

MODIFICACIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO POR LA CONTINUA SIEMBRA DE TOMATE INDUSTRIAL EN AZUERO, PANAMÁ ¹

**Luis Alberto Barahona-Amores²; Rubén Samaniego-Sánchez³;
José Villarreal-Núñez⁴; Alexis De La Cruz-Lombardo⁵**

RESUMEN

Las prácticas agrícolas y de manejo de suelo son las actividades antropogénicas más significativas que alteran las características del suelo, marcando principalmente la dirección y el grado de los cambios de su calidad temporal y espacial. Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la siembra de tomate industrial en la región de Azuero sobre algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo. El estudio se estableció en cuatro localidades de la provincia de Los Santos dedicadas al cultivo de tomate industrial por los últimos 10 años. En cada localidad se hizo una comparación con una parcela poco intervenida por actividades antropogénicas (testigo). Se efectuaron muestreos al azar siguiendo un patrón en Zig-Zag, tomando cuatro réplicas por parcela a 20 cm de profundidad. Se determinó densidad aparente, textura, pH, conductividad eléctrica, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, concentración de aluminio, macro y micronutrientes, contenido de materia orgánica, respiración, deshidrogenasa y catalasa. Se realizó una prueba de t-Student, correlación y un análisis multivariado de componentes principales. Los suelos dedicados al cultivo de tomate presentaron valores significativos elevados en densidad aparente, conductividad eléctrica, fósforo disponible y pH más ácidos, mientras que los suelos poco intervenidos mostraron mayor contenido de materia orgánica, mayor actividad enzimática de respiración, catalasa y deshidrogenasa. La siembra continua de tomate en la región de Azuero ha tenido un efecto negativo en parámetros de calidad de suelo.

Palabras claves: Antropogénico, calidad de suelo, degradación, fertilidad.

¹Recepción: 13 de mayo de 2022. Aceptación: 2 de junio de 2022. Investigación financiada con fondos del proyecto de Investigación e innovación del manejo integrado del cultivo de tomate industrial en Panamá, Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

²IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero (CIAAz). M.Sc. Manejo de suelos y agua.

e-mail: alberline@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5824-7688>

³IDIAP. CIAAz. M.Sc. Agricultura Ecológica.

e-mail: rubensama15@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-9910-5678>

⁴IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria de Divisa (CIAD). Ph.D. Edafología.

e-mail: jevilla38@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1317-1960>

⁵Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de Azuero (CRUA). M.Sc. Microbiología y manejo de suelos y agua. e-mail: alexisdela@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-1938-6535>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONTINUOUS PLANTING OF INDUSTRIAL TOMATOES AND SOIL PROPERTIES MODIFICATION IN AZUERO, PANAMA

ABSTRACT

Agricultural practices and soil management are the most significant anthropogenic activities that alter soil characteristics, mainly marking the direction and degree of changes in its time and space quality. This study was carried out in order to examine the effect of continuous planting of industrial tomato in the Azuero region, on some physical, chemical and biological characteristics of the soil. The study was carried out in four localities dedicated to industrial tomato crop for the last 10 years in the province of Los Santos. In each locality, a comparison was made with a little intervened plot by anthropogenic activities (control). Random samplings were carried out following a Zig-Zag pattern, taking four replicates per plot at 20 cm depth. Bulk density, texture, pH, electrical conductivity, Effective Cation Exchange Capacity, aluminum concentration, macro and micronutrients, organic matter content, respiration, dehydrogenase and catalase activity were determined. A t-Student test, correlation and a multivariate analysis of principal components were performed. The soils dedicated to tomato cultivation presented significant higher values for apparent density, electrical conductivity, available phosphorus and more acidic pH, while the soils with little intervention showed higher organic matter content, higher respiration, catalase and dehydrogenase enzymatic activity. Continuous tomato planting in the Azuero region has had a negative effect on soil quality parameters.

Key words: Anthropogenic, degradation, fertility, soil quality.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas agrícolas y de manejo del suelo, son las actividades antropogénicas más significativas que alteran las características de este, marcando principalmente la dirección y el grado de los cambios de su calidad en el tiempo y espacio (Buckley y Schmidt, 2001). Diversas investigaciones han sido orientadas hacia la determinación de indicadores que permitan estimar el estado actual y las tendencias en la calidad del suelo mediante la evaluación de sus propiedades físicas (Estupiñán et al., 2009; Sánchez-Núñez et al., 2015), propiedades químicas (Cabria y Culot, 2001; Silva-Arredondo, 2014; Báez-Pérez et al., 2017) y su actividad microbiológica (Hernández-Flores et al., 2013; Sánchez-Fernández, 2015).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Muchos estudios concuerdan que la materia orgánica del suelo (MO), es el indicador que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Celik, 2005; Galantini y Rosell, 2006; Gelvez, 2008). Wolf y Snyder (2003), aseguran que además de la MO y la textura del suelo, la variación de la densidad aparente está asociada con las prácticas de manejo. La fertilidad es la forma indirecta de medir la capacidad de producción de suelos y su conservación se ha basado en el balance de nutrientes, específicamente en la cantidad presente en el suelo (Sadeghian et al., 1999).

La disminución en el pH en suelos cultivados se atribuye al uso intensivo de fertilizantes, específicamente a los fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, nitrato de amonio (NH_4NO_3) , fosfato monoamónico $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$ y urea $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$, debido a que la nitrificación del N de los fertilizantes nitrogenados que contienen amonio (NH_4^+) puede generar acidez en el suelo, producto de la liberación de iones de hidrógeno (Chien et al., 2008).

La determinación de la actividad de la deshidrogenasa (ADH) es un reflejo de las actividades oxidativas de la microflora del suelo. La ADH ha sido propuesta como un indicador de la actividad microbiana del suelo y es uno de los métodos comúnmente usados para determinar su actividad oxidativa (Acosta y Paolini, 2005). Entre las enzimas antioxidantes, la catalasa (CAT) fue la primera enzima en ser descubierta y caracterizada. La actividad CAT, al igual que la ADH, se considera como un indicador de la actividad de la microflora aerobia del suelo (Tan et al., 2014), la cual descompone el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) , en agua y oxígeno (Morales-Manzo, 2017).

Entre las técnicas más usadas para medir la descomposición o mineralización de la MO está la medición del consumo de O_2 o el desprendimiento de CO_2 , su determinación bajo condiciones controladas de laboratorio se conoce con el nombre de actividad microbiana o respiración de suelo, siendo este el mejor indicador de la actividad metabólica global de las comunidades microbianas del suelo (Paolini-Gómez, 2018). Según Anderson y Domsch (1989), la respiración microbiana edáfica, se incrementa con el aumento de la materia orgánica del suelo, aunque esta relación podría verse afectada por diferentes



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

condiciones macroclimáticas, cambios en la humedad y temperatura del suelo, así como también puede modificarse en función de las rotaciones de cultivos.

