



*Incidencia del manejo de plantaciones comerciales del cultivo de banano sobre la calidad del suelo, Balao, Guayas*

*Incidence of the management of commercial plantations of banana cultivation on soil quality, Balao, Guayas*

*Incidência do manejo de plantios comerciais de cultivo de banana na qualidade do solo, Balao, Guayas*

Yoansy García <sup>I</sup>

[yogarcia@uagraria.edu.ec](mailto:yogarcia@uagraria.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-2178-963X>

Daniel Ponce de León <sup>II</sup>

[dponcel@upse.edu.ec](mailto:dponcel@upse.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-9511-8495>

Daniel Mancero <sup>III</sup>

[dmancero@uagraria.edu.ec](mailto:dmancero@uagraria.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-9644-2975>

Tatiana Pancho <sup>IV</sup>

[tatianapancho@gmail.com](mailto:tatianapancho@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-1639-342X>

**Correspondencia:** [yogarcia@uagraria.edu.ec](mailto:yogarcia@uagraria.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de agosto de 2022 \* **Aceptado:** 12 de septiembre de 2022 \* **Publicado:** 26 de octubre de 2022

- I. Instituto de Investigación Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, Ph.D, Universidad Agraria del Ecuador.
- II. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.
- III. Instituto de Investigación Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, Ph.D, Universidad Agraria del Ecuador.
- IV. Estudiante de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Agraria del Ecuador.



## Resumen

El uso intensivo del medio edáfico en los procesos agrícolas origina una degradación significativa de los suelos, lo que promueve una disminución acelerada del potencial productivo y, por ende, un detrimento de los rendimientos de los cultivos. En este sentido, se planteó el objetivo de determinar la incidencia de plantaciones comerciales del cultivo de banano sobre la calidad del suelo. El sitio de estudio fue la Hacienda Italia (400 ha), Canton Balao, Guayas. Se utilizaron dos tratamientos: Plantación comercial de banano (T1) y Bosque sin perturbar (T2) para comparar la dinámica de las variables evaluadas. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, se evaluaron indicadores físicos, químicos y biológicos de los suelos e indicadores de productividad vegetal. Mediante un círculo de correlaciones y un análisis de coinerencia se obtuvieron las propiedades más sensibles al uso y el manejo del suelo de este sistema productivo. La mayoría de indicadores químicos no reflejaron el nivel de degradación provocado por el cultivo de banano excepto por el pH y la conductividad eléctrica. El alto grado de perturbación a la que es sometido el suelo en este sistema productivo provoca un aumento importante de la acidificación (limitante productiva más desfavorable), salinidad, deterioro de la estructura (pérdida de estabilidad estructural) y disminución de la actividad biológica. Los indicadores de la calidad del suelo sensibles determinados en esta investigación contribuyen al monitoreo, gestión y toma de decisiones en estos sistemas productivos.

**Palabras Clave:** degradación de suelo; indicador de calidad de suelo; propiedades químicas.

## Abstract

The intensive use of the edaphic environment in agricultural processes causes significant soil degradation, which promotes an accelerated decrease in productive potential and, therefore, a detriment to crop yields. In this sense, the objective of determining the incidence of commercial plantations of banana cultivation on soil quality was raised. The study site was Hacienda Italia (400 ha), Canton Balao, Guayas. Two treatments were used: Commercial banana plantation (T1) and Undisturbed forest (T2) to compare the dynamics of the variables evaluated. A completely randomized design with three replications was used, physical, chemical and biological soil indicators and plant productivity indicators were evaluated. Through a circle of correlations and a coincidence analysis, the most sensitive properties to the use and management of the soil of this

productive system were obtained. Most of the chemical indicators did not reflect the level of degradation caused by the banana crop except for pH and electrical conductivity. The high degree of disturbance to which the soil is subjected in this production system causes a significant increase in acidification (most unfavorable production limitation), salinity, deterioration of the structure (loss of structural stability) and decrease in biological activity. The sensitive soil quality indicators determined in this research contribute to monitoring, management and decision making in these productive systems.

