



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES DE XALAPA Y EMILIANO ZAPATA EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO.

Daniela Itzel Peña Morales¹, Yadeneyro de la Cruz Elizondo²✉, Laura Celina Ruelas Monjardin³,
Juan Camilo Fontalvo-Buelvas⁴

¹ Universidad Veracruzana
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4074-5782>

² Universidad Veracruzana
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2034-6637>
e-mail: ydelacruz@uv.mx

³ Instituto Tecnológico
Superior de Xalapa. Orcid:
<https://orcid.org/0000-0002-4140-6942>

⁴ Universidad Veracruzana
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9818-0489>

Palabras clave:
Agricultura; fertilidad;
productividad;
indicadores.

Keywords:

Farming; fertility;
productivity;
indicators.

RESUMEN

Evaluar la calidad de los suelos agrícolas resulta determinante para poder tener nociones ecosistémicas sobre la salud de estos y promover su funcionalidad y productividad. Para ello, es importante tener en cuenta la condición de sus propiedades físicas, químicas y biológica, las cuales pueden ser estimadas a través de indicadores de evaluación rápida, accesible y entendible, sobre todo para pequeños agricultores que no acostumbran a realizar estos procesos debido a limitaciones económicas y visión desarticulada entre la salud del suelo y su productividad. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del suelo de parcelas cultivadas en ecosistemas tropicales del centro del Veracruz, a través de la toma de muestras basadas en la técnica descrita por la NOM-021 RECNAT, uso de guía de evaluación visual y métodos como el del cilindro, electrométrico, TSBF, porchet y oxidación por peróxido de hidrógeno. Como resultado la calidad de los suelos evaluados fue en su mayoría pobre; las dos parcelas cultivadas con limón persa alcanzaron un índice con valor de 11 y 14 puntos respectivamente, mientras que las parcelas cultivadas con chayote y calabacita tuvieron índices de 13 y 18 puntos. Es importante una visión sistémica y holística en la que se considere la relevancia del suelo para la producción agrícola.

SOIL QUALITY EVALUATION IN TROPICAL AGROECOSYSTEMS OF XALAPA AND EMILIANO ZAPATA IN THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO.

ABSTRACT

Assessing the quality of agricultural soils is decisive in order to have ecosystem notions about their health and promote their functionality and productivity. For this, it is important to take into account the condition of its physical, chemical and biological properties, which can be estimated through indicators of rapid, accessible and understandable evaluation, especially for small farmers who do not usually carry out these processes due to economic limitations and disjointed vision between soil health and its productivity. Therefore, the objective of this study was to evaluate the quality of the soil of cultivated plots in tropical ecosystems of the center of Veracruz, through the taking of samples based on the technique described by NOM-021 RECNAT, use of a visual evaluation guide and methods such as cylinder, electrometric, TSBF, porchet, and hydrogen peroxide oxidation. As a result, the quality of the evaluated soils was mostly poor; the two plots cultivated with Persian lemon reached an index with a value of 11 and 14 points respectively, while the plots cultivated with chayote and zucchini had indices of 13 and 18 points. A systemic and holistic vision is important in which the relevance of the soil for agricultural production is considered.

Rec : 08/10/2021

Acep : 28/11/2021



INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas son ecosistemas modificados y manejados por el ser humano con la finalidad de producir alimentos, fibras y otros materiales (Gómez-Sal, 2001). Se trata de áreas cultivadas que integran una matriz de paisaje que ha ido reemplazando progresivamente la vegetación nativa (Moonen y Bàrberi, 2008). De esta manera, la conectividad que tienen con los relictos de bosques o selvas está condicionada en gran medida por el tipo de manejo agrícola (Cosentino *et al.*, 2011). Generalmente, el manejo agroindustrial predominante afecta la negativamente la interacción entre estos dos tipos de ecosistemas y sus servicios ambientales (Gabriel *et al.*, 2016; Porter *et al.*, 2009). No obstante, el manejo agroecológico busca el diseño de parcelas que mantengan una estructura similar a los ecosistemas naturales contiguos, de tal manera que conserven un grado de su conectividad original y favorezcan la resiliencia mutua (Altieri *et al.*, 2015).