En Panamá, hace más de 20 años la producción tomatera se ha intensificado en la región de Azuero y en los 10 últimos años casi el 100% del tomate industrial se siembra en la provincia Santeña, la cual pertenece al Arco Seco de Panamá (Guerra et al., 2016). El diagnóstico de las Tierras Secas y Degradadas de Panamá, que sustenta el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Sequía y la Desertificación de Panamá, identifica al Arco Seco como zona crítica sujeta a procesos de sequías y degradación de suelos (Autoridad Nacional Del Ambiente [ANAM], 2009).

La necesidad de implementar nuevas estrategias de manejo para una agricultura sostenible en estas áreas es urgente. Un requisito para que estas estrategias sean exitosas, es conocer la dinámica que se da en las propiedades de los suelos sujetos a ese tipo de agricultura. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la siembra continua de tomate industrial en la región de Azuero, sobre algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El estudio se realizó en el Arco Seco de Panamá, específicamente en la provincia de Los Santos, donde se concentra la mayor proporción de cultivo de tomate industrial (*Solanum lycopersicum L.*) del país (Guerra et al., 2016). Se seleccionaron cuatro parcelas dedicadas al cultivo de tomate industrial con al menos diez años de uso continuo y se compararon con parcelas aledañas de bosque secundario que se utilizaron como testigo (Cuadro 1), comprendidas dentro de la clasificación de Holdridge (1967), en las zonas de vida de bosque seco premontano, bosque seco tropical y bosque húmedo tropical (Figura 1), con diferente tipo de suelo (Figura 2).

Muestreo en campo

En cada parcela se tomaron muestras de suelo a profundidad de la capa arable (0-0,20 m), en el mes de enero de 2019 (época seca). Para cada sitio se tomaron cuatro



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

muestras al azar, siguiendo un patrón en el campo de Zig-Zag. Cada muestra compuesta de cinco sub-muestras, y un total de 24, que se llevaron al laboratorio para sus posteriores determinaciones analíticas.

Cuadro 1. Localización geográfica de los sitios de muestreo para determinar las características del suelo. Los Santos, Panamá.

| ¹ años | Corregimiento | Distrito | Manejo | ⁴ Tipo de suelo WRB/USDA | Coordenadas (WGS 84) | |
|-------------------|---------------|------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | | X | Y |
| 12 | El Ejido | Los Santos | ² tomate | Nitosol/Alfisol | 569779 | 874226 |
| | | | ³ bosque | | 569916 | 874163 |
| 15 | Tonosí | Tonosí | tomate | Fluvisol/Entisol | 563094 | 818966 |
| | | | bosque | | 563016 | 819046 |
| 20 | El Hato | Guararé | tomate | Luvisol/Alfisol | 567137 | 862290 |
| | | | bosque | | 567010 | 862367 |
| 20 | Villa Lourdes | Los Santos | tomate | Cambisol/Inceptisol | 557253 | 863228 |
| | | | bosque | | 557267 | 863599 |

¹años de cultivo continuo con tomate industrial; ²tomate: suelos cultivados con tomate; ³bosque: suelos de parcelas aledañas de bosque secundario, que se utilizaron como testigo. ⁴taxonomía de suelo según la FAO (WRB, 2015) y su equivalencia en el Soil taxonomy (NRCS, 2014). Fuente: Villarreal et al. (2016).

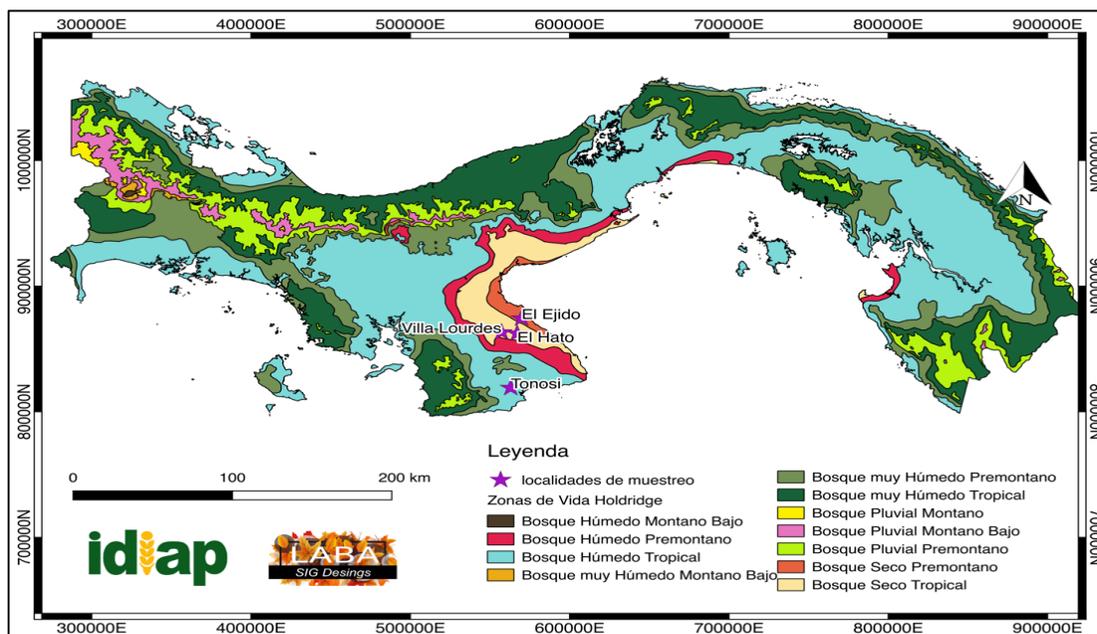


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo y clasificación según las zonas de vida, Los Santos, Panamá. Fuente: Adaptado de Holdridge, 1967.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