**Keywords:** soil degradation; soil quality indicator; chemical properties.

## Resumo

O uso intensivo do ambiente edáfico nos processos agrícolas causa significativa degradação do solo, o que promove uma diminuição acelerada do potencial produtivo e, portanto, em detrimento da produtividade das culturas. Nesse sentido, levantou-se o objetivo de determinar a incidência de plantios comerciais de bananicultura na qualidade do solo. O local de estudo foi a Hacienda Italia (400 ha), Canton Balao, Guayas. Dois tratamentos foram utilizados: Plantação de banana comercial (T1) e Floresta não perturbada (T2) para comparar a dinâmica das variáveis avaliadas. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com três repetições, avaliando-se indicadores físicos, químicos e biológicos do solo e indicadores de produtividade das plantas. Através de um círculo de correlações e uma análise de coincidências, foram obtidas as propriedades mais sensíveis ao uso e manejo do solo deste sistema produtivo. A maioria dos indicadores químicos não refletiu o nível de degradação causado pela bananeira, exceto pH e condutividade elétrica. O alto grau de perturbação a que o solo está submetido neste sistema de produção provoca um aumento significativo da acidificação (limitação de produção mais desfavorável), salinidade, deterioração da estrutura (perda de estabilidade estrutural) e diminuição da atividade biológica. Os indicadores sensíveis de qualidade do solo determinados nesta pesquisa contribuem para o monitoramento, manejo e tomada de decisão nesses sistemas produtivos.

**Palavras-chave:** degradação do solo; indicador de qualidade do solo; propriedades químicas.

## Introducción

El suelo es un ecosistema vivo que sustenta a las plantas, animales y los humanos. Su conservación constituye un eje transversal para alcanzar ecosistemas sustentables y sostenibles (Lehmann et al., 2020).

Sin embargo, al suelo no se le da la importancia requerida debido a que los efectos negativos se observan en un largo periodo de tiempo y de manera paulatina. Las prácticas agrícolas provocan el 38.8% de la degradación de los suelos a nivel mundial, seguido del sobrepastoreo (38.3%), la deforestación (16.5%) y otros usos (6.4%) (Ortiz García et al., 2022).

Debido a esto, el incremento de la frontera agrícola es uno de los problemas principales a los que se enfrenta la humanidad; estudios realizados por Marengo et al. (2022) evidencian que la deforestación de ciertas regiones de la Amazonía provocaron un aumento de la temperatura, déficit de presión de vapor, frecuencia de días secos y disminución de la precipitación, la humedad y la evaporación, además de un retraso en el inicio de la estación húmeda.

El banano es uno de los cultivos de mayor producción mundial, cada año se exportan alrededor de 150 millones de toneladas entre todas las variedades; la variedad Cavendish es una de las principales con 50 millones de toneladas/año. Ecuador está entre los principales productores seguido por Filipinas, Guatemala, Costa Rica y Colombia (Bebber, 2022).

El cultivo comercial de banano constituye una práctica de degradación intensiva de los suelos, estudios realizados por Rondon et al. (2021a) demostraron una disminución de la estabilidad estructural del suelo y prevalencia de la fracción lábil de la materia orgánica, esto promueve el incremento de los procesos erosivos.

En Ecuador la producción de banano es el principal rubro de exportación agrícola, en el año 2021 según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) este cultivo ocupó una superficie plantada de 167893 ha y cosechada 164085 ha, la producción fue de 6684916 Tm. Las principales provincias productoras fueron: Los Ríos (33.91%), Guayas (27.61%) y El Oro (25.14%).

Esto implica que miles de hectáreas de suelo – principalmente de la Costa Ecuatoriana – están bajo procesos degradativos, por lo que es necesario conocer la dimensión en que se afectan las propiedades químicas, físicas y biológicas del medio edáfico.

En este estudio se planteó como objetivo determinar la incidencia de plantaciones comerciales del cultivo de banano sobre la calidad del suelo. Para ello se seleccionaron las propiedades que califican como indicadores, ya que reflejan en mejor medida el grado de perturbación y degradación.

- **Materiales y métodos**

- *Sitio de estudio*

La investigación se desarrolló en la Hacienda Italia, Cantón Balao, Provincia del Guayas (coordenadas 635273m, 9678253m WGS84 UTM 17S). Posee un área de 400 ha dedicadas al cultivo de banano comercial por más de 15 años. El suelo presenta una textura predominante de Franco – Arcilloso y la pendiente es muy suave (2.0 - 5.0%). Las condiciones agroclimáticas son las siguientes: temperatura media anual de 24°C a 26°C, precipitación anual de 1200 mm a 1500 mm, humedad relativa de 80% y heliofanía de 83,33 horas/luz/mes (Portilla, 2018).

- *Diseño experimental*

El experimento se efectuó mediante un diseño completamente al azar compuesto por dos tratamientos: Plantación comercial de banano (T1) y Bosque sin perturbar (T2) con tres repeticiones. Para cada repetición se realizó un muestreo compuesto por ocho submuestras de acuerdo al tipo de propiedad evaluada (física - química y biológica), para un total de 2 muestras compuestas por 16 submuestras. En total se hicieron 16 muestras compuestas por 128 submuestras para todo el experimento.