Los agroecosistemas están articulados por dos componentes que interactúan entre sí, el suelo y los cultivos; por tanto, lo que ocurre en el suelo afecta a los cultivos y viceversa (Hart, 1985). La particularidad de los agroecosistemas está dada por el hecho de que dependen en gran medida de la gestión humana para mantener su funcionalidad y productividad (Sans, 2007). En este sentido, el agricultor incide en la regulación de algunos procesos básicos como el manejo de plagas y enfermedades, la biodiversidad funcional, la dinámica del agua y el mantenimiento de la calidad del suelo (Sarandón, 2002). Por ejemplo, de forma conjunta el uso excesivo de agroquímicos, el establecimiento de monocultivos, el riego inundado y la labranza

convencional causan afectaciones drásticas en la salud del suelo y los cultivos (Sarandón y Flores, 2009).

La calidad del suelo es la capacidad que tiene este para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Bünemann *et al.*, 2018). Existen diferentes métodos para evaluar la calidad del suelo, la mayoría de ellos usa indicadores e índices construidos a partir de las propiedades de los suelos (Santos-Francés *et al.*, 2019). Algunos métodos se concentran en aspectos biológicos (Hofman *et al.*, 2013), microbiológicos (Franzuebbers *et al.*, 1995), bioquímicos (Gil-Sotres *et al.*, 2005) y físicos (Pachepsky, *et al.*, 2003). De esta manera, surgen los indicadores de la calidad de suelo, concebidos como una herramienta de medición que ofrece información sobre sus propiedades y procesos asociados (Doran, 1994; García *et al.*, 2012).

Para obtener información acertada de la calidad del suelo es necesario que estos indicadores puedan tomarse a partir de las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas (de la Cruz y Fontalvo, 2019; y así lograr una evaluación integral con nociones ecosistémicas sobre la salud del suelo (Schloter *et al.*, 2003). Por ello es importante determinar aquellas propiedades claves que guarden relación entre sí, esto con la intención de constituir instrumentos de evaluación rápida, accesible y entendible para los agricultores (Romig *et al.*, 1995). En este sentido, el método de Evaluación Visual del Suelo (EVS) es una herramienta útil y práctica con indicadores específicos que permiten una aproximación notable a la calidad del suelo (Shepherd, 2006).

Estos procesos de evaluación rápida son útiles para realizar diagnósticos a suelos con vocación agrícola, para medir el impacto de la actividad o bien para dar seguimiento a parcelas cultivadas (Escobar-Perea, 2017). Precisamente, cuando se desea realizar una transición agroecológica es necesario partir de un diagnóstico de los componentes que integran el agroecosistema; en este sentido, la evaluación de la calidad del suelo resulta fundamental (Iodice, 2015). Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del suelo en agroecosistemas tropicales del centro de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: el trabajo se desarrolló en cuatro sitios ubicados en los municipios de Emiliano Zapata y Xalapa en el Estado de Veracruz, México. El sitio uno y dos se ubican en el primer municipio mencionado, en las localidades de El Lencero y Los Mangos; correspondientes a cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo*) y chayote (*Sechium edule*), con una extensión de 750 m² y 400 m² respectivamente. Los sitios tres y cuatro se ubican en el municipio de Xalapa, colonia 6 de enero, donde se cultiva limón persa (*Citrus × latifolia*) en áreas de 400 m² y 600 m², respectivamente.

El clima en Emiliano Zapata es cálido subhúmedo con lluvias en verano, cuenta con un rango de temperatura de 20-26 °C, y 900-1300 mm de precipitación (INEGI, 2020). En el caso de Xalapa el clima está determinado como templado húmedo y variado, con una temperatura media anual de 18.2 °C y una precipitación de 1,587 mm al año (INEGI, 2017).

Diseño de muestreo: las muestras se tomaron entre diciembre de 2020 y enero de 2021, mediante la técnica descrita por la Norma Mexicana NOM-021 RECNAT-2000.

Se realizó un transecto lineal de 60m, marcando los puntos de muestreo cada 15m con cuadrantes de 25x25 cm y 30 cm de fondo, dejando 7.5 metros a los laterales para evitar el efecto de borde. Las muestras fueron procesadas y analizadas en campo y en el Laboratorio de Química de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana región Xalapa.