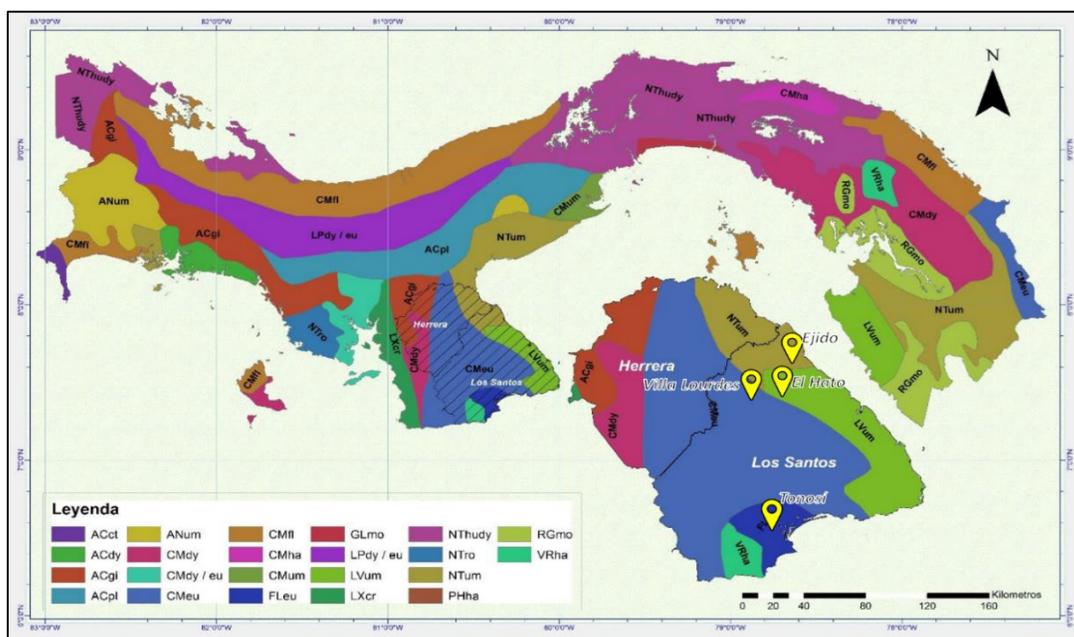


Figura 2. Clasificación taxonómica de suelos de la región de Azuero según la WRB (2015). Fuente: Adaptado de Villarreal et al., 2017.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de t-Student de muestras independientes, para determinar si existía diferencia entre las características del suelo sometido al manejo del cultivo de tomate industrial por más de 10 años continuos, con respecto al suelo poco intervenido con actividades antropogénicas utilizado como referencia, utilizando el paquete estadístico InfoStat® profesional versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Se realizó un análisis multivariado de componentes principales (Bajo-Traver, 2014) y un análisis de correlación de Pearson, para determinar si había correspondencia entre las características evaluadas con respecto al manejo del suelo (α : 0,05), utilizando el paquete estadístico SPSS® para Windows (Méndez y Cuevas, 2014).

Variables de respuesta

Características fisicoquímicas

La textura del suelo se cuantificó mediante la metodología de Bouyoucos (1962) y la densidad aparente (D_a) mediante el método cilindros Uhland de volumen conocido (Agositini, et al., 2014). Por otra parte, el contenido de materia orgánica del suelo (MO), se determinó por el método Walkley y Black (1934), la conductividad eléctrica en pasta



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

saturada (CE) y el pH en agua relación 1:2,5. Se utilizó el método Mehlich 1 (Mehlich, 1953), para determinar el contenido de fósforo utilizando colorimetría, y absorción atómica para potasio, manganeso, hierro, zinc, cobre. Se utilizó la solución extractora KCl (Kamprath, 1970), para calcio y magnesio con absorción atómica y aluminio por titulación con NaOH 0.01N. la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se determinó como suma de bases más aluminio intercambiables. Los análisis se realizaron utilizando metodologías estándar descritas en el manual de Laboratorio de suelos del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (Villarreal y Name, 1996).

Características microbiológicas

Se determinó la respiración microbiana mediante la producción de CO₂ y consumo de O₂, incubando la muestra de suelo por siete días en un sistema anaeróbico, precipitando la muestra con una solución de Cloruro de Bario (BaCl₂) y titulada con ácido clorhídrico (HCl 0,5 N), según la metodología descrita por Aoyama y Nagumo (1997).

Se determinó la actividad de la enzima catalasa (CAT) por el método de Johnson & Temple (1964), descrito por García-Izquierdo et al. (2003), que mide el H₂O₂ residual, para lo cual se adiciona una cantidad determinada de H₂O₂ al suelo incubando a 20 °C durante un tiempo determinado en el que actúa la enzima, valorando el H₂O₂ residual con permanganato de potasio.

Se determinó la actividad de la enzima deshidrogenasa (ADH), mediante la metodología basada en el uso de una sal soluble, como el cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolium (TTC), como aceptor terminal de electrones, después se incuban las muestras de suelo 24 h a 37 °C y la sal se reduce formando trifeniltetrazoliumformazan (TPF) de color rojo. Una vez extraído el TPF con un disolvente (metanol) y su concentración es cuantificada por colorimetría (Trevors, 1984).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis univariado

En el análisis (prueba t-Student), se encontró diferencia altamente significativa ($P < 0,001$) entre los suelos con actividad tomatera y los suelos poco perturbados, con respecto a la densidad aparente, pH, fósforo disponible, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, respiración microbiana, actividad enzimática catalasa y deshidrogenasa. Para las demás características, no se encontró diferencia estadística entre los suelos evaluados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de homogeneidad de varianza y prueba de t-Student para muestras independientes de las variables de respuesta estudiadas ($\alpha: 0,05$).

| Variable | Prueba de Levene homogeneidad de varianzas | | prueba t para la igualdad de medias | | |
|----------------|---|-------|--|----|---------------------|
| | F | Sig. | t | gl | P valor |
| D.Ap | 2,40 | 0,136 | 11,909 | 22 | <0,001** |
| Arena | 2,55 | 0,124 | -0,210 | 22 | 0,836 ^{ns} |
| Limo | 1,66 | 0,212 | -0,420 | 22 | 0,679 ^{ns} |
| Arcilla | 1,33 | 0,261 | 0,433 | 22 | 0,669 ^{ns} |
| pH | 0,01 | 0,999 | -3,333 | 22 | 0,003** |
| P | 4,74 | 0,441 | 5,790 | 22 | <0,001** |
| K | 0,10 | 0,760 | 0,129 | 22 | 0,898 ^{ns} |
| Ca | 2,66 | 0,117 | -0,079 | 22 | 0,938 ^{ns} |
| Mg | 6,96 | 0,515 | 0,024 | 22 | 0,981 ^{ns} |
| Al | 0,11 | 0,744 | -0,946 | 22 | 0,354 ^{ns} |
| Mn | 2,70 | 0,115 | 1,286 | 22 | 0,212 ^{ns} |
| Fe | 0,65 | 0,429 | -1,020 | 22 | 0,319 ^{ns} |
| Zn | 3,41 | 0,178 | -1,243 | 22 | 0,227 ^{ns} |
| Cu | 0,01 | 0,927 | -0,883 | 22 | 0,387 ^{ns} |
| CICE | 4,20 | 0,153 | -0,058 | 22 | 0,954 ^{ns} |
| CE | 8,65 | 0,108 | 5,209 | 22 | <0,001** |
| MO | 4,54 | 0,445 | -3,233 | 22 | 0,004** |
| Respiración | 12,99 | 0,102 | -3,882 | 22 | 0,001** |
| Catalasa | 3,77 | 0,165 | -3,500 | 22 | 0,002** |
| Deshidrogenasa | 15,38 | 0,101 | -3,434 | 22 | 0,002** |

Nota: ^{ns}no existe diferencia estadística, *existe diferencia estadística significativa, **existe diferencia estadística altamente significativa.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Características fisicoquímicas

Los valores elevados de densidad aparente fueron superiores en los suelos con actividad tomatera con respecto a los suelos con poca intervención antrópica ($P < 0,001$), con mayor diferencia en la localidad de Villa Lourdes (Cuadro 3 y 4). Los valores elevados de densidad aparente (Da) en suelos dedicados al cultivo de tomate, se atribuye al uso continuo de maquinaria agrícola, la cual va compactando el suelo con el paso del tiempo, mientras que el aporte de la hojarasca en los suelos testigos (poco intervenidos), favorecen la estructura de este, observando mayor diferencia en el suelo con más tiempo continuo de siembra con tomate (Villa Lourdes). Klein y Libardi (2002), aseguran que el principal efecto de la compactación causada por algunas labores de uso y manejo del suelo sobre la Da se ve reflejado en la porosidad, ya que al aumentar la Da disminuyen los macroporos y aumentan los microporos, causando deficiencias de aireación para el sistema radicular de las plantas. Resultados similares fueron reportados por Salamanca y Sadeghian (2005) y Sánchez-Corona et al. (2008), encontrando un aumento en la Da en suelos de uso agrícola con respecto a suelos con escasa intervención antrópica.