- *Muestreo de suelo y análisis de laboratorio*

Se ubicaron tres áreas representativas de La hacienda de 100 ha cada una, de ahí se definieron los puntos de muestreo el cual se realizó mediante un patrón de zigzag. Las muestras para los análisis químicos se tomaron realizando un hoyo de 50x50x50 y con una pala plana se extrajo una porción – previa eliminación de los bordes – de un lateral con un peso aproximado de un kg. Estas fueron sometidas al proceso de mezclado, cuarteado y etiquetado para ser enviadas al laboratorio, para las muestras biológicas se tomaron 500 g de muestra y se almacenaron en una hielera para ser procesadas en 24 horas como máximo. El procedimiento anteriormente descrito está de acorde a lo sugerido por el MAGAP (2020).

Se verificó la densidad de plantas (1.600 plantas/ha) y se identificaron 20 plantas en plena producción. Se le midió a cada planta los datos biométricos de productividad: circunferencia de la madre (tomada a 1 m de altura del nivel del suelo), altura del hijo (cm), peso del racimo y número de manos/racimo.

Las muestras de suelos fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la Estación Experimental Litoral Sur perteneciente al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

(INIAP) y en el laboratorio de Suelos-Plantas-Agua de la Universidad Agraria del Ecuador. Las variables evaluadas y los métodos utilizados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de calidad del suelo y productivos evaluados

<b>Indicadores</b>	<b>Método</b>
<b>Indicadores de las propiedades física</b>	
Estabilidad Estructural	Índice de Pieri (1995)
Factor estructura	Vageler y Alten (1931)
Descripción del perfil de la minicalicata	Descripción de minicalicata por el procedimiento del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Schoeneberger et al., 2012)
Color	Carta de colores de Munsell (Munsell Color (Firm), 2010)
Textura del suelo	Método de Bouyoucos (Soil Survey Staff, 2022)
<b>Indicadores de las propiedades químicas</b>	
Disponibilidad de N, P, K, Fe, Cu, Mn, Zn y Mg	Extracción con Mehlich 3 y determinación colorimétrica (Soil Survey Staff, 2022)
pH	pH en agua (1:2.5) (Soil Survey Staff, 2022)
Carbono orgánico total	Digestión húmeda (Walkley & Black, 1934)
Conductividad eléctrica	Conductimetría (Soil Survey Staff, 2022)
<b>Indicadores de las Propiedades Biológicas</b>	
Biomasa microbiana de carbono	Método de fumigación-extracción con cloroformo (Jenkinson & Powlson, 1976)
Respiración microbiana	Incubación en laboratorio, liberación y cuantificación de CO <sub>2</sub> (Alef & Nannipieri, 1995)
<b>Indicadores de Productividad (Determinados a las Plantas)</b>	
Circunferencia de la madre (pseudotallo)	Medición de la circunferencia del pseudotallo a 1 m del suelo
Altura del hijo	Medición del tamaño del hijo de sucesión
Número de manos/racimo	Conteo del número de manos producidas/racimo

- *Análisis estadístico*

Se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk y la homogeneidad de varianzas se comprobó con la prueba de Levene. La comparación de medias se realizó mediante la T de Student, el nivel de significación fue de 5% para todos los procedimientos estadísticos. Los datos fueron analizados en el programa R Studio (versión 2022.07.2) (RStudio Team, 2022).

Se realizó un análisis de CoInercia para evaluar las relaciones entre los indicadores físicos, químicos y biológicos (Dray et al., 2003). Se utilizó el test de Montecarlo para determinar su significancia; ambas pruebas estadísticas se ejecutaron con el paquete ADE4 versión 1.7-19 (Thioulouse et al., 2018), que se usó también para la realización de la matriz de correlación.

- **Resultados**

- *Indicadores químicos*

Los análisis de las propiedades químicas (Fig 1.) muestran que el contenido de N amoniacal fue de 11.67 ppm y de 11.33 ppm para los tratamientos T1 y T2 respectivamente, no se evidenció diferencia estadística. Este resultado fue inesperado debido a, que por la fertilización edáfica, se esperaba una mayor concentración de este elemento en el sistema convencional. La concentración de fósforo fue estadísticamente superior en el T1 (26.4ppm) versus T2(6.0 ppm). Este mismo comportamiento se reflejó en el contenido azufre T1 (33.60 ppm) y T2 (10.33 ppm), en el cinc T1 (7.28 ppm) y T2 (3.87 ppm), cobre T1 (31.68 ppm) y T2 (18.60 ppm), boro T1 (0.46 ppm) y T2 (0.20 ppm), potasio T1 (0.51 meq/100 ml) y T2 (0.19 meq/100 ml), calcio T1 (17.63 meq/100 ml) y T2 (7.93 meq/100 ml) y el magnesio T1 (2.90 meq/100 ml) y T2 (1.52 meq/100 ml). Por otra parte, el pH fue superior en T2 (5.83) respecto al T1 (5.39) y la conductividad eléctrica fue de 0.38 dS/m y 1.53 dS/m para T2 y T1 respectivamente. La mayoría de las variables químicas denotan un comportamiento a favor de la plantación comercial de banano, excepto por el pH y la conductividad eléctrica.