Evaluación de las propiedades del suelo: Para la evaluación de las muestras se siguieron distintos métodos; para la textura, estructura, porosidad, color, moteado y erosión se hizo uso de la Guía visual de campo de Benítez (2014). Haciendo una adaptación en el calificador visual, resultando ser las siguientes condiciones: 0 = Pobre, 1 = Moderada y 2 = Buena. Por otro lado, la Densidad Aparente (DA) se determinó mediante el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986; Campbell y Henshall, 1991), el pH a través del método electrométrico, la densidad de lombrices a partir del método TSBF (Anderson e Ingram, 1994; Swift y Bignell, 2001), la capacidad de infiltración con el método porchet (Macías y Arellano, 2018) y la Materia Orgánica (MO) mediante el método de oxidación por peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) (Méndez, 2016).

Análisis estadísticos: los datos fueron sometidos a análisis descriptivos, calculando la suma de valores cuantitativos de cada indicador para comparar los cuatro sitios muestreados, utilizando Microsoft Excel versión 2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de suelo realizada en las parcelas cultivadas indicó que la calidad de éste es en su mayoría pobre; calidad que está relacionada con el uso convencional de las mismas. Las dos parcelas cultivadas en la localidad 6 de enero alcanzaron un índice con

valor de 11 y 14 puntos respectivamente, mientras que las parcelas cultivadas de Los Mangos y El Lencero tuvieron índices de 13 y 18 puntos (Tabla 1).

Así mismo, influye en otras propiedades como la densidad aparente, la porosidad y, por lo tanto, el movimiento y el almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo (Lacasta *et al.*, 2005).

Tabla 1. Resultados de la calidad del suelo determinada en cuatro agroecosistemas del centro de Veracruz.

Indicador	Condición				Factor	Valor			
	S1	S2	S3	S4		S1	S2	S3	S4
Textura	2	0	0	0	2	4	0	0	0
Estructura	1	1	0	1	2	2	2	0	2
Porosidad	1	1	1	0	2	2	2	2	0
Color	1	0	0	0	2	2	0	0	0
Moteado	1	2	2	2	1	1	2	2	2
Erosión	2	1	1	1	2	4	2	2	2
Densidad Aparente	0	1	1	1	2	0	2	2	2
pH	1	1	1	2	3	3	3	3	6
Materia Orgánica	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Densidad de lombrices	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Capacidad de infiltración	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Índice de la Calidad del suelo (suma de valores)	Pobre = <15					18	13	11	14
	Moderada = 15 -30								
	Buena = >30								

Nota: Sitio 1: El Lencero; sitio 2: Los Mangos; Sitio 3: Localidad 6 de enero (Gaspar); Sitio 4: Localidad. 6 de enero (Víctor). Fuente: elaboración propia (2021).

Propiedades físicas

Con respecto a la textura, únicamente el sitio uno fue franco-arcillosa, en el resto de los sitios predominó la arenosa. La textura franco-arcillosa presenta las mejores características para los cultivos agrícolas. Las cucurbitáceas como la calabacita y el chayote ven favorecido su crecimiento en este tipo de texturas; por su parte el limón persa prefiere la textura limo-arcillosa. La textura del suelo es una propiedad que se relaciona directamente con los procesos de degradación y potencial de producción (White, 2005). Esta, indica el contenido de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo.

Es una característica importante porque influye en la fertilidad y ayuda a determinar la velocidad de consumo de agua, el almacenaje de agua en el suelo, la laborabilidad y la amplitud de aireación (USDA, 1999). Constituye una propiedad de relevancia agronómica para el trabajo en el campo, a través de ella se puede identificar la capacidad de reserva y retención de nutrientes que tiene el terreno; esto permite establecer las prácticas de manejo, principalmente el tipo de riego a utilizar.

Con relación a la estructura, la mayoría de los sitios (1, 2 y 4) tuvieron una condición moderada, a excepción del sitio 3 que presentó una condición pobre. La condición moderada estuvo dada por un arreglo de los agregados que tendía hacia el equilibrio entre grandes, medianos y pequeños terrones. Predominando los terrones grandes y compactados en el sitio 3. La mayoría de los cultivos prefiere suelos sueltos y bien drenados para que sus raíces prosperen y puedan asimilar tanto agua como nutrientes. La estructura es una de las características más importantes dentro del recurso suelo, ya que influye en el movimiento del agua y la retención hídrica, el drenaje, la aireación, la penetración de las raíces, el ciclo de nutrientes, y en consecuencia sobre el rendimiento de los cultivos. Define el medio físico en el que se desarrolla la planta, hasta tal punto que, en casos desfavorables y aun cuando el suelo presente un nivel óptimo de fertilidad química, puede convertirse en el principal factor limitante de la producción (Bernal *et al.*, 2017).