Cuadro 3. Valores medios por localidad para las características físicas, químicas y biológicas de los suelos estudiados dedicados al cultivo de tomate industrial (*Solanum lycopersicum* L). Los Santos, Panamá.

| ¹Variable | Unidad | El Ejido | | El Hato | | Tonosí | | Villa Lourdes | |
|----------------|---|----------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------|--------|
| | | ²Bosque | ³tomate | Bosque | tomate | Bosque | tomate | Bosque | tomate |
| Da | g·cm ³ | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 |
| Arena | % | 26,7 | 28,0 | 30,7 | 24,0 | 41,3 | 26,7 | 34,7 | 50,7 |
| Limo | % | 34,7 | 30,7 | 33,3 | 26,7 | 42,7 | 48,0 | 29,3 | 29,3 |
| Arcilla | % | 38,7 | 41,3 | 36,0 | 49,3 | 16,0 | 25,3 | 36,0 | 20,0 |
| pH | - | 6,0 | 5,8 | 6,5 | 5,8 | 6,9 | 6,3 | 6,6 | 6,4 |
| P | mg·kg ⁻¹ | 3,0 | 33,7 | 7,0 | 66,7 | 35,3 | 64,0 | 3,7 | 103,7 |
| K | mg·kg ⁻¹ | 179,5 | 111,6 | 50,7 | 51,3 | 117,2 | 196,0 | 60,7 | 64,3 |
| Ca | Cmol·kg ⁻¹ | 14,4 | 15,1 | 25,0 | 12,1 | 28,4 | 30,8 | 20,2 | 28,8 |
| Mg | Cmol·kg ⁻¹ | 6,8 | 7,9 | 9,7 | 4,9 | 11,4 | 15,2 | 8,7 | 8,8 |
| Al | Cmol·kg ⁻¹ | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Mn | mg·kg ⁻¹ | 50,5 | 68,7 | 68,4 | 49,8 | 57,9 | 109,3 | 48,3 | 49,4 |
| Fe | mg·kg ⁻¹ | 81,9 | 13,1 | 18,7 | 11,6 | 61,0 | 73,3 | 13,2 | 24,1 |
| Zn | mg·kg ⁻¹ | 3,1 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 0,7 | 0,7 |
| Cu | mg·kg ⁻¹ | 4,6 | 2,9 | 3,7 | 3,9 | 3,8 | 4,1 | 3,0 | 3,1 |
| CICE | Cmol·kg ⁻¹ | 22,0 | 23,5 | 34,9 | 17,3 | 40,3 | 46,7 | 29,3 | 38,0 |
| CE | dS·m ⁻¹ | 0,5 | 1,0 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,9 |
| MO | % | 3,1 | 1,1 | 2,7 | 2,0 | 1,1 | 0,8 | 1,7 | 0,8 |
| Respiración | mg C-CO ₂ ·kg ⁻¹ ·día ⁻¹ | 3,0 | 2,5 | 2,8 | 2,3 | 2,4 | 2,2 | 3,4 | 2,5 |
| Catalasa | mmoles·g ⁻¹ ·h ⁻¹ | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,5 |
| Deshidrogenasa | µmoles INTF·g ⁻¹ ·h ⁻¹ | 0,3 | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |

¹Nota: Da= densidad aparente; CICE= Capacidad de intercambio catiónico efectiva; CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; ²tomate: suelos cultivados con tomate; ³bosque: suelos de parcelas aledañas de bosque secundario, que se utilizaron como testigo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los suelos dedicados al cultivo de tomate industrial presentaron valores de pH de $6,1 \pm 0,5$ siendo inferior al suelo testigo, el cual presentó un pH de $6,5 \pm 0,8$ ($P=0,003$), donde las localidades con mayor diferencia en pH entre los suelos según su uso fueron El Hato y Tonosí. Resultados similares los reportaron Moreno et al. (2015), quienes encontraron que los suelos con actividades agrícolas de maíz y remolacha presentaron pH más ácidos con respecto a suelos con varios años en descanso, atribuido al uso de fertilizantes nitrogenados por la liberación de iones H^+ .

El fósforo disponible se vió influenciado significativamente por el uso de la tierra, presentando un valor mayor en el suelo cultivado con tomate con $67 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$, mientras el suelo testigo presentó una concentración de $12 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ($P<0,001$), encontrando una mayor diferencia en la localidad de Villa Lourdes, siendo esta la de mayor tiempo bajo cultivo continuo de tomate. Los contenidos de P expresan la influencia de la fertilización realizada en los cultivos y la ausencia de esta en los suelos poco intervenidos, como lo reportado por Ciampitti (2009), en parcelas que recibieron aplicación continua de P durante 6 años con distintas rotaciones de cultivo (maíz, trigo y soya), obteniendo un saldo positivo de su contenido en el suelo (27 kg P ha^{-1}), mientras que parcelas testigo sin aplicación de P en el mismo tiempo, obtuvieron un saldo negativo ($-152 \text{ kg P ha}^{-1}$). Este patrón se observó en otros estudios (Ozturkmen y Kavdir, 2012; Moreno et al., 2015), donde las prácticas agrícolas aumentaron el contenido de fósforo en zonas cultivadas con respecto a suelos en descanso.

Los valores de Conductividad Eléctrica en pasta saturada fueron superiores en los suelos donde se cultiva tomate ($P<0,001$), lo cual es característico en suelos donde se producen hortalizas que utilizan fertirriego, mostrando la mayor diferencia el suelo con más años de cultivar tomate (Villa Lourdes). El aumento en la conductividad eléctrica de suelos cultivados se debe a la acumulación de sales provenientes de los fertilizantes aplicados en exceso (Goykovic-Cortés y Saavedra del Real, 2007). Ambos suelos presentaron valores de CE menores a $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, considerados bajos o de suelos no salinos (Andrades y Martínez, 2014), sin embargo, hay que prestar atención a este parámetro si se sigue cultivando tomate sin hacer lavado de sales, ya que podría acarrear problemas de toxicidad.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las concentraciones de K, Ca, Mg, Al, Mn, Fe, Zn, Cu y CICE, fueron similares entre ambos suelos evaluados, no encontrando un efecto directo en el uso de suelo con respecto a estos parámetros de fertilidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Urricariet y Lavado (1999), donde no se encontraron diferencias significativas en la capacidad de intercambio catiónico ni en los cationes de cambio al comparar suelos poco intervenidos por el hombre y suelos de larga historia agrícola. Moreno et al. (2015), reportan diferencias estadísticas en la concentración de Ca, Mg y K, mas no así en la CICE, al comparar suelos dedicados al cultivo de maíz y remolacha con suelos aledaños en recuperación natural.