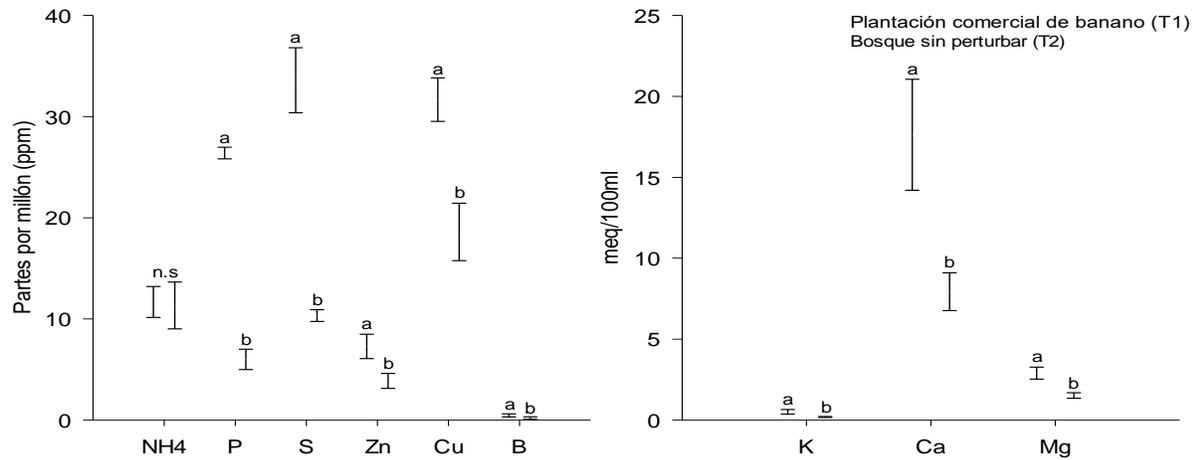


Fig 1. Resultados obtenidos de los indicadores químicos evaluados en los usos de suelo de Plantación comercial de banano y bosque sin perturbar.

Z: Letras distintas indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba t-Student ( $p= 0.05$ ).

• *Indicadores físicos*

En la Fig 2. se observan las propiedades físicas evaluadas, la estabilidad estructural fue estadísticamente superior en el T2 con un índice estructural de 13.26 respecto al T1 que obtuvo un valor de 10.56. En cuanto al factor estructura fue mayor también el T2 con 88.0% en relación al T1 que alcanzó el 71.6%. Lo anterior evidencia que el grado de perturbación del suelo causado por el sistema intensivo de la plantación comercial de banano influye de forma negativa en la calidad de las propiedades físicas. Esto promueve la degradación intensiva de los suelos y conlleva a un detrimento de los rendimientos agrícolas y la capacidad del suelo de mantener una producción sustentable.

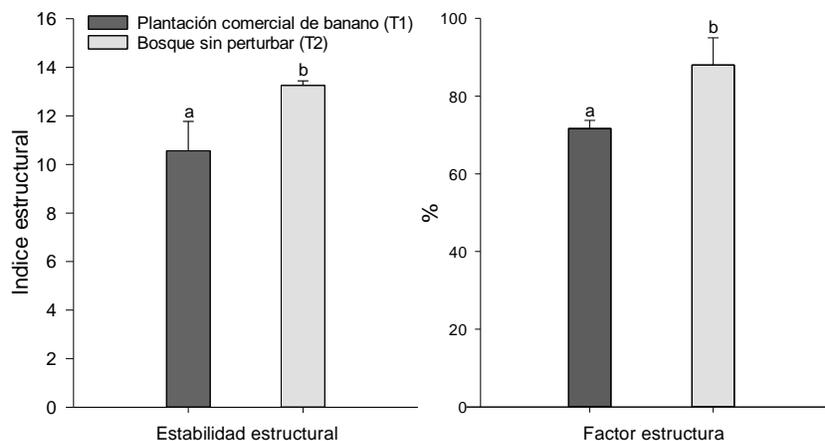


Fig 2. Resultados obtenidos de los indicadores físicos evaluados en los usos de suelo de Plantación comercial de banano y Bosque sin perturbar

Z: Letras distintas indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba t-Student ( $p= 0.05$ ).