Cuando el estado estructural se evalúa satisfactorio, en el suelo existen buenas condiciones de porosidad, relación aire-agua, penetración radicular y retención de humedad (Hernández *et al.*, 2007). En suelos con predominio de agregados menores de 0,25 mm no ocurre así, debido a las afectaciones que pueden crear en las características estructurales el predominio de estas fracciones debido a que desfavorecen la porosidad de aeración, al rellenar los poros y favorecer la compactación del suelo. También el predominio de los agregados mayores de 10 mm en un suelo degradado favorece una baja porosidad, lo que contribuye a aumentar el grado de compactación del suelo (Lok *et al.*, 2011).

A propósito de la porosidad, los tres primeros sitios mostraron una condición moderada, a

diferencia del sitio 4 que tuvo una condición pobre. Se los sitios 1, 2 y 3 se percibieron terrones con una cantidad mediana de poros, mientras en la última parcela, los terrones estaban muy compactados y con carencia de poros. La porosidad que guarda gran relación con la estructura resulta esencial para regular la dinámica del agua en el suelo y por tanto su aprovechamiento por parte de los cultivos. Donoso (1992), define a la porosidad como la suma de porcentajes de poros o espacios vacíos de diferente tamaño existentes en una masa de suelo. Esta propiedad, plantea Bolonga (1970) es resultado o consecuencia de la textura y estructura del suelo, o de la manera en que están acomodadas y empacados las partículas y agregados del suelo. Es decir, el espacio poroso está constituido por todo el volumen aparente no ocupado por sólidos.

La porosidad del suelo en los primeros centímetros de profundidad determina en gran medida la infiltración y el escurrimiento del agua que condiciona su transporte hacia niveles superficiales o profundos. La porosidad debe ser considerada un indicador de la calidad del suelo por su capacidad para almacenar agua y permitir el intercambio fisicoquímico y biológico entre las diferentes fases presentes en el suelo (González *et al.*, 2011). La alta porosidad del suelo es indicadora de buen sitio si se comparan dos suelos similares en otras características. En cambio, suelos de baja porosidad indican normalmente sitios malos. Por lo tanto, la porosidad de los suelos influye en la distribución de la vegetación y en las decisiones que se tomen respecto a su manejo (Donoso 1992).

En el caso del color, sólo el sitio uno mostró una condición moderada, en el caso del resto la condición fue pobre. Particularmente, el suelo del cultivo de calabacita presentó un color café, mientras que el suelo de los

cultivos de chayote y limón estuvieron en la escala de grises. El color constituye un indicador visible de otras características del suelo. La materia orgánica, el hierro en sus tres estados, oxidado, reducido e hidratado; el manganeso y el material parental intervienen en el color en condiciones específicas (Ortiz *et al.*, 1990). Un suelo de color oscuro se debe a la materia orgánica muy descompuesta y denota alto contenido de nutrientes para las plantas. Lo más común es que los horizontes superiores de un suelo sean más oscuros. Sin embargo, la coloración oscura de un suelo no es exclusiva del contenido de materia orgánica, ya que los altos contenidos de sodio en el suelo también pueden formar colores oscuros, esto debido a la disolución de la materia orgánica que ocurre a pH superiores a 8 (muy alcalinos), la cual tiende a migrar a la superficie.

Con relación al moteado, el sitio uno mostró una condición moderada, mientras que el resto de los sitios presentaron una buena condición. Únicamente en el cultivo de calabacitas se presentaron algunas manchas de color naranja suave en los terrones de suelo. La cantidad y color de las manchas del suelo son un indicador indirecto de la dinámica del drenaje y aireación del suelo. Asimismo, esto ofrece una noción acerca de un posible declive de la estructura del suelo debido a labranza mecánica y/o sobreexplotación del terreno.