Cuadro 4. Valores medios e intervalo de confianza (α : 0.01) para las características físicas, químicas y biológicas de los suelos estudiados dedicados al cultivo de tomate industrial (*Solanum lycopersicum L.*), Los Santos, Panamá.

| ¹ Variable | Unidad | Tomate | Bosque | diferencia |
|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
| Da | g·cm ⁻³ | 1,2 ± 0,1 | 1,1 ± 0,1 | 0,14** |
| Arena | % | 32,3 ± 13 | 33,3 ± 7 | -1,0 ^{ns} |
| Limo | % | 33,7 ± 8 | 35,0 ± 5 | -1,3 ^{ns} |
| Arcilla | % | 34,0 ± 14 | 31,7 ± 9 | 2,3 ^{ns} |
| pH | - | 6,1 ± 0,5 | 6,5 ± 0,8 | -0,4** |
| P | mg·kg ⁻¹ | 67,0 ± 0,3 | 12,3 ± 0,3 | 54,8** |
| K | mg·kg ⁻¹ | 105,8 ± 26 | 102,1 ± 12 | 3,7 ^{ns} |
| Ca | Cmol·kg ⁻¹ | 21,7 ± 10 | 22,0 ± 7 | -0,3 ^{ns} |
| Mg | Cmol·kg ⁻¹ | 9,2 ± 6 | 9,2 ± 5 | 0,03 ^{ns} |
| Al | Cmol·kg ⁻¹ | 0,2 ± 0,1 | 0,2 ± 0,1 | -0,04 ^{ns} |
| Mn | mg·kg ⁻¹ | 69,3 ± 0,1 | 56,3 ± 0,1 | 13,0 ^{ns} |
| Fe | mg·kg ⁻¹ | 30,5 ± 16 | 43,7 ± 17 | -13,2 ^{ns} |
| Zn | mg·kg ⁻¹ | 1,0 ± 0,2 | 1,5 ± 0,3 | -0,43 ^{ns} |
| Cu | mg·kg ⁻¹ | 3,5 ± 0,5 | 3,8 ± 1 | -0,26 ^{ns} |
| CICE | Cmol·kg ⁻¹ | 31,4 ± 0,6 | 31,6 ± 0,7 | -0,26 ^{ns} |
| CE | dS·m ⁻¹ | 0,7 ± 0,3 | 0,3 ± 0,1 | 0,45** |
| MO | % | 1,2 ± 0,2 | 2,1 ± 0,1 | -0,97** |
| Respiración | mg C-CO ₂ ·kg ⁻¹ ·día ⁻¹ | 2,4 ± 0,1 | 2,9 ± 0,3 | -0,48** |
| Catalasa | mmoles·g ⁻¹ ·h ⁻¹ | 0,5 ± 0,1 | 0,6 ± 0,1 | -0,10** |
| Deshidrogenasa | µmoles INTF·g ⁻¹ ·h ⁻¹ | 0,2 ± 0,1 | 0,4 ± 0,2 | -0,25** |

¹Nota: Da= densidad aparente; CICE= Capacidad de intercambio catiónico efectiva; CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica, ^{ns}no existe diferencia estadística, *existe diferencia estadística significativa, **existe diferencia estadística altamente significativa



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El contenido de materia orgánica fue un 83% más elevada en los suelos poco intervenidos con respecto a los suelos con actividad tomatera ($P=0,004$), encontrando mayor diferencia en la localidad de El Ejido. El contenido de materia orgánica presentó una correlación negativa con los valores de Densidad aparente (Cuadro 5), encontrando que a mayor valor de Da, menor cantidad de MO ($r=-0,83$). La relación entre MO y Da fue reportada por Yañez et al. (2018), donde suelos con vegetación natural tenían mayor contenido de MO y menor Da, contrario a suelos con pastizales y suelos agrícolas que presentaron menor contenido de MO y mayor Da. Contreras (2016), encontró valores de MO superiores en diferentes tipos de bosque con respecto a suelos agrícolas y con pastizales. Algunos autores indican que el suelo pierde contenido en materia orgánica por el cultivo continuo por efecto de la mineralización, la erosión o por ambos procesos a la vez, ya que se pierde la estructura inicial del suelo y aumenta la densidad aparente del mismo (Hernández et al., 2017).

Cuadro 5. Análisis de correlación de Pearson entre las variables de estudio ($\alpha: 0.05$).

| | D. Ap | Arena | Limo | Arcilla | MO | pH | P | K | Ca | Mg | Al | Mn | Fe | Zn | Cu | CICE | CE | Respiración | Catalasa | Deshidrogenasa | |
|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|-------|-------|-------|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|----------|----------------|--|
| D. Ap | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena | -0,09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limo | -0,04 | -0,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arcilla | 0,10 | -0,81** | -0,48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MO | -0,83** | -0,35 | -0,31 | 0,49 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | -0,57 | 0,40 | 0,36 | -0,56 | -0,18 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | 0,73** | 0,32 | -0,02 | -0,27 | 0,63** | -0,15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | 0,00 | -0,20 | 0,51 | -0,13 | -0,02 | -0,18 | -0,05 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | -0,05 | 0,59 | 0,56 | -0,85** | -0,48 | 0,62 | 0,29 | 0,07 | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | -0,02 | 0,16 | 0,75** | -0,58 | -0,46 | 0,42 | 0,04 | 0,41 | 0,75** | | | | | | | | | | | | |
| Al | -0,28 | 0,03 | 0,11 | -0,10 | 0,18 | -0,17 | -0,11 | 0,65 | 0,01 | 0,07 | | | | | | | | | | | |
| Mn | 0,16 | -0,12 | 0,58 | -0,23 | -0,36 | -0,01 | 0,13 | 0,50 | 0,44 | 0,60 | 0,21 | | | | | | | | | | |
| Fe | -0,13 | 0,04 | 0,61 | -0,40 | 0,15 | 0,12 | -0,08 | 0,66 | 0,26 | 0,36 | 0,38 | 0,27 | | | | | | | | | |
| Zn | -0,16 | -0,22 | 0,15 | 0,10 | 0,55 | -0,35 | -0,36 | 0,59 | -0,26 | -0,08 | 0,48 | 0,03 | 0,64 | | | | | | | | |
| Cu | -0,10 | -0,29 | 0,39 | 0,03 | 0,34 | 0,00 | -0,11 | 0,22 | -0,10 | -0,10 | 0,11 | 0,17 | 0,59 | 0,44 | | | | | | | |
| CICE | -0,04 | 0,49 | 0,66 | -0,82** | -0,50 | 0,58 | 0,22 | 0,20 | 0,98** | 0,80** | 0,05 | 0,52 | 0,32 | -0,20 | -0,10 | | | | | | |
| CE | 0,76** | 0,07 | -0,21 | 0,07 | -0,37 | -0,59 | 0,51 | 0,11 | -0,16 | -0,14 | -0,03 | 0,00 | -0,09 | 0,10 | -0,27 | -0,16 | | | | | |
| Respiración | -0,82** | 0,00 | -0,37 | 0,22 | 0,81** | 0,17 | -0,65 | -0,14 | -0,25 | -0,24 | 0,22 | -0,39 | -0,13 | 0,20 | -0,14 | -0,26 | -0,36 | | | | |
| Catalasa | -0,78** | 0,10 | -0,03 | -0,07 | 0,77** | 0,11 | -0,65 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | 0,28 | -0,25 | 0,05 | 0,36 | -0,10 | -0,05 | -0,16 | 0,63 | | | |
| Deshidrogenasa | -0,75** | -0,12 | 0,12 | 0,03 | 0,71** | 0,31 | -0,57 | -0,12 | 0,15 | 0,16 | -0,03 | 0,11 | -0,02 | 0,07 | 0,11 | 0,16 | -0,74 | 0,22 | 0,25 | | |