Z: letras distintas indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba t-Student ( $p= 0.05$ ).

- *Indicadores biológicos*

En la Tabla 2. se muestran los indicadores biológicos, los niveles de materia orgánica fueron estadísticamente superiores en el T2 (2.45%) respecto al T1 (1.43%), la tendencia se repitió en la respiración microbiana la cual fue de 177.47 mg CO<sub>2</sub>. 100g suelo<sup>-1</sup> en el T2 versus 50.16 mg CO<sub>2</sub>. 100g suelo<sup>-1</sup> en el T1, lo mismo ocurrió para la cantidad de carbono en la biomasa microbiana T2 (526.31 μg C g<sup>-1</sup> suelo seco) y T1 (275.70 μg C g<sup>-1</sup> suelo seco), también la cantidad de nitrógeno en la biomasa microbiana fue superior en el T2 (57.70 μg N g<sup>-1</sup> suelo seco) versus T1 (34.25 μg N g<sup>-1</sup> suelo seco). Esto indica que los indicadores biológicos muestran una tendencia favorable en el sistema menos perturbado (T2).

Tabla 2. Resultados obtenidos de los indicadores biológicos evaluados los usos de suelo de Plantación comercial de banano y Bosque sin perturbar.

Uso de suelo	Materia Orgánica (%)	Respiración microbiana (mg CO <sub>2</sub> . 100g suelo <sup>-1</sup> )	CBM* (μg C g <sup>-1</sup> suelo seco)	NBM** (μg N g <sup>-1</sup> suelo seco)
Plantación comercial de banano (T1)	1.43 <sup>a</sup>	50.16 <sup>a</sup>	275.70 <sup>a</sup>	34.25 <sup>a</sup>
Bosque sin perturbar (T2)	2.45 <sup>b</sup>	177.47 <sup>b</sup>	526.31 <sup>b</sup>	57.70 <sup>b</sup>

Z: letras distintas en el sentido de las columnas indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba t-Student ( $p= 0.05$ ).

\* Cantidad de carbono en la biomasa microbiana

\*\* Cantidad de nitrógeno en la biomasa microbiana

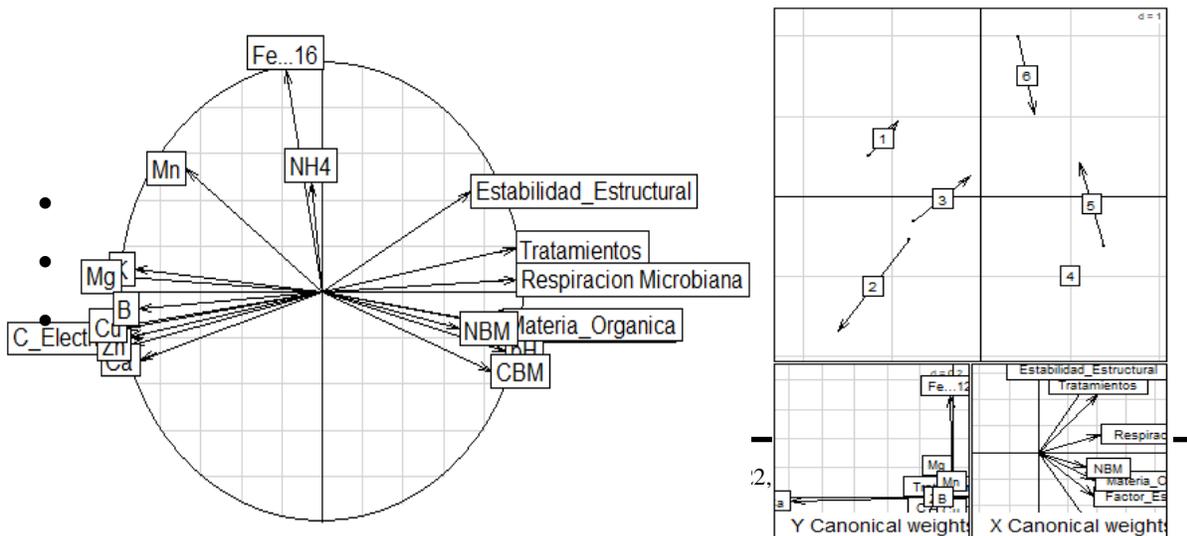
- *Indicadores de productividad*

En la Tabla 3. se muestran los indicadores de productividad evaluados, se determinó que la mayor circunferencia del pseudotallo la presentó el lote 2 con 106.63 cm, la mejor altura de hijo de sucesión la presentó el lote tres 179.81 cm, también tuvo el mayor peso del racimo con raquis con 35.17 kg, el peso del racimo sin raquis con 31,65 kg y el número de manos por racimo.

