



## MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

### Monitoreo del suelo de áreas sembradas con maíz híbrido y su refugio en Calimete, Matanzas.

*Soil monitoring of areas planted with hybrid corn and its refuge in Calimete, Matanzas.*

*Monitoramento de solo de áreas plantadas com milho híbrido e seu refúgio em Calimete, Matanzas.*

**Odette Beiro Castro**

Centro Nacional de Toxicología, Cuba  
[odettebeiro1968@gmail.com](mailto:odettebeiro1968@gmail.com)

Yordanka Domínguez Linares, Ana Cristina Noa Rodríguez, Yanet Valdés Collado

Artículo científico

Recibido: 21/05/2024

Aceptado: 10/10/2024

Publicado: 18/10/2024

### RESUMEN

En Cuba se implementa un Sistema para el Monitoreo y Vigilancia de efectos adversos de cultivos modificados genéticamente. Una de las herramientas para tales fines es el monitoreo caso específico, que permite verificar los resultados de la Estimación de Riesgo Ambiental o llenar los vacíos en la misma. El compartimento del suelo, y en particular su microfauna, constituyen metas de protección por su importancia en la sostenibilidad y funcionalidad de los agroecosistemas. La investigación tuvo como objetivo establecer una línea base del suelo en un área sembrada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio. Se seleccionó la Empresa Azucarera Jesús Sablón Moreno, ubicada en el municipio Calimete, provincia Matanzas. Se monitoreó el suelo de dos áreas, una sembrada con el híbrido y otra con el refugio; en ambas se investigaron la fauna asociada, porcentaje de retención de agua, pH y la actividad de la comunidad microbiana a través de su respiración. Los resultados obtenidos permitieron establecer las características físicas, químicas y biológicas para evaluar el impacto de este cultivo en el suelo. Se estableció la línea base en el área muestreada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio.

**Palabras clave:** características físicas-químicas y biológicas, cultivo genéticamente modificado, sistema de monitoreo y vigilancia

### ABSTRACT

In Cuba, a system for monitoring and surveillance of adverse effects of genetically modified crops is being implemented. One of the tools for such purposes is case-specific monitoring, which allows verifying the results of the Environmental Risk Estimation or filling the gaps in it. The soil compartment, and particularly its microfauna, constitute protection targets due to their importance in the sustainability and functionality of agroecosystems. The objective of the research was to establish a soil baseline in an area planted with hybrid corn (MIR162 X TC1507) and its refuge. The Jesús Sablón Moreno Sugar Company, located in the Calimete municipality, Matanzas province, was selected. The soil of two areas was monitored, one planted with the hybrid and another with the refuge; in both, the associated fauna, water retention percentage, pH and the activity of the microbial community through its respiration were investigated. The results obtained allowed establishing physical, chemical and biological characteristics to evaluate the impact of this crop on

the soil. The baseline was established in the sampled area with hybrid corn (MIR162 X TC1507) and its refuge.

**Keywords:** genetically modified crops, monitoring and surveillance system, physical-chemical and biological characteristics

## RESUMO

Em Cuba, está implementado um Sistema de Monitorização e Vigilância dos efeitos adversos das culturas geneticamente modificadas. Uma das ferramentas para tais fins é o monitoramento caso-específico, que permite verificar os resultados da Estimativa de Risco Ambiental ou preencher lacunas na mesma. O compartimento solo, e em particular a sua microfauna, constituem objetivos de proteção devido à sua importância na sustentabilidade e funcionalidade dos agroecossistemas. O objetivo da pesquisa foi estabelecer uma linha de base do solo em uma área plantada com milho híbrido (MIR162 X TC1507) e seu refúgio. Foi selecionada a Companhia Açucareira Jesús Sablón Moreno, localizada no município de Calimete, província de Matanzas. Foi monitorado o solo de duas áreas, uma plantada com o híbrido e outra com o refúgio. Em ambos foram investigados a fauna associada, percentual de retenção de água, pH e atividade da comunidade microbiana através de sua respiração. Os resultados obtidos permitiram estabelecer as características físicas, químicas e biológicas para avaliar o impacto desta cultura no solo. A linha de base foi estabelecida na área amostrada com milho híbrido (MIR162 X TC1507) e seu refúgio.