Nota: D, ap: densidad aparente; CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Características biológicas

Se encontraron diferencias significativas en la tasa de respiración del suelo ($P < 0,001$), siendo mayor en los suelos con vegetación natural respecto a los suelos con actividad tomatera, con mayor diferencia en la localidad con mayor tiempo de uso continuo (Villa Lourdes). La respiración microbiana presentó una correlación positiva con el contenido de MO en los suelos ($r = 0,81$). Moreno et al. (2015), reportaron datos similares, encontrando mayor respiración microbiana en suelos con vegetación en recuperación, respecto a los suelos de cultivo continuo con maíz y remolacha; Álvarez y Anzueto (2004), encontraron mayor tasa de respiración microbiana en suelos con plantaciones arbóreas, que en suelos donde se cultiva pasto y maíz.

Los suelos poco intervenidos, presentaron valores 18% más elevados en actividad enzimática catalasa que los suelos dedicados al cultivo de tomate, siendo diferentes entre ellos ($P = 0,002$), con resultados similares en todas las localidades. La actividad enzimática catalasa en los suelos puede verse alterada por estreses ambientales, provocando su aumento o reducción dependiendo de la intensidad, duración y tipo de estrés, así como a la susceptibilidad a los herbicidas como lo menciona Morales-Manzo (2017). El mismo autor reporta resultados similares a los encontrados en esta investigación, donde en promedio, un sistema de cultivo ecológico fue superior en un 17% al sistema de cultivo de pimiento convencional en la actividad enzimática catalasa.

Los valores encontrados para la actividad Deshidrogenasa fueron 2,6 veces mayor en los suelos poco intervenidos en comparación con los valores obtenidos en los suelos dedicados al cultivo de tomate ($P = 0,002$), con mayor diferencia en la localidad de El Hato. Se encontró una correlación positiva entre la actividad deshidrogenasa y el contenido de materia orgánica del suelo ($r = 0,71$), mientras que existió una correlación inversa entre la actividad deshidrogenasa y los valores de conductividad eléctrica de los suelos estudiados ($r = -0,74$). De acuerdo con Gili et al. (2004), la actividad de la deshidrogenasa es menor en suelos con valores elevados de conductividad eléctrica y bajos valores de materia orgánica, como se observó en este estudio. Estos resultados concuerdan con los reportado por Marcote et al. (2001), Cerón-Rincón et al. (2005) y Paz-Ferreiro et al. (2007), estos últimos mencionaron una relación positiva entre la actividad de la enzima deshidrogenasa y el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

contenido de materia orgánica, lo que sugiere que esta enzima puede ser un indicador del estado metabólico de la microflora del suelo y por lo tanto un indicador importante de calidad de suelos. Una mayor actividad deshidrogenasa en suelos donde existe rotación de cultivos, en comparación con suelos cultivados año tras año con el cultivo de tomate fueron reportados por Zamora et al. (2005). En otro estudio Caravaca et al. (2002), encontraron en ambientes semiáridos una mayor actividad en los suelos bajo pasto natural que en los suelos cultivados.

Análisis Multivariado

Se realizó una prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (Cuadro 6), para determinar la adecuación muestral, obteniéndose un valor cercano a uno (0,801), indicando que se puede realizar el PCA según lo descrito por Montoya-Suárez (2007). En el análisis de componentes principales, el CP-1 recoge el 66,5 % y el CP-2 recoge el 16,5 % de la varianza, así los dos primeros componentes explican un 83% de la varianza total de las correlaciones entre las variables estudiadas (Cuadro 7).

Cuadro 6. Prueba KMO y Bartlett de adecuación muestral para análisis de componentes principales (α : 0.05).

| | |
|---|---------|
| Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo | 0.801 |
| Aproximación Chi-cuadrado | 115479 |
| Prueba de esfericidad de Bartlett | gl |
| | 36 |
| | Valor P |
| | <0,001 |

Cuadro 7. Varianza explicada por los dos primeros ejes (CP-1 y CP-2) y proporción acumulada en el análisis de componentes principales.

| Componente | Varianza total explicada ACP | | |
|------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| | Varianza | utovalores iniciales % de varianza | % acumulado |
| CP-1 | 5533,9 | 66,5 | 66,5 |
| CP-2 | 1374,2 | 16,5 | 83,0 |
| Residuo | 1412,2 | | |

En el gráfico biplot del análisis PCA (Figura 3), se observa un grupo de características de suelo cercanas al suelo testigo o control (Bosque), un segundo grupo de características de suelo que están cercanas a los suelos cultivados con tomate por más de 10 años (tomate) y un grupo de características alejadas en la gráfica de ambos suelos



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

evaluados, los suelos poco intervenidos están muy relacionados con los contenidos de materia orgánica, pH más elevado y las actividades enzimáticas catalasa, deshidrogenasa y respiración, las cuales son características positivas en términos de calidad de suelo; mientras que el suelo bajo actividad tomatera presentó una mayor relación con los valores de conductividad eléctrica y densidad aparente, que son indicativo de degradación y baja calidad de suelo; además está relacionado con el contenido de calcio y fósforo, este último producto de aplicaciones continuas de fertilizantes fosfatados en el cultivo de tomate y por los mecanismos de adsorción de este elemento en los suelos de esta región, como lo describe Núñez-Cano et al. (2018). Este análisis nos permite identificar que las variables Da y CE son factores de riesgo a tomar en consideración a la hora de implementar planes de manejo del cultivo.