- Tabla 3. Promedio condensado indicadores de productividad

Lotes	Variables				
	Circunferencia del pseudotallo (cm)	Altura de hijo (cm)	Peso del racimo con raquis (kg)	Peso del racimo sin raquis (kg)	Manos/racimo (n)
1	105.05	182.55	34.65	31.19	6.35
2	<b>106.63</b>	210.84	<b>35.17</b>	<b>31.65</b>	<b>6.44</b>
3	103.47	<b>179.81</b>	34.13	30.72	6.25
4	<b>100.23</b>	207.68	<b>32.30</b>	<b>29.07</b>	<b>5.50</b>
<b>Promedio</b>	103,84	195.22	34.06	30.66	6.14

En la Fig. 3 se muestra el círculo de correlaciones y el análisis de coinercia el cual fue significativo mediante el Test de Montecarlo ( $p=0,03$ ;  $RV=0,768$ ) lo que indica que la co-estructura descrita para los ejes de CoInercia es cercana a las estructuras descritas en los análisis individuales. Se puede apreciar que en este análisis que las variables más sensibles fueron estabilidad estructural, respiración microbiana, materia orgánica, pH y biomasa microbiana. El T1 estuvo más relacionado con los indicadores químicos en contraste con el T2 que fue con los indicadores físicos y biológicos.



- 
- 
- Fig 3. Círculo de correlaciones y análisis de Coinercia

Resultados del análisis de CoInercia entre indicadores biológicos-físicos y químicos: a) plano factorial de CoInercia de los sitios de muestreo; b) y c) proyección de los vectores de indicadores químicos y de los indicadores biológicos-físicos y químicos en el plano factorial de CoInercia. 1, 2 y 3: Repeticiones de Plantación Comercial de Banano; 4, 5 y 6: Repeticiones de Bosque sin perturbar

La punta de la flecha representa la posición del uso de la tierra para los indicadores químicos y el otro extremo, para los indicadores biológicos-físicos, cuanto mayor es la flecha menor es la relación entre las variables ambientales y la densidad de la macrofauna.

- **Discusión**

El pH es considerado una de las propiedades más importante del suelo, refleja de una manera precisa el estado actual de los suelos, es por ello que constituyó una variable sensible en este estudio. Se evidenció que el sistema más perturbado favorece la acidificación, Wallace (1994) reportó que altos niveles de fertilizantes – principalmente los nitrogenados – favorecen este fenómeno. Por otra parte, un riego excesivo provoca el lavado de bases y aumenta la acumulación de cationes  $H^+$  (Haynes & Swift, 1986). El manejo de la irrigación en las bananeras comerciales es deficiente, normalmente, la norma de riego se basa en criterios empíricos y no en estudios técnicos, lo que conlleva a que exista un uso intensivo del agua (Marcillo et al., 2022). Esto – junto a suelos con excesivo drenaje- es una de las principales causas de la degradación del medio edáfico en este tipo de uso.

Otro indicador sensible fue la salinidad, aunque no se hallaron valores que afecten la productividad del cultivo de banano, si hubo una tendencia significativa al aumento en el suelo con mayor perturbación. El incremento de la conductividad eléctrica favorece la disminución de la disponibilidad de nutrientes, la actividad biológica, el agua útil, toxicidad por el cloro ( $Cl^-$ ), entre otros (Javed et al., 2022). El uso de aguas duras en el riego y fertilizantes con alto índice salino son de las causas más importantes en el incremento de la salinidad, estas prácticas se realizan de manera regular en las bananeras.

El resto de indicadores químicos de calidad del suelo evaluados en este estudio favorecieron a la Plantación comercial de banano, esto indica que no fueron sensibles al grado de perturbación. En

los sistemas convencionales de producción de banano -de manera general- reciben una fertilización edáfica química según la fase fisiológica del cultivo, ya que esto garantiza un alta productividad (Marie-Laure et al., 2021). Sin embargo, el nitrógeno amoniacal no mostró diferencia significativa entre los dos tratamientos, este elemento tiene una dinámica muy compleja en el suelo, incluso, algunos especialistas no recomiendan tomarlo en cuenta para establecer programas de nutrición. No obstante, estudios realizados por Zornoza et al. (2015) evidencian que el nitrógeno total si es un indicador sensible, hay que considerar que incluye las formas químicas y biológicas.