Usualmente, cuando la estructura del suelo ve afectada, también se disminuyen el número de canales y poros que permiten la circulación agua y aire. Como consecuencia de esto, surgen estancamientos y deficiencias de oxígeno durante largos periodos. Es así como emergen condiciones anaeróbicas en las que disminuyen el hierro y el manganeso. Las manchas aparecen como sombras anaranjadas o grisáceas debido a los diferentes grados de oxidación y la disminución los elementos ya

mencionados. A medida que aumenta la pérdida de oxígeno, la dinámica de la microbiología del suelo se ve afectada, así como segmentos de los procesos relacionados con ciclos biogeoquímicos.

Con respecto a la erosión, el sitio uno presentó una buena condición, mientras que el resto de los sitios mostraron una condición pobre. Esto estuvo dado en gran parte porque el cultivo de calabacita presentaba acolchado, a diferencia del cultivo de chayote y los limonares. Esta práctica sencilla también llamada *mulching* permite que el primer horizonte del suelo se mantenga y no se pierda con facilidad por efecto del viento o las escorrentías. En este sentido, es necesario mencionar que la erosión disminuye la fertilidad del suelo, debido a la pérdida excesiva de nutrientes. Además, la erosión reduce la profundidad efectiva de las raíces, así como la capacidad de retención del agua disponible.

Una de las manifestaciones visibles de la erosión es la formación de costras superficiales, las cuales conducen rápidamente a la pérdida de estructura y de la cantidad de materia orgánica. Estas costras también afectan la infiltración y permeabilidad del agua a través del perfil del suelo, promoviendo el incremento del escurrimiento superficial y la pérdida acelerada de nutrientes. Si la superficie del suelo queda desprotegida como en el caso de los sitios 2, 3 y 4, grandes masas de suelos pueden ser arrastradas por el riego y las fuertes lluvias, lo que deriva en cárcavas. La restauración de estos daños requiere a menudo el uso maquinaria pesada, y el costo de estas puede ser incosteable para los pequeños agricultores. Lo anterior, puede conducir a que las parcelas pierdan su aptitud y vocación para la agricultura, fenómeno crítico que genera abandono del campo y pobreza.

Por otro lado, la densidad aparente en el sitio uno fue pobre, mientras que en el resto de los sitios fue moderada. Esto está dado en gran medida por el tipo de suelo, pero también por las prácticas de manejo asociadas. La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas. Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento (USDA, 1999).

La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada *et al.*, 2008). Y puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces (USDA, 1999). Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces (Salamanca *et al.*, 2005).

Con respecto a la capacidad de infiltración del suelo, los cuatro sitios presentaron una condición pobre. La velocidad de infiltración en el sitio uno fue de 9.74 min/L, en el sitio dos de 10.4 min/L, en el sitio tres de 5.15/L y en el sitio cuatro de 3.3 min/L. Esta situación afecta la dinámica del agua en el suelo, provocando con frecuencia encharcamientos y la pérdida de agua por evaporación. Pero también inducen el surgimiento de enfermedades causadas por hongos y bacterias. Por otro lado, la sobresaturación prolongada disminuye el oxígeno. Asimismo, las condiciones anaeróbicas inducen una serie de reacciones químicas y bioquímicas que producen productos tóxicos que afectan a la dinámica de la rizosfera, hasta llegar la

putrición de las raíces. Ya que la pobre aireación del suelo aumenta la proliferación de patógenos que atacan el sistema radicular de los cultivos.

Propiedades químicas

Con relación al pH, los tres primeros sitios presentaron una condición moderada y el sitio cuatro tuvo una condición buena. El potencial de hidrógeno en el sitio uno fue de 6.1, en el sitio dos de 6.5, en el sitio tres de 6.6 y en el sitio cuatro de 7.2; siendo la mayoría moderadamente ácidos y el último neutro. Las prácticas de manejo llevan a alteraciones en el pH del suelo. Particularmente, la aplicación agroquímicos de químicos con el fin de mejorar controlar plagas y enfermedades en los cultivos, afecta al suelo de manera muy directa. Como consecuencia, los suelos se tornan salinos o incluso estériles; en casos extremos llegan a convertirse en desiertos (Riveral *et al.*, 2018).