**Palavras chave:** características físico-químicas e biológicas, cultivo genético modificado, sistema de monitoramento e vigilância

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la población ha impuesto un reto a la agricultura, que debe mantener un nivel de producción satisfactorio, a pesar de los riesgos climáticos y posibles plagas (Zapata y Eliécer, 2021). Una de las alternativas para enfrentar el reto es la aplicación de la biotecnología a la producción de alimentos. Dentro de los resultados obtenidos a través de la biotecnología se encuentran los organismos genéticamente modificados (OGM), en los que se destacan las plantas transgénicas por su mayor fortaleza y comercialización. La producción de este tipo de organismos se ha tornado masiva, lo que en consecuencia implica que su consumo haya adquirido semejantes proporciones (Gallardo, 2020).

Las plantas transgénicas han suscitado un amplio debate internacional, no exento de pasiones ni de intereses económicos tanto de los defensores como de sus detractores. Los efectos negativos pueden ser económicos, sociales, ecológicos y para la salud humana. Por ello la estimación de riesgo adquiere especial connotación y dentro de ella, los estudios de impacto ambiental, ya que contribuyen al uso racional de los transgénicos al esclarecer las consecuencias derivadas de su liberación a los ecosistemas (Oviedo-Bolaños *et al*, 2020; O´Farril, 2021).

El monitoreo ambiental posterior al registro de los cultivos genéticamente modificados (CGM) garantiza la detección y prevención de efectos sobre el ambiente que se deriven del cultivo a mayor escala; es una herramienta para abordar la incertidumbre asociada con la ingeniería genética aplicada a los cultivos que, empleado y regulado de forma adecuada, puede contribuir a reducir la inseguridad alimentaria presente y futura. El Monitoreo Ambiental Post Comercialización (PMEM, del inglés *post market environmental monitoring*) permite confirmar que las suposiciones en la estimación de riesgo ambiental respecto a la ocurrencia del impacto potencial de efectos adversos de un OGM son correctas e identificar la presencia de efectos adversos relacionados con su uso tanto para la salud

humana como para los ecosistemas que no fueron anticipados en la estimación de riesgo (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2023).

Para cumplir con su propósito, el PMEM emplea como herramientas el monitoreo caso específico (MCS, del inglés *Monitoring Case Specific*) y la vigilancia general (GS, del inglés *General Surveillance*). El MCS se requiere para verificar la estimación de riesgo ambiental; mientras que la GS para identificar los efectos no anticipados. Desde su surgimiento el PMEM ha tenido naturaleza dinámica en su enfoque (Berthol et al., 2020).

En Cuba se han desarrollado y liberado al ambiente variedades de maíz y soya transgénicas que deben monitorearse (Padrón y Extremera, 2020), para lo cual se confecciona un Sistema de Vigilancia Ecotoxicológica (SVE) como parte de un proyecto internacional del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) *Creación de capacidades adicionales en bioseguridad para la implementación del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología en Cuba*, coordinado por la Oficina de Seguridad Ambiental (ORSA), en el que entre otros aspectos se determinan los efectos adversos de los CGM que se liberan al ambiente.

En los agroecosistemas el componente natural y seminatural está representado por fragmentos incluidos en una matriz de suelo destinado a la agricultura (Chiglione, 2021). El suelo y la microfauna de este constituyen metas de protección por su importancia en la sostenibilidad y funcionalidad de los agroecosistemas. Para determinar los efectos adversos de los CGM en los suelos de los agroecosistemas donde se liberen, es necesario generar una línea base que sirva de marco de referencia cualitativo y cuantitativo para poder monitorear, dar seguimiento y evaluar los resultados, impactos y cambios a nivel biofísico, socioeconómico y ecológico, relacionados con la implementación de actividades de un plan, programa o proyecto (Rivero *et al*, 2021). La investigación tuvo como objetivo establecer una línea base del suelo en un área sembrada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

Se seleccionó en el municipio Calimete, provincia Matanzas, la finca de semillas de la Empresa Azucarera Jesús Sablón Moreno, ubicada en el camino que comunica la cabecera municipal con la Empresa y con asentamientos humanos a dos y tres kilómetros de distancia. Se aplicó como técnica de investigación la entrevista, para intercambiar información respecto a las características, rotación de cultivos, paquetes tecnológicos, manejo integrado de plagas y estudios de monitoreo previos. En la Empresa se contaba con un área de 20 hectáreas destinada para la producción de maíz (*Zea mays* L.) híbrido, que porta los eventos de transformación genética MIR162 y TC1507.