Todos los indicadores físicos evaluados fueron sensibles al grado de perturbación, se evidenció un deterioro significativo de la estabilidad estructural del suelo y del factor estructura, esto indica que el suelo ha perdido parte de su capacidad de contrarrestar el efecto erosivo del agua. Estudios a largo plazo realizados por da Silva et al. (2022) demuestran que el cultivo de banano provoca un aumento de la densidad aparente del suelo, disminución de los macroporos y microporos; además, un deterioro de la materia orgánica, la cual está en estrecha relación con las propiedades físicas. En este sentido Rondon et al. (2021b) determinaron que el contenido de carbono favorece la estabilidad estructural y la formación de macroagregados.

El contenido de materia orgánica de la plantación comercial de banano fue inferior en un 58% respecto al bosque sin perturbar, este resultado no concuerda con lo reportado por Guimarães et al. (2014) quienes reportaron un incremento de 14% de la fracción lábil. En el sitio de estudio se realiza de manera sistemática una labor que le llaman el “Herculizado”, la cual consiste en remover una fracción del suelo a una profundidad de 20-30 cm con una maquinaria diseñada para eso. Esto provoca un desmenuzamiento de los agregados del suelo que hace que aumente la aireación y el nivel de oxígeno, parece ser que con ello se acelera la mineralización y oxidación de la materia orgánica que conlleva a una disminución significativa de sus niveles (Zech et al., 1997).

La respiración y la biomasa microbiana fueron superiores en el bosque sin perturbar, esto indica un incremento de la actividad biológica y es algo positivo para el desarrollo de la vegetación natural y los cultivos, los resultados de la investigación coinciden con los de Chen et al. (2019), estos autores plantean que estos indicadores tienen valores elevados cuando es mas alta la riqueza de especies de plantas. Esto tiene concordancia con los resultados alcanzados, ya que en el T1 solo estuvo presente la especie del banano mientras que en el T2 existió mayor cantidad de especies. Se esperaba que en el T1 el grado de humedad tuviera algun efecto positivo pero resultados alcanzados por Qin et al. (2019) demostraron que este factor no era tan importante como lo es el tipo de suelo.

El análisis de Coinercia y el círculo de correlaciones permitió discriminar las variables menos sensibles y determinar los indicadores que mejor reflejan la perturbación del medio edáfico y por ende la calidad del suelo. Esto es interesante porque permite obtener los indicadores más representativos para cada uso y tipo de suelo (Lima et al., 2021; Velasquez & Lavelle, 2019).

- **Conclusiones**

La mayoría de los indicadores químicos no fueron sensibles al grado de perturbación del suelo, excepto por el pH y la conductividad eléctrica. Los indicadores físicos (estabilidad estructural y factor estructura) y los biológicos (materia orgánica, respiración y biomasa microbiana) reflejaron mejor el estado de degradación de los suelos. Las plantaciones comerciales de banano influyeron negativamente sobre la acidez del suelo, la salinidad, la estructura y el contenido de materia orgánica.

Las futuras investigaciones deben enfocarse en generar estrategias de producción de las plantaciones comerciales que minimicen la degradación del suelo y establecer indicadores de la calidad del suelo para llevar un monitoreo del estado y evolución del medio edáfico.

## Referencias

1. Alef, K., & Nannipieri, P. (Eds.). (1995). 5—Estimation of microbial activities. En *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry* (pp. 193-270). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012513840-6/50020-3>
2. Bebber, D. P. (2022). The long road to a sustainable banana trade. *Plants People Planet*, n/a(n/a), 1-10. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10331>
3. Chen, C., Chen, H. Y. H., Chen, X., & Huang, Z. (2019). Meta-analysis shows positive effects of plant diversity on microbial biomass and respiration. *Nature Communications*, 10(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09258-y>
4. da Silva, R. B., Rosa, J. S., Packer, A. P., Bento, C. B., & de Melo Silva, F. A. (2022). A soil quality physical–chemical approach 30 years after land-use change from forest to

- banana plantation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), 482. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10167-9>
5. Dray, S., Chessel, D., & Thioulouse, J. (2003). Co-Inertia Analysis and the Linking of Ecological Data Tables. *Ecology*, 84(11), 3078-3089. <https://doi.org/10.1890/03-0178>
  6. Guimarães, D. V., Gonzaga, M. I. S., & Melo, J. (2014). Management of soil organic matter and carbon storage in tropical fruit crops. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 301-306.
  7. Haynes, R. J., & Swift, R. S. (1986). Effects of soil acidification and subsequent leaching on levels of extractable nutrients in a soil. *Plant and Soil*, 95(3), 327-336. <https://doi.org/10.1007/BF02374613>
  8. Javed, S. A., Shahzad, S. M., Ashraf, M., Kausar, R., Arif, M. S., Albasher, G., Rizwana, H., & Shakoor, A. (2022). Interactive effect of different salinity sources and their formulations on plant growth, ionic homeostasis and seed quality of maize. *Chemosphere*, 291, 132678. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132678>
  9. Jenkinson, D. S., & Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8(3), 209-213. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
  10. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), Art. 10. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
  11. Lima, S. S. de, Biassi, D., Ferreira, C. dos S., Matos, P. S., Rocha, L. V., Pereira, M. G., & Zonta, E. (2021). Epigeal fauna and soil attributes in a cover-cropped organic vegetable system. *Ciência Rural*, 51. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200842>
  12. Marcillo, J. L. M., Meza, A. C. V., Gonzáles, B., & Arévalo, M. C. (2022). Hydrological degradation due to the effect of banana and cocoa monocultures in the canton of Valencia, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 12(3), Art. 3. [http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/investigacion\\_y\\_saberes/article/view/184](http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/investigacion_y_saberes/article/view/184)