El indicador pH es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo. En este sentido, el pH es uno de los parámetros más importantes que influyen en la fertilidad del suelo. Indica si contiene niveles tóxicos de aluminio y manganeso, si es bajo el contenido de elementos básicos como el calcio y el magnesio, y si se le puede regular con la adición de sustancias como el óxido de calcio. La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH. Por lo que, conociendo el valor de pH del suelo es posible diagnosticar problemas de nutrientes para un buen desarrollo de los cultivos. Una planta sembrada en un buen suelo, con condiciones óptimas de pH y con la cantidad adecuada de

nutrientes, dará como resultado frutas o cosechas de calidad. Comúnmente valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, un pH declinante es un signo de un uso ineficiente del nitrógeno en los lugares en que se aplican fertilizantes basados en amoníaco (Smith *et al.*, 1996; USDA, 1999). De ahí la importancia de conocer el pH del suelo, pues este es el principal catalizador del desarrollo de las plantas.

Con respecto a la materia, las cuatro parcelas evaluadas presentaron condición pobre. Esto está dado en gran parte porque los agricultores no realizan una manejo eficiente de la fertilidad del suelo en sus parcelas. Pero también por las deficiencias visualizadas en la mayoría de las propiedades físicas. El papel de la materia orgánica en el suelo es fundamental para el mantenimiento de su fertilidad. Un suelo naturalmente fértil es aquel en el que los organismos edáficos van liberando nutrientes inorgánicos a partir de los aportes y reservas orgánicas y minerales presentes en él, esta liberación de nutrientes se debe realizar con velocidad suficiente para mantener un crecimiento rápido de las plantas.

La presencia de materia orgánica en el suelo previene la erosión e incrementa la aireación y la capacidad de retención de agua. Asimismo, la materia orgánica aumenta la capacidad de intercambio catiónico, aligera suelos con textura arcillosa y cohesiona los de tipo arenosos. También, favorece la germinación de las semillas, contrarresta el efecto de algunas toxinas y favorece la respiración radicular; regulando así la actividad de los microorganismos del suelo.

Propiedades biológicas

Finalmente, con respecto a la densidad de lombrices de tierra, los cuatro sitios presentaron una condición pobre. Para la

parcela de calabacitas fue de 2.66 ind/m², en la de chayote fue de 3.75 ind/m², en el primer limonar fue de 0 ind/m² y en el otro de 0.33 ind/m². Lo cual se correlaciona con las deficiencias en el indicador de materia orgánica. Alrededor de 10 lombrices por pie cuadrado de suelo (100 lombrices/m²) es, por lo general, considerado una adecuada población en sistemas agrícolas. Las poblaciones por lo general no exceden 20 por pie cuadrado de suelo (200 lombrices/ m²) en sistemas cultivados (Eduards, 1983).

Las lombrices junto a las termitas, las hormigas y las larvas de algunas especies de escarabajos conforman un grupo que muchos autores han denominado “los ingenieros del suelo”, ya que causan importantes modificaciones físicas en el (galerías, hoyos y depósitos de excrementos) modificando el ambiente para otros organismos y alterando la disponibilidad de hábitas y alimentos para otros animales y las plantas (Lavelle, 1997; de la Cruz-Elizondo y Fontalvo-Buelvas, 2019). Los efectos benéficos de las lombrices sobre el crecimiento de las plantas se pueden deber al incremento en la disponibilidad de nutrientes y agua, mejoramiento de la estructura del suelo, estimulación de microorganismos o formación de productos microbiales que aumentan el crecimiento de las plantas, o a la posibilidad de la producción directa de sustancias promotoras del crecimiento (hormonas) (Brown *et al.* 2000).

Las poblaciones de lombrices pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), y con la estación y las especies involucradas (Curry, 1998). Sin embargo, no todas las áreas o suelos mantienen o poseen lombrices, debido a las condiciones ambientales no son favorables, comúnmente por el uso excesivo de agroquímicos.

CONCLUSIÓN

En definitiva, las condiciones pobres de suelo en las parcelas cultivadas responden en gran medida a las prácticas de manejo convencional que han implementado los agricultores históricamente. El uso excesivo de agroquímicos, la labranza mecánica, los monocultivos y las rotaciones reducidas junto con la historia biogeográfica de los sitios han ido condicionando la calidad de los suelos evaluados. Esto fue notable visualmente en las propiedades físicas (estructura pobre) y biológicas (cantidad pobre de lombrices), las cuales mostraron los valores más bajos para los cuatro sitios. En este sentido, la evaluación de la calidad del suelo permite entender y revertir el deterioro de la funcionalidad ecosistémica del suelo. En estos casos, el diagnóstico mostró que es urgente atender la pérdida de suelos por erosión, mejorar la capacidad de infiltración, reducir la compactación de la capa superficial, estabilizar el pH, mejorar el contenido de materia orgánica y promover la actividad biológica.