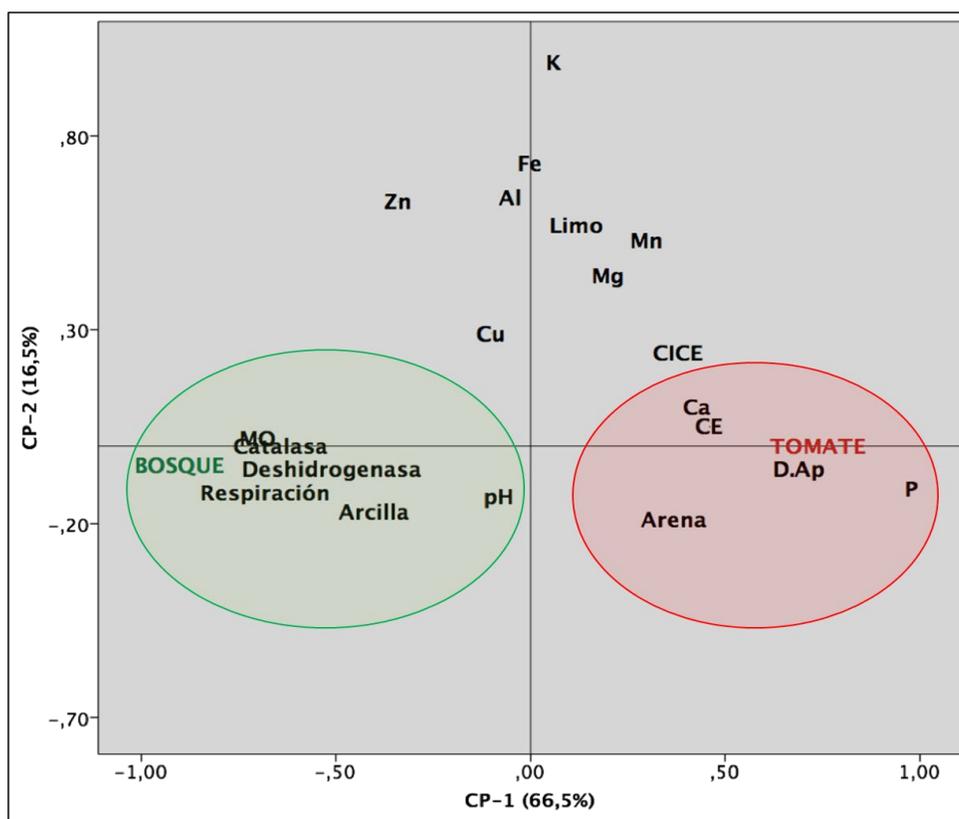


Figura 3. Gráfica biplot del análisis multivariado de componentes principales con las variables físicas, químicas y biológicas de los suelos con actividad tomatera (*Solanum lycopersicum* L.), y suelos poco perturbados, Los Santos, Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONCLUSIONES

- Los suelos dedicados al cultivo de tomate por más de diez años presentaron una degradación en características químicas como densidad aparente, pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica atribuibles a las prácticas de manejo del mismo cultivo año tras año. Estos suelos mostraron una actividad enzimática biológica baja, en comparación con los suelos aledaños poco intervenidos por el hombre, indicando un deterioro en su calidad. Estos resultados ponen en evidencia el deterioro del suelo ocasionado por la siembra continua del cultivo de tomate sin medidas de conservación y sienta las pautas para generar manejos agronómicos que permitan mejorar la calidad del suelo en la región.

REFERENCIAS

- Acosta, Y. y Paolini, J. (2005). Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agronomía Tropical*, 55(2), 217-232. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2005000200004
- Agostini, Ma.D.L. A., Monterubbianesi. M.G., Studdert, G.A. y Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del suelo*, 32(2), 171-176. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672014000200003
- Álvarez, J. y Anzueto, M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 38(2), 13-22. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30238102.pdf>
- Anderson, T. H. y Domsch, K. H. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 21, 471-479. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X)
- Andrades, M. y Martínez, M. E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* (3ª Ed.). Universidad de La Rioja.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Aoyama, M. y Nagumo, T. (1997). Comparison of the effects of Cu, Pb, and As on plant residue decomposition, microbial biomass, and soil respiration. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43, 613-622. <https://doi.org/10.1080/00380768.1997.10414787>

Autoridad Nacional Del Ambiente. (2009). Atlas De Las Tierras Secas y Degradadas de Panamá. (L. Mendoza, D. Dixon, D. Carrasco, & L. Lozano, Edits.) Proyectos Editoriales.
https://edo.jrc.ec.europa.eu/gisdata/scado/land_degradation/pa/ATLAS_DESERTIFICACION.pdf

Báez-Pérez, A., Limón-Ortega, A., González-Molina, L., Ramírez-Barrientos, C. E. y Bautista Cruz, A. (2017). Efecto de las prácticas de agricultura de conservación en algunas propiedades químicas de los Vertisoles. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 759-772. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263152088001.pdf>

Bajo-Traver, M. (2014). Aplicaciones prácticas del Análisis de Componentes Principales en Gestión de Carteras de Renta Fija (I). Determinación de los principales factores de riesgo de la curva de rendimientos. *Análisis Financiero*, 124, 20-36. https://www.researchgate.net/publication/309780325_Practical_applications_of_Principal_Component_Analysis_in_Fixed_Income_Portfolio_Management_I_Determination_of_the_main_risk_factors_of_the_yield_curve

Base Referencia de Suelo. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>

Bouyoucus G. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54, 464-465. <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Buckley, D. H. y Schmidt. (2001). The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology*, 42, 11-21. <https://doi.org/10.1007/s00248000108>
- Cabria, F. N. y Culot, J. P. (2001). Efecto de la agricultura continua bajo labranza convencional sobre características físicas y químicas en udoles del sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 19(1), 1-10. http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_19n1/Vol%2019%20N%BA%201%20PDF%20ORIGINAL%20CON%20PROBLEMAS.PDF
- Caravaca, F., Masciandaro, G. y Ceccanti, B. (2002). Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 68(1), 23-30. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00080-6)
- Celik, I. (2005). Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 83, 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.001>
- Cerón Rincón, L. y Melgarejo Muñoz, L. (2005). Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta Biológica Colombiana*, 10(1), 5-18. <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028576001.pdf>
- Ciampitti, I. A. (2009). Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo. [tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires]. Argentina. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7310afb32c62918a032579030053e4a5/\\$FILE/Ciampitti2009-MasterScience.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7310afb32c62918a032579030053e4a5/$FILE/Ciampitti2009-MasterScience.pdf)
- Contreras, A. (2016). Cambios de uso de suelo y su impacto en las funciones ecosistémicas del suelo en el municipio de Jilotepec Estado de México. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de México]. Repositorio Institucional Autónoma del Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/62652>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Chien, S. H., Gearhart, M. y Collamer, D. J. (2008). The effect of different ammoniacal nitrogen sources on soil acidification. *Soil Science*, 173, 544-551. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31817d9d17>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2012). InfoStat version 2020 [Windows]. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Estupiñán, L. H., Gómez, J. E., Barrantes, V. J. y Limas, L. F. (2009). Efecto de las actividades agropecuarias en las características del suelo en el Páramo El Granizo (Cundinamarca-Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 12(2), 79-89. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v12n2/v12n2a09.pdf>
- Galantini, J. y Rosell, R. (2006). Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.032>
- García-Izquierdo, C., Gil, F., Hernández, T. y Trasar, C. (2003). Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gelvez, I. M. (2008). Efecto del uso de suelo sobre la descomposición de hojarasca y grupos funcionales microbianos (cuenca del río la vieja, Quindío) [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8344>
- Gili, P., Marando, G., Irisarri, J. y Sagardoy, M. (2004). Actividad biológica y enzimática en suelos afectados por sales del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *Revista Argentina de Microbiología*, 36, 187-192. https://www.researchgate.net/publication/237354915_Actividad_biológica_y_enzimática_en_suelos_afectados_por_sales_del_Alto_Valle_de_Río_Negro_y_Neuquén