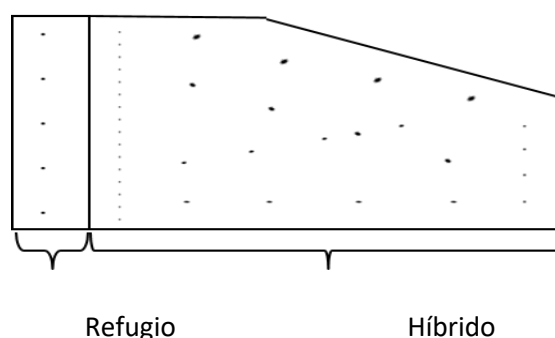
### **Estructura del plan de muestreo**

El área seleccionada no había sido estudiada con anterioridad, por lo que se determinó que el suelo es de tipo ferralítico y el relieve llano, lo que lo hace no ser proclive a inundaciones. El agua de riego proviene de pozos, sin cercanía de espejos de aguas, áreas protegidas ni apiarios. Dos días previos al muestro llovió en la zona.

## Procedimiento del muestreo

Se utilizó un muestreo de identificación para investigar las propiedades del suelo y su biología a través de la obtención de muestras representativas. El muestreo se realizó a la semana de la siembra del maíz, el área tenía forma rectangular, con dos zonas: una de refugio con maíz convencional y una superficie de 500 m y la otra de 20 hectáreas con el híbrido de maíz transgénico (MIR162 X TC1507). A partir de lo propuesto en la Guía para el Muestreo de Suelos (Ministerio del Ambiente, 2014) se muestrearon cinco puntos en el refugio y 36 en la zona sembrada con el híbrido, como se muestra en la figura 1.

**Figura 1.** Esquema del área a muestrear y distribución de los puntos para la toma de muestras para las zonas refugio y sembrada con el híbrido.



**Nota:** La zona representada como refugio está sembrada con maíz convencional y la otra con el híbrido de maíz transgénico (MIR162 X TC1507).

**Fuente:** Elaboración propia.

Se tomaron 41 puntos de muestreo, mediante el empleo de palas, cada punto con un área de 25x25x20 cm. Las muestras provenientes de ambas zonas se ubicaron en bolsas limpias, se llenaron con aproximadamente 5 kg de suelo, hasta un tercio de su capacidad, lo que permitió un espacio y niveles de oxígeno adecuados para la fauna del suelo, se cerraron herméticamente e identificaron mediante etiqueta con el código, fecha y hora de la toma de la muestra (MINAM, 2014). Las muestras de suelo se homogenizaron y se trasladaron al laboratorio de la Subdirección de Evaluaciones Toxicológicas y Medio Ambiente (SETMA) del Centro Nacional de Toxicología (CENATOX).

### Parámetros físico - químicos:

**Determinación de pH:** De las muestras de suelo provenientes de ambas zonas se pesó 1 g de suelo en la balanza, las cuales se enrazaron a 99 mL de agua destilada, se agitaron y dejaron reposar, luego se utilizó el pHmetro marca InoLab para determinar la concentración de iones hidrógeno presentes en las disoluciones.

**Determinación del porcentaje de retención de agua:** En la balanza Sartorius se pesaron 400 g de sustrato en pesafiltros hasta alcanzar valores de peso constantes, luego se ubicaron los mismos en recipientes con agua para humedecer la superficie por capilaridad en incubadora marca Memmert HCP 50, a temperatura de 60 C°, con posterioridad se escurrieron y pesaron los recipientes (Tello *et al.*, 2015).

### **Caracterización biológica:**

**Fauna asociada:** Las muestras de ambas zonas se tamizaron, inmediatamente se examinaron visualmente para coleccionar la fauna asociada que se observó al estereomicroscopio marca Óptica SFX-910, para su clasificación y cuantificación.