REFERENCIAS

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., and Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), 869-890.

Astier, M., Maass, M., & Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(1), 605-620.

Benítez, J. J. R. (2014). Evaluación visual del suelo: Guía de campo. Recuperado de: <https://bit.ly/2Y118Oz>

Blake, G.R., and Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil*

analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Pp. 363-375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

Bremer, E. y Ellert, K. (2004). Soil quality indicators: A review with implications for agricultural ecosystems in Alberta. Alberta Environmentally Sustainable Agriculture. Soil Quality Program. Alberta Agriculture, Food and Rural Development. Symbio AG Consulting. Lethbridge, Alberta. Canada. pp. 32.

Brown, G., Barois, I y Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edafic functional domains. *Europe Journal of Soil Biology*, 36, pp. 177-198.

Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., and Brussaard, L. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(1), 105-125.

Calderón, M. A., Moreno, M. M., y Barra, J. E. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.

Campbel, D. J., and Henshall, J. K. (1991). Bulk Density. In: KA Smith & CEMullins (eds). *Soil Analysis*. Marcel Decker Inc., p. 329-366.

Ciric, V., Manojlovic, M., Belic, M. y Nestic, L. (2013). Efectos del cambio de uso del suelo en la estabilidad de agregados y carbono orgánico en diferentes suelos. *Agrociencia*. 47(6), 539-552.

Cosentino, B.J., Schooley, R. L., and Phillips, C. A. (2011). Connectivity of agroecosystems:

- dispersal costs can vary among crops. *Landscape ecology*, 26(3), 371-379.
- de la Cruz, E. Y., & Fontalvo, B. J. C. (2019). *Biología del suelo*. Códice Taller Editorial. 154p.
- de la Cruz-Elizondo, Y., y Fontalvo-Buelvas, J. C. (2019). Evaluación de la calidad del suelo de un huerto urbano en Xalapa, México. *Suelos ecuatoriales*, 49(1 y 2), 29-37.
- Domínguez, V. A. (1996). *Fertiirrigación*. Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 25p.
- Donoso, C. (1992). *Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente*. Universidad Austral de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.
- Doran, J. W. (1994). Defining soil quality for sustainable environment. *Soil Science Society of America*.
- Escobar-Perea, Y., Vargas-Batis, B., Fuentes-Miranda, O., Rodríguez-Ororio, O., & Molina-Lores, L. B. (2017). Evaluación visual de la calidad del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 3(1), 13-28.
- Lacasta, C., Meco, R., & Maire, N. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. *El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, pp. 429-436.
- Franzluebbers, A. J., Zuberer, D. A., and Hons, F. M. (1995). Comparison of microbiological methods for evaluating quality and fertility of soil. *Biology and fertility of soils*, 19(2-3), 135-140.
- Gabriel, D., Roschewitz, I., Tschardt, T., and Thies, C. (2006). Beta diversity at different spatial scales: plant communities in organic and conventional agriculture. *Ecological applications*, 16(5), 2011-2021.
- García R. A. (1959). *Horticultura*. Segunda edición. Salvat editores, S.A. Barcelona, Madrid.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y forrajes*, 35(2), 125-138.
- Ghaemi, M., Astaraei, H., Emami, M., Nassiri M. y Sanaeinejad, S. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 14, pp. 987-1004.
- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., and Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil biology and biochemistry*, 37(5), 877-887.
- Gil-Stores F., Trasar-Cepeda C., Leiros M. C. y Seoane S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 877-887.
- Gómez-Sal, A. (2001). Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En: Labrador, J., & Altieri, M.A. (eds.). *Agroecología y Desarrollo*. Mundi Prensa, p. 83-119.
- González, J., González, G., Sánchez, I., y López, A. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29