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Goykovic-Cortés, V. y Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y practicas agronómicas para su manejo. *IDESIA*, 25(3), 47-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>

Guerra, J. A., Villarreal, J., Herrera, J. A., Aguilera, V. y Osorio, O. (2016). *Manejo Integral Del Cultivo de Tomate Industrial* (3ª ed.). Instituto De Investigación Agropecuaria de Panamá. <http://www.idiap.gob.pa/download/manual-tecnico-manejo-integrado-del-cultivo-de-tomate-industrial/?wpdmdl=3309>

Hernández-Flores, L., Munive-Hernández, J. A., Sandoval-Castro, E., Martínez-Carrera, D. y Villegas-Hernández, M. C. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 353-365. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000300002

Hernández, A., Vera, L., Naveda, C., Guzmán, Á., Vivar, M., Zambrano, T., Mesías, F., Ormanza, K., León, R. y López, G. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuena Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 50-56. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100006

Holdridge, L. R. (1967). *Ecología Basada en Zonas de Vida* (1ª ed.) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>

Jhonson, J. L. y Temple, K. L. (1964). some variable affecting the measurement of "catalase activity" in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 28(2), 207-209. <https://doi.org/10.2136/sssaj1964.03615995002800020024x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Kamprath, E.J. (1970). Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 252-254. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020022x>
- Klein, V. A. y Libardi, P. L. (2002). Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26(4), 857-867. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>
- Marcote, I., Hernández, T., García, C. y Polo, A. (2001). Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. *Bioresource Technology*, 79(2), 147-154. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00048-7)
- Mehlich, A. (1953). Determination of phosphorus by double acid extraction. In: The council on soil testing and plant analysis. Handbook of reference methods for soil testing, 1974.
- Méndez, S. y Cuevas, A. (2014). Manual introductorio al SPSS Statistics Standard Edition 22. Universidad de Celaya. México https://www.fibao.es/media/uploads/manual_de_spss_universidad_de_celaya.pdf
- Montoya-Suárez, O. (2007). Aplicación del análisis factorial a la investigación de mercados. Caso de estudio. *Scientia et Technica*, 35, 281-286. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903549.pdf>
- Morales-Manzo, I. I. (2017). Estudio de la actividad enzimática del suelo bajo condiciones de cultivo ecológico y convencional en una colección de pimientos y chiles (*Capsicum* spp.) [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/89430?show=full>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Moreno, C., González, M. I. y Egido, J. A. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Revista científica Ecuatoriana*, 2(1), 33-40. <https://doi.org/10.36331/revista.v2i1.8>
- Núñez-Cano, J., Villarreal-Núñez, J., Gordon-Mendoza, R., Franco-Barrera, J., Jaén-Villarreal, J. y Sáez-Cigarruista, A. (2018). Retención de fósforo en suelos dedicados al cultivo de maíz en la región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, (29), 66-79. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/153>
- Ozturkmen, A. y Kavdir, Y. (2012). Comparison of some quality properties of soils around land-mined areas and adjacent agricultural fields. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 1633-1643. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2066-y>
- Paolini-Gómez, J. E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 13-22. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
- Paz-Ferreiro, J., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., Seoane, S. y Gil-Sotres, F. (2007). Biochemical properties of acid soils under native grassland in a temperate humid zone. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50(4), 537-548. <https://doi.org/10.1080/00288230709510321>
- Sadeghian, S., Rivera, J. M. y Gómez, M. E. (1999). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en los Andes de Colombia. En M.D. Sánchez y M. Rosales Méndez (Ed.), *Agroforestería en la producción animal en Latinoamérica* (pp. 123-141). <http://www.fao.org/3/x1213s/x1213s.pdf>
- Salamanca, J. A. y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Sánchez-Fernández, C. (2015). Efectos de los distintos manejos agrícolas, fertilización tradicional y agricultura ecológica, en las distintas propiedades del suelo [Tesis de grado, Universidad Miguel Hernández]. Repositorio UMH. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2716/1/S%C3%A1nchez%20Fern%C3%A1ndez%2C%20C%C3%A9sar.pdf>
- Sánchez-Núñez, D. A., Pinilla, G. A. y Mancera Pineda, J. E. (2015). Efecto del uso de suelo en las propiedades edáficas y la escorrentía superficial en una cuenca de la Orinoquia Colombiana. *Colombia Forestal*, 18(2), 255-272. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a06>
- Sánchez-Corona, V., Castelán-Vega, R. y Tamaríz-Flores, J. V. (2008). Variación de las propiedades fisicoquímicas como respuesta al establecimiento de distintas actividades agropecuarias en los luvisoles de la sierra norte de Puebla. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), 259-268. <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v4-n2-30-variacion-de-las-propiedades-fisicoquimicas-como-respuesta.pdf>
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Décima edición. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Silva-Arredondo, F. M. (2014). Efecto de la agricultura intensiva en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y sus implicaciones en la conservación de pastizales nativos. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma De Nuevo León]. Repositorio Universitario Digital UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/4065>
- Tan, X., Xie, B., Wang, i., He, W., Wang, X. y Wei, G. (2014). County-Scale Spatial Distribution of Soil Enzyme Activities and Enzyme Activity Indices in Agricultural Land: Implications for Soil Quality Assessment. (A. P. González, Ed.) *The Scientific World Journal*, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/535768>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Trevors, J. T. (1984). Dehydrogenase activity in soil: a comparison between the INT and TTC assay. *Soil Biology and Biochemistry*, 16(6), 673-674. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(84\)90090-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(84)90090-7)
- Urricariet, S. y Lavado, R. (1999). Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo*, 17(1), 37-44. https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_17n1/ciencia_del_suelo_17_1_37_4_4.pdf
- Villarreal, J.E., Agudo, L. y Villalaz, J. (2016). Clasificación de suelos de Panamá y sus equivalencias. Instituto De Innovación Agropecuaria de Panamá. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1599.7844>
- Villarreal, J. y Name, B. (1996). *Técnicas analíticas del laboratorio de suelos* (1ª ed.). Instituto De Innovación Agropecuaria de Panamá.
- Villarreal, J.E., Ramos, I., Villalaz, J. y Santo, A. (2017). Clasificación taxonómica y caracterización fisicoquímica de los suelos de la región de Azuero-Panamá. https://www.researchgate.net/publication/320911289_CLASIFICACION_TAXONOMICA_Y_CARACTERIZACION_FISICO-QUIMICA_DE_LOS_SUELOS_DE_LA_REGION_DE_AZUERO-PANAMA
- Walkley, A. y I Black. (1934). An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34, 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Wolf, B. y Snyder, G. (2003). *Sustainable soils; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity*. Food Products Press.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Yañez, M. I., Cantú, I. y González, H. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 369-379. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>

Zamora, F., Pastor, J. y Rodríguez, N. (2005). Cambios en la Biomasa Microbiana y la Actividad Enzimática Inducidos por la Rotación de Cultivos en un Suelo Bajo Producción de Hortalizas en el estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias*, 5(1), 62-70. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90450107.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)