**Cuantificación microbiana:** Se analizó la cuantificación de la comunidad microbiana (hongos y bacterias) al inicio y a los 15 días del estudio. Se utilizaron tres grupos experimentales: el humus de lombriz (proveniente de la SETMA del CENATOX), que garantizó la carga microbiana y las muestras procedentes de la zona refugio y de la sembrada con el híbrido. En el flujo laminar *Clear Line* se prepararon los medios de cultivos *Agar Papas* para hongos y Nutritivo para bacterias, se sembró en la Cabina de Seguridad Biológica BH-EN 2004 placas y procedió a la incubación. Para el caso de las bacterias se incubó en la incubadora marca Sakura a 28 °C durante 72 h y se contaron las colonias cada 24 h. En el caso de los hongos se incubaron a 30 °C a por siete días en incubadora marca Memmert HCP 50 y se cuantificaron las colonias a partir de las 48 h (Muñoz et al., 2016).

**Respiración microbiana:** El ensayo se desarrolló según lo establecido en la guía número 850.3200 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés). Los grupos experimentales fueron: humus de lombriz (de la procedencia referida con anterioridad) y los expuestos a las muestras de suelo originarias del refugio y de la zona sembrada con el híbrido; en estos últimos con glucosa para estimular la actividad microbiana. El sistema fue estático y en condiciones de oscuridad. La exposición ocurrió desde el inicio, mediante el contacto e ingestión del sustrato constituido por muestras de suelo provenientes de áreas en las que se cultivó el OGM o humus de lombriz. La duración del estudio fue de 28 días, se evaluó la emisión de CO<sub>2</sub> de la comunidad microbiana a las 24 h y los días cinco, 15 y 28 (EPA, 2012).

### **Procesamiento estadístico:**

Para el procesamiento de los datos se empleó el programa estadístico SPSS versión 22. Se aplicaron las pruebas de normalidad (Shapiro Will) y homogeneidad de varianza (estadístico de Levene); así como los test estadísticos paramétricos Dunnett; en el caso de las variables que no cumplieran con los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

## **RESULTADOS**

### **Parámetros físico - químicos:**

#### **Determinación de pH:**

Se determinaron los valores de pH de ambas zonas, los cuales alcanzaron valores básicos de 8.24 y 8.15 para el refugio y para la zona proveniente del híbrido, respectivamente; cifras que se encuentran en el rango del pH en los suelos cultivados, que varía entre 4.5 y 8.5.

#### **Determinación del porcentaje de retención de agua:**

La humedad de los suelos provenientes de ambas zonas se comportó similar, la humedad inherente alcanzó valores de 18.58 y 19 para los respectivos refugio e híbrido, de igual manera la máxima capacidad fue de 123.43 y 124.67.

### Caracterización biológica:

#### Fauna asociada:

En el análisis visual de las muestras se observó una lombriz en la muestra proveniente del refugio mientras que en la originaria de la zona con el híbrido se cuantificaron 10 lombrices y un escarabajo.

#### Cuantificación microbiana:

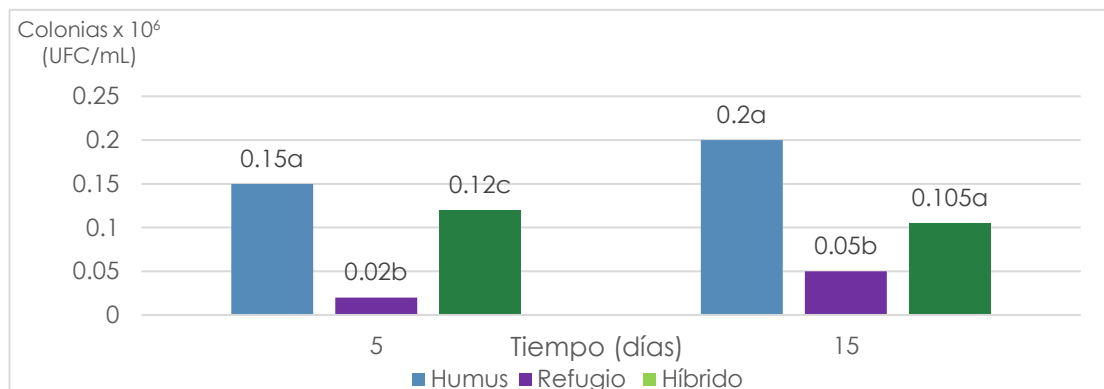
Se cuantificó la contribución en la carga microbiana de los suelos de hongos y bacterias, comportamientos que se observan en las figuras 2 y 3 respectivamente.

Al inicio del estudio existieron diferencias en la cantidad de colonias de hongos entre los grupos analizados al aplicar la prueba paramétrica de Dunnett ( $p < 0.05$ ), los mayores niveles se alcanzaron en el humus, asociado con la alta carga microbiana que presenta este sustrato. Tras quince días de incubación de los suelos se apreció un incremento de las colonias fúngicas en todos los grupos, aunque solo se apreciaron diferencias significativas entre el humus y el refugio ( $p < 0.05$ ).

Las bacterias mostraron un comportamiento similar respecto a los hongos al diferir las unidades formadoras de colonias en todos los grupos en la primera cuantificación, cuando se empleó la prueba paramétrica de Dunnett ( $p < 0.05$ ). Al final del proceso de incubación se constató una disminución de la densidad bacteriana sin diferencias estadísticas.

En términos absolutos se constató un predominio de las poblaciones de bacterias por encima de las de hongos como ha sido reportado en otros suelos agrícolas (Olvera, 2024).

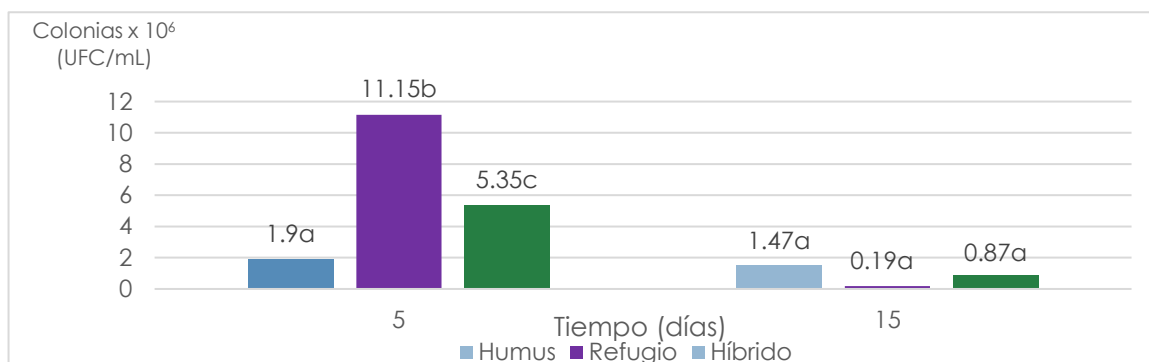
**Figura 2.** Comportamiento de los hongos en la cuantificación microbiana durante el estudio.



**Nota:** Los sustratos utilizados fueron humus de lombriz de tierra y suelos provenientes de zonas sembradas con maíz: convencional (refugio) e híbrido transgénico (MIR162 X TC1507) (híbrido). Las letras distintas corresponden a diferencias significativas  $p < 0.05$ .

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.** Comportamiento de las bacterias en la cuantificación microbiana durante el estudio.



**Nota:** Los sustratos utilizados fueron humus de lombriz de tierra y suelos provenientes de zonas sembradas con maíz: convencional (refugio) e híbrido transgénico (MIR162 X TC1507) (híbrido). Las letras distintas corresponden a diferencias significativas  $p < 0.05$ .

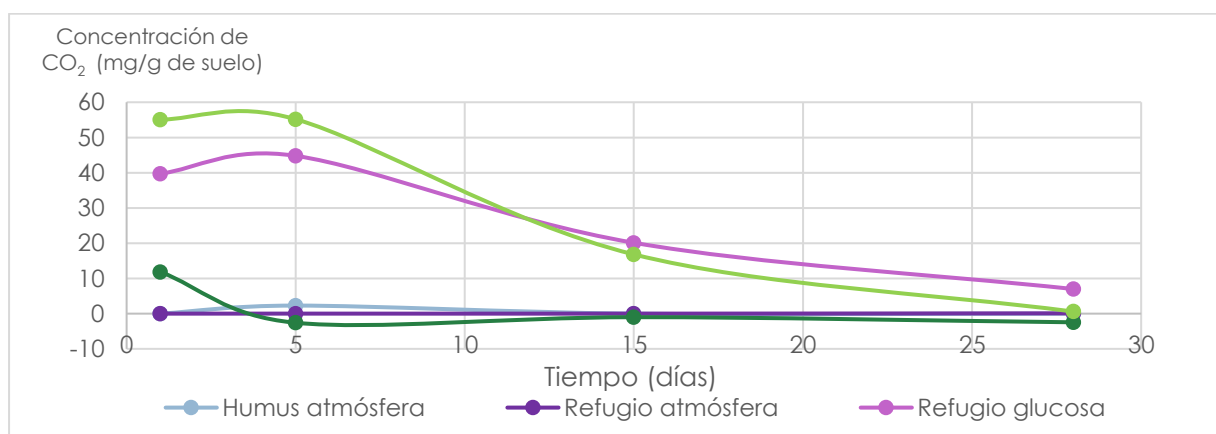
**Fuente:** Elaboración propia.

### Respiración microbiana:

Finalizado el estudio se determinaron los valores de pH en los diferentes grupos experimentales, los cuales fueron de 8.32, 8.52, 8.32, 8.10 y 8.26 para los grupos humus, refugio atmósfera, refugio glucosa, híbrido atmósfera e híbrido glucosa, respectivamente.

En la figura 4 se refleja la respiración microbiana que demostró que los niveles de  $\text{CO}_2$  al comenzar el estudio en los grupos con glucosa resultaron diferentes del resto de los grupos, al presentar valores superiores de emisiones de  $\text{CO}_2$ ; comportamiento que se le atribuye a la presencia de glucosa en los mismos que estimula la actividad microbiana. Al final del estudio las diferencias se establecieron entre el grupo refugio suplementado con glucosa y el resto de los grupos. Para el análisis de esta variable se aplicó el método no paramétrico Kruskal Wallis ( $p < 0.05$ ).

**Figura 4.** Comportamiento de la respiración microbiana durante el estudio.



**Nota:** Los sustratos utilizados fueron humus de lombriz de tierra y suelos provenientes de zonas sembradas con maíz: convencional (refugio) e híbrido transgénico (MIR162 X TC1507) (híbrido). Los grupos atmósfera no tienen estimulación de la actividad microbiana mientras que aquellos con glucosa sí. Las letras distintas corresponden a diferencias significativas  $p < 0.05$ .

**Fuente:** Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

El conocimiento de una línea base refleja las condiciones en las que se encuentran los suelos agrícolas previos al desarrollo de los CGM. La selección de indicadores como: propiedades físico - químicas del suelo y biodiversidad de la micro y macrofauna asociada, permiten establecer un marco de referencia para analizar, monitorear y evaluar los impactos asociados a la liberación de estos cultivos.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos, el pH condiciona gran cantidad de acciones en el suelo afectando a las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Su comprensión permite conocer el efecto sobre dichas propiedades, así como sobre la disponibilidad de nutrientes. Las plantas cultivadas presentan en general mejor desarrollo a valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más disponibles y en un equilibrio más adecuado. Valores entre 7.5 y 8.5 dificultan el desarrollo de cultivos exigentes (Soto y Desamparados, 2018).

El pH también incide en la actividad biológica del suelo, en la literatura se plantea que en suelos neutros o ligeramente básicos el número de microorganismos es superior y son más activos. Se conoce que este parámetro influye en procesos microbianos como la nitrificación, la que se anula en pH superiores a 9. Este parámetro se considera como un factor limitante para la actividad microbiana en valores inferiores a 4 o superiores a 8.5 EPA (2012). En las muestras analizadas el pH presentó valores que no afectaron la actividad microbiana, lo que se comprobó con la cuantificación de hongos, bacterias y la determinación indirecta de su actividad a través de la respiración (Peña *et al.*, 2021).

El contenido de humedad del suelo es una parte primordial para los componentes vitales y afecta las propiedades mecánicas del suelo, tales como: la consistencia, la compatibