Nuevo Belén farm. It can also be noted that the temperature is a function of the altitude.

Soil fertility parameters. Table 3 shows the results of the soil properties in the coffee farms, and in which it is evidenced that for the farms of lower altitude (Nuevo Belén, San Isidro, San Isidro Alto) the pH ranges between 7.80 to 8.15, while

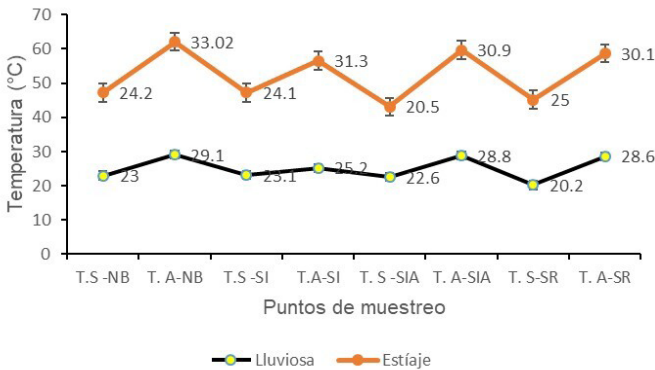


Figura 2. Temperatura promedio del suelo y de la atmosfera.

Figure 2. Average temperature of the soil and the atmosphere.

NB = Finca de Nuevo Belén; SI = Finca de San Isidro; SIA = Finca de San Isidro Alto; SR=Finca de Santa Rosa; T.S =Temperatura del suelo; T.A =Temperatura atmosférica. Distrito de Cajaruro, margen derecha del Río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

NB = Farm of Nuevo Belén; SI = Finca de San Isidro; SIA = Farm of San Isidro Alto; SR = Finca de Santa Rosa; T.S = Soil temperature; T.A = Atmospheric temperature. Cajaruro district, right bank of the Utcubamba River, Amazon-Peru region.

Parámetros de fertilidad de suelo. En el cuadro 3, se muestran los resultados de las propiedades del suelo en las fincas de café, y en el cual se evidencia que para las fincas de menor altitud (Nuevo Belén, San Isidro, San Isidro Alto) el pH, oscila entre 7,80 a 8,15, mientras que para las fincas de mayor altitud (Santa Rosa) el pH se encuentra en el rango de 6,38 a 6,65. Resultados similares se han reportado en suelos de los Estados Unidos en los que se ha observado una disminución del pH con la altitud (Smith *et al.*, 2002). Así mismo se evidenció que en los suelos de mayor pH, se encontró mayor presencia de hormigas y termitas. Mueller *et al.* (2016) encontró mayor presencia de hormigas en suelos de pH ácido. El nitrógeno más alto fue de 0,28 % y se pudo observar en el suelo de las fincas de San Isidro y San Isidro Alto.

Correlación de variables.

En el cuadro 4, se observa que la conductividad eléctrica y el nitrógeno están correlacionados de manera positiva con la altitud y el pH está correlacionado de manera negativa. En tal sentido, se afirma que la diversidad está correlacionada de manera negativa con las épocas. La altitud está fuertemente correlacionada de manera negativa con el pH. Sin embargo, el nitrógeno está correlacionado de manera positiva con el contenido de MO. La macrofauna del suelo fue variada en ambas épocas de acuerdo con las altitudes, esto concuerda con lo reportado por Cabrera e Iborra (2018), quienes demostraron que existe correlación entre las propiedades físicas del suelo y

for the higher altitude farms (Santa Rosa) the pH is in the range of 6.38 to 6.65. Similar results have been reported in soils in the United States in which a decrease in pH has been observed with altitude (Smith *et al.*, 2002). Likewise, it was evidenced that in the soils with higher pH, a greater presence of ants and termites was found. Mueller *et al.* (2016), found a higher presence of ants in soils with acidic pH. The highest nitrogen was 0.28 % and could be observed in the soil of the San Isidro and San Isidro Alto farms. **Correlation of variables.** Table 4 shows that electrical conductivity and nitrogen are positively correlated with altitude and pH is negatively correlated. In this sense, it is affirmed that diversity is negatively correlated with season. Altitude is strongly negatively correlated with pH. However, nitrogen is positively correlated with OM content. The soil macrofauna was varied in both seasons according to the altitudes, this agrees with that reported by Cabrera and Iborra (2018), who demonstrated that there is a correlation between the physical properties of the soil and the edaphic macrofauna. In this study it was shown that the highest amount of OM corresponds to the rainy season and at lower altitudes. Organic matter and microbiological activity can be influenced by altitude, temperature, humidity, precipitation and soil characteristics (Sánchez, 2005). When the percentage of nitrogen varies between 0.14 - 0.43 %, coinciding with pH values close to 7, the number of individuals may decrease; however, this may be conditioned by the type of land use (Lwanga *et al.*, 2008).

la macrofauna edáfica. En este estudio se demostró que la mayor cantidad de MO corresponde a la época de lluvias y a altitudes más bajas. La materia orgánica y la actividad microbiológica pueden estar influenciados por la altitud, temperatura, humedad, precipitación y características de los suelos (Sánchez, 2005). Cuando el porcentaje de nitrógeno varía entre 0,14 - 0,43 %, coincidiendo con valores de pH cercanos a 7, el número de individuos puede disminuir; sin embargo, esto puede estar condicionado por el tipo uso del suelo (Lwanga *et al.*, 2008).

Conclusions

The seasons of the year (rain or dry season) influence the diversity and abundance of the edaphic macrofauna, with organisms of the *Lumbricidae* family standing out in very humid soils and *Formicidae* in drier and lower altitude soils.

Soil pH is related to altitude and the content of organic matter is directly related to the nitrogen content in the soil.

End of English Version

Cuadro 3. Parámetros físicos y químicos de las cuatro fincas de café pertenecientes a los caseríos de Nuevo Belén, San Isidro Alto y Santa Rosa. Distrito de Cajaruro, margen derecha del Río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

Table 3. Physical and chemical parameters of the four coffee farms belonging to the hamlets of Nuevo Belén, San Isidro Alto and Santa Rosa. Cajaruro district, right bank of the Utcubamba River, Amazon-Peru region.

Fincas	pH	CE (dS.m ⁻¹)	C %	MO %	N %
NB	7,80 ^l ± 0,14	0,65 ^l ± 0,07	2,40 ^l ± 0,71	4,15 ^l ± 1,34	0,25 ^l ± 0,07
	8,00 ^e ± 0,28	0,60 ^e ± 0,14	2,45 ^e ± 0,49	4,05 ^e ± 0,64	0,25 ^e ± 0,07
SI	8,00 ^l ± 0,57	0,20 ^l ± 0,00	3,30 ^l ± 0,28	5,70 ^l ± 0,42	0,28 ^l ± 0,04
	8,30 ^e ± 0,14	0,29 ^e ± 0,01	3,10 ^e ± 0,57	4,10 ^e ± 0,85	0,22 ^e ± 0,02
SIA	7,80 ^l ± 0,57	0,40 ^l ± 0,14	3,20 ^l ± 0,57	5,50 ^l ± 0,85	0,28 ^l ± 0,04
	8,15 ^e ± 0,07	0,40 ^e ± 0,14	2,20 ^e ± 0,42	3,85 ^e ± 0,21	0,25 ^e ± 0,07
SR	6,38 ^l ± 1,10	0,21 ^l ± 0,01	1,97 ^l ± 0,23	3,38 ^l ± 0,45	0,18 ^l ± 0,04
	6,65 ^e ± 0,21	0,14 ^e ± 0,06	2,73 ^e ± 0,75	5,80 ^e ± 0,28	0,24 ^e ± 0,06

^lEpoca de lluvias; ^e época de estiaje; NB = Finca Nuevo Belén; SI = Finca San Isidro; SIA = Finca San Isidro Alto; SR = Santa Rosa.

^lRainy season; ^edry season; NB = Finca Nuevo Belén; SI = Finca San Isidro; SIA = Finca San Isidro Alto; SR = Santa Rosa.

Cuadro 4. Correlaciones de las variables fisicoquímicas evaluadas según la época del año, el índice de diversidad y la altitud. Distrito de Cajaruro, margen derecha del Río Utcubamba, región Amazonas-Perú.

Table 4. Correlations of the physicochemical variables evaluated according to season of the year, diversity index and altitude. Cajaruro district, right bank of the Utcubamba River, Amazon-Peru region.

	Época	(H')	No. Indi	Ph	CE	C	MO	N	Altitud
Época	1	-0,800*	0,203	0,209	0,098	-0,106	-0,549	-0,123	0,000
(H')	-0,800*	1	-0,117	-0,098	0,030	-0,009	0,444	0,149	0,033
No. Ind	0,203	-0,117	1	0,362	0,347	0,269	0,060	-0,144	-0,426
pH	0,209	-0,098	0,362	1	0,506	0,429	0,576	0,576	-0,939**
CE	0,098	0,030	0,347	0,506	1	-0,326	0,067	0,197	-0,624
C	-0,106	-0,009	0,269	0,429	-0,326	1	0,655	0,627	-0,408
MO	-0,549	0,444	0,060	0,576	0,067	0,655	1	0,708*	-0,641
N	-0,123	0,149	-0,144	0,576	0,197	0,627	0,708*	1	-0,563
Altitud	0,000	-0,033	-0,426	-0,939**	-0,624	-0,408	-0,641	-0,563	1

*La correlación es estadísticamente significativa en el nivel 0,05 (bilateral); ** La correlación es estadísticamente significativa en el nivel 0,01 (bilateral); No. Indi = Número de individuos; (H') = Índice de Shannon.

*The correlation is statistically significant at the 0.05 level (bilateral); **The correlation is statistically significant at the 0.01 level (bilateral); No. Indi = Number of individuals; (H') = Shannon index.

Conclusiones

Las épocas del año (lluvia o estiaje) influyen en la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica, sobresaliendo organismos de la familia *Lumbricidae* en suelos muy húmedos y *Formicidae* en suelos más secos y de menor altitud.

El pH del suelo está relacionado a la altitud y el contenido de materia orgánica tiene relación directa con el contenido de nitrógeno en el suelo.

Literatura citada

Ancca, J., J. Pinto, S. Vega, A. Cáceres and C. Náquira. 2008. Características

morfométricas, genéticas, alimenticias y vectoriales de *Panstrongylus herreri* procedentes de Jaén (Cajamarca) y Cajaruro Amazonas, Perú. Rev. peru. med. exp. salud pública, 25(1): 17–25. <https://cutt.ly/Qnk6vH9>

Baretta, D., A. D. Brescovit, I. Knysak and E. J. B. N. Cardoso. 2007. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (Arachnida: Araneae) in Araucaria angustifolia forest. Sci. Agríc. (Online), 64(4): 375–383. <https://cutt.ly/onk6mYC>

Bignell, D. E. 2009. Towards a universal sampling protocol for soil biotas in the humid tropics. Pesqui. Agropecu. Bras. (Online), 44(8): 825–834. <https://cutt.ly/tnk6Ej4>

Cabrera Dávila, G. D. L. C., y G. M. L. Iborra. 2018. Ecological characterization of soil macrofauna in two evergreen

forest sites at el salón, sierra del rosario, Cuba. *Bosque*, 39(3): 363–373. <https://cutt.ly/Bnk6GARG>

- Calderón-Medina, C. L., G. P. Bautista-Mantilla y S. Rojas-González, 2018. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2): 141–157. <https://cutt.ly/Znk6FoI>
- Calderon, R. A. and R. Constantino. 2007. Systematics , morphology and physiology - A Survey of the Termite Fauna (Isoptera) of an Eucalypt Plantation in Central Brazil. *Neotrop. Entomol.*, 36(3)(June): 391–395. <https://cutt.ly/6nk6Hxf>
- De Souza, S. T., P. C. Cassol, D. Baretta, M. L. C. Bartz, O. Klauberger Filho, Á. L. Mafra, and M. G. Da Rosa. 2016. Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. *Rev. Bras. Ciênc. Solo (Online)*, 40: 1–14. <https://cutt.ly/Rnk6KYV>
- dos Santos, J. B., A. C. Ramos, R. Azevedo Júnior, L. C. I. de Oliveira Filho, D. Baretta, e E. J. B. N. Cardoso. 2018. Soil macrofauna in organic and conventional coffee plantations in Brazil. *Biota Neotrop.*, 18(2). <https://cutt.ly/lnk6Xtt>
- Estrada-Herrera, I. R., C. Hidalgo-Moreno, R. Guzmán-Plazola, J. J. Almaraz Suárez, H. Navarro-Garza, and J. D. Etchevers-Barra. 2017. Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia*, 51(8), 813–831. <https://cutt.ly/Pnk6VTn>
- FAO. (2016). Estado mundial del recurso del suelo (EMRS) - Resumen Técnico. In Fao. <https://cutt.ly/cnk60xH>
- Ferreras, L., S. Toresani, B. Bonel, E. Fernández, S. Bacigaluppo, V. Faggioli y C. Beltrán. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Cienc. suelo (En línea)*, 27(1): 103–114. <https://cutt.ly/Hnk6345>
- Grisel, y Cabrera-Dávila. 2014. Manual práctico como indicador biológico de la calidad del suelo. Fundación Rufford (RSGF, para la Conservación de la Naturaleza). <https://cutt.ly/3nlqhiD>
- Ingram, J. S. I. 2018. Colorimetric determination of nitrogen and phosphorous tropical soil biology and fertility. In: *Tropical Soil Biology and Fertility a Handbooks and Methods (Issue January 1993)*. Second Edition. <https://www.researchgate.net/publication/284229117>
- Jiang, M., X. Wang, Y. Liusui, X. Sun, C. Zhao, and H. Liu. 2015. Diversity and abundance of soil animals as influenced by long-term fertilization in grey desert soil, China. *Sustainability (Switzerland)*, 7(8): 10837–10853. <https://cutt.ly/SnlqnaK>
- Kamau, S., E. Barrios, N. K. Karanja, F. O. Ayuke and J. Lehmann. 2017. Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 112: 35–46. <https://cutt.ly/lnlqQhq>
- Karungi, J., S. Cherukut, A. R. Ijala, J. B. Tumuhairwe, J. Bonabana-Wabbi, E. A. Nuppenau, M. Hoehner, S. Domptail and A. Otte. 2018. Elevation and cropping system as drivers of microclimate and abundance of soil macrofauna in coffee farmlands in mountainous ecologies. *Appl Soil Ecol*, 132(August): 126–134. <https://cutt.ly/4nlqE0B>
- Lammel, D. R., L. C. B. Azevedo, A. M. Paula, R. D. Armas, D. Baretta, and E. J. B. N. Cardoso. 2015. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. *Braz. J. Biol. (Online)*, 75(4): 894–905. <https://cutt.ly/DnlqYO4>
- Li, F., P. Qiu, B. Shen and Q. Shen 2019. Soil aggregate size modifies the impacts of fertilization on microbial communities. *Geoderma*, 343(January): 205–214. <https://cutt.ly/qlnlQOfa>
- Lwanga, E. H., J. Rodríguez-olán, and I. Evia-castillo, 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población

de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, 26(2): 171–181. <https://cutt.ly/znlqAKR>

Económica de Amazonas. 199. <https://cutt.ly/znlwodN>

- Martínez-aguilar, F. B., F. Guevarahernández, C. E. Aguilar-jiménez, L. A. Rodríguez-larramendi, M. Beatriz, R. Manuel, y A. La, 2020. Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencionales, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38: 871–881. <https://cutt.ly/SnlqK7S>
- Mueller, K. E., N. Eisenhauer, P. B. Reich, S. E. Hobbie, O. A. Chadwick, J. Chorover, T. Dobies, C. M. Hale, A. M. Jagodziński, I. Kalucka, M. Kasprovicz, B. Kieliszewska-Rokicka, J. Modrzyński, A. Roz'en, M. Skorupski, L. Sobczyk, M. Stasińska, L. C. Trocha, J. Weiner and J. Oleksyn. 2016. Light, earthworms, and soil resources as predictors of diversity of 10 soil invertebrate groups across monocultures of 14 tree species. *Soil Biology and Biochemistry*, 92(October): 184–198. <https://cutt.ly/QnlqCgD>
- Noguera-Talavera, A. R. S. M. A. 2011. Diversidad y distribución de la macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de *Moringa oleifera* (Lam.): relación con las propiedades del suelo. *La Calera*, 16: 81–85. Doi: 10.5377/calera.v17i29.6528
- Pinzón Triana, S., Rousseau, G., Rocha da Piedad, A., Celentano, D., Corrêa Zelarayán, M. y H. Braun, 2015. La macrofauna del suelo como indicadora de degradación de bosques ribereños en la amazonia oriental brasilera. *Revista de La Facultad de Agronomía, La Plata*, 114(1): 49–60. <https://cutt.ly/anlq9x8>
- Reyes, Y., y L. N. Maturel. 2015. El análisis estadístico aplicado a la gestión de la enseñanza para la toma de decisiones. *Rev. Cuba. cienc. inform. (En línea)*, 9(3): 113127. <https://cutt.ly/Cnlq80y>
- Rodríguez, A. F., H. L. Limachi, F.R. Reátegui, T. R. Escobedo, B. J. Ramirez, C. F. Encarnación, G. J. Maco, C. W. Guzmán, M. W. Castro. 2010. Zonificación Ecológica y Rojas-Múnera, D. M., A. Feijoo-Martínez, L. J. Molina-Rico, M. C. Zúñiga, and H. Quintero. 2021. Differential impact of altitude and a plantain cultivation system on soil macroinvertebrates in the Colombian Coffee Region. *Appl Soil Ecol*, 164(June 2020). <https://cutt.ly/Onlwdi9>
- Sánchez, B. R. M. R. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 55(June 2016): 5007–5534. <https://cutt.ly/Anlwgiw>
- Santorufu, L., C. A. M. Van Gestel, A. Rocco and G. Maisto. 2012. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution*, 161: 57–63. <https://cutt.ly/EnlwjRj>
- Silva, E. da, E. Velásquez, A. Santos, M. L. C. Bartz, P. Lavelle y G. G. Brown. 2015. Indicador general de calidad del suelo en diferentes sistemas de uso del suelo en el Sur de Brasil. V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA, 1, 6–10. <https://cutt.ly/tnlw3jy>
- Siregar, R., A. Nasution and Z. Marheni. 2019. Exploration of macrofauna in Coffee plants. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 305(1). <https://cutt.ly/SnlwvmV>
- Smith, J. L., J. J. Halvorson, and H. Bolton, 2002. Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in a semi-arid environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11): 1749–1757. <https://cutt.ly/Enlwnbr>
- Sofu, A., A. N. Mininni and P. Ricciuti, 2020. Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*, 10(4): e456 <https://cutt.ly/tnlwQiS>
- Teixeira, V.M. E. S. M. Silva. 2014. Fauna edáfica em sistemas arborizados de café conilon em. *Coffee Science*, 9(3): 385–393. <https://cutt.ly/3nlwEiX>

- Velasquez, E. and P. Lavelle, 2019. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica*, 100(July 2018): 103446. <https://cutt.ly/BnlwToS>
- Velmourougane, K. 2016. Impact of organic and conventional systems of coffee farming on soil properties and culturable microbial diversity. *Scientifica*, Article ID 3604026
- Vera-aviles, D., C. Suarez-capello, M. Llugany, C. Poschenrieder, P. De Santis and M. Cabezas-guerrero. 2020. Arthropod diversity influenced by two musa-based agroecosystems in ecuador. *Agriculture (Switzerland)*, 10(6): 1–13. <https://cutt.ly/ynlwId2>
- Welemariam, M., F. Kebede, B. Bedadi and E. Birhane. 2018. The effect of community-based soil and water conservation practices on abundance and diversity of soil macroinvertebrates in the northern highlands of Ethiopia. *Agronomy*, 8(4): 8040056 <https://cutt.ly/7nlwPdQ>
- Walkley, A., and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29–38. <https://cutt.ly/InlwSx0>