- (4), pp. 369-377. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Hart, R. D. (1985). Conceptos básicos sobre agroecosistemas. IICA/CATIE.
- Hernández C., Ramos J, del Pino M, López, I. (2007). Efecto del estiércol de vacuno en la estabilidad estructural y la actividad biológica de un suelo bajo manejo agrícola. *Acta Biológica Venezuelica*, 27 (2), pp. 19–30.
- Hillel, D. (1982). Introduction to soil physics. 2nd ed. Academic Press, San diego, CA.
- Hofman, J., Bezchlebová, J., Dušek, L., Doležal, L., Holoubek, I., Anděl, P., and Malý, S. (2003). Novel approach to monitoring of the soil biological quality. *Environment international*, 28(8), 771-778.
- Iodice, R. A. (2015). Estudio del metabolismo social y la salud del suelo en cinco producciones familiares tamberas en transición agroecológica de la cuenca del río Lujan, Buenos Aires, Argentina (Tesis doctoral). Universidad Internacional de Andalucía.
- Landeros, F. (1993). Monografía de los Ácidos Húmicos y Fúlvicos. Área de Hortalizas y flores, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile. 145p.
- Lavelle, P. (1997). Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Boil. Int*, 33(1), 3-16.
- Lok S, Fraga S. (2011). Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*/*Cynodon nlemfuensis* con ganado vacuno en desarrollo. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45 (2), 195–202.
- Macías, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). Conductividad hidráulica en dos sitios del valle central de costa rica: análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. *Revista Geológica de América Central*, 59(1), 71-96.
- Medina, J., Volke, V., González, J., Galvis, A., Santiago, M., Cortés, J. (2006). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 22 (2), pp. 175–89.
- Méndez, E. (2016). Validación del método analítico Walkley y Black de materia orgánica en suelos arcillosos, francos y arenosos del Ecuador (Tesis de licenciatura). Ecuador: UCE.
- Moonen, A. C., and Bàrberi, P. (2008). Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, ecosystems & environment*, 127(1-2), 7-21.
- Nonnecke, L. I. (1989). *Vegetable Production*. Van Nostrand Reinhold, Canadá.
- Ortíz, V. y Ortíz S. (1990). Edafología. Editora V. Gómez Cueva. Universidad Autónoma de Chapingo, México. pp. 394.
- Pachepsky, Y., Radcliffe, D. E., and Selim, H. M. (Eds.). (2003). *Scaling methods in soil physics*. CRC Press.
- Porter, J., Costanza, R., Sandhu, H., Sigsgaard, L., and Wratten, S. (2009). The value of producing food, energy, and ecosystem services within an agro-ecosystem. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(4), 186-193.
- Riveral, E. y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Información Científica*, 4, pp. 101-105. Universidad Tecnológica de Panamá.
- Romig, D. E., Garlynd, M. J., Harris, R. F., and McSweeney, K. (1995). How farmers

- assess soil health and quality. *Journal of soil and water conservation*, 50(3), 229-236.
- Salamanca, A., y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56 (4), pp. 381-397.
- Sans, F. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16(1), 44-49.
- Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Ávila-Zarza, C., Criado, M., and Sánchez, Y. (2019). Comparison of methods for evaluating soil quality of semiarid ecosystem and evaluation of the effects of physico-chemical properties and factor soil erodibility (Northern Plateau, Spain). *Geoderma*, 354(1), 113872.
- Sarandón, S. J. (2002). El agroecosistema: un sistema natural modificado. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina.
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4(1), 19-28.
- Schloter, M., Dilly, O., and Munch, J. C. (2003). Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3), 255-262.
- Segueda, A. N., Correa, G. V., Blanco, J. L., y Gamino, M. D. L. R. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29-37.
- Shepherd, T. G. (2006). *Guía de campo para cultivos anuales que contiene el Método de Evaluación Visual del Suelo*. FAO.
- Smith, J. y Doran, J. (1996). Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. Pp. 169-185. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Tate, R. (1995). *Soil microbiology*. John Wiley & Sons, New York.
- Ubatzky, V. E. (1997). *World vegetables. Principles, production, and nutritive values*. Second Edition. Chapman and Hall, New York, NY, U.S.A., 843p.
- USDA (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo* Importancia de evaluar cada indicador. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.
- White, R. (2005). *Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource*. Cuarta edición. Oxford: Blackwell. 384 p.
- USDA-NRSC-SQI. (2001). *United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning*.
- Valades, L. A. (1998). *Producción de Hortalizas*. Octava reimpresión. Editorial Limusa. México D.F.