13. Marengo, J. A., Jimenez, J. C., Espinoza, J.-C., Cunha, A. P., & Aragão, L. E. O. (2022). Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. *Scientific Reports*, 12(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>
14. Marie-Laure, T. L. T. G., Nestor, K. K., Adelaïde, N., Kimou, A. G. J. O., Georges, A. N., & Françoise, K. A. (2021). Influence of Nitrogen-Potassium Fertilizers on the Growth and the Productivity Parameters of Plantain Banana PITA 3, FHIA 21 and CORNE 1. *Agricultural Sciences*, 12(7), Art. 7. <https://doi.org/10.4236/as.2021.127051>
15. Munsell Color (Firm). (2010). Munsell soil color charts: With genuine Munsell color chips. 2009 year revised. Grand Rapids, MI: Munsell Color, 2010. <https://search.library.wisc.edu/catalog/9910109259802121>
16. Ortiz García, S., Saynes Santillan, V., Bunge Vivier, V., Anglés-Hernández, M., Pérez, M. E., & Prado, B. (2022). Soil governance and sustainable agriculture in Mexico. *Soil Security*, 7, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100059>
17. Pieri, C. (1995). Long term soil management experiments in semiarid francophone Africa (Afrique francophone) [Book\_section]. *Soil Management. Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality = [Gestion Du Sol. Base Expérimentale Pour Une Durabilité et Une Qualité de l'environnement]*, CRC Press. <https://agritrop.cirad.fr/387515/>
18. Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Editorial Universitaria Abya-Yala.
19. Qin, K., Dong, X., Jifon, J., & Leskovar, D. I. (2019). Rhizosphere microbial biomass is affected by soil type, organic and water inputs in a bell pepper system. *Applied Soil Ecology*, 138, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.024>
20. Rondon, T., Hernandez, R. M., & Guzman, M. (2021a). Soil organic carbon, physical fractions of the macro-organic matter, and soil stability relationship in lacustrine soils under banana crop. *PLOS ONE*, 16(7), e0254121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254121>

21. Rondon, T., Hernandez, R. M., & Guzman, M. (2021b). Soil organic carbon, physical fractions of the macro-organic matter, and soil stability relationship in lacustrine soils under banana crop. *PLOS ONE*, 16(7), e0254121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254121>
22. RStudio Team. (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, Inc. <http://www.rstudio.com/>
23. Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Soil Survey Staff. (2012). Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_052523.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052523.pdf)
24. Soil Survey Staff. (2022). Kellogg Soil Survey Laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 6.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <https://nrcs.app.box.com/s/fgrv9vdiiwrymtemw3ns8ocsdz7n5q3q/file/998358972771>
25. Thioulouse, J., Dray, S., Dufour, A.-B., Siberchicot, A., Jombart, T., & Pavoine, S. (2018). *Multivariate Analysis of Ecological Data with ade4*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8850-1>
26. Vageler, P., & Alten, F. (1931). Böden des Nil und Gash. I. Ein Beitrag zur Kenntnis arider Irrigationsböden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 21(1), 47-57.
27. Velasquez, E., & Lavelle, P. (2019). Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica*, 100, 103446. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>
28. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). AN EXAMINATION OF THE DEGTJAREFF METHOD FOR DETERMINING SOIL ORGANIC MATTER, AND A PROPOSED MODIFICATION OF THE CHROMIC ACID TITRATION METHOD. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
29. Wallace, A. (1994). Soil acidification from use of too much fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25(1-2), 87-92. <https://doi.org/10.1080/00103629409369010>

30. Zech, W., Senesi, N., Guggenberger, G., Kaiser, K., Lehmann, J., Miano, T. M., Miltner, A., & Schroth, G. (1997). Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79(1), 117-161. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00040-2)
31. Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *SOIL*, 1(1), 173-185. <https://doi.org/10.5194/soil-1-173-2015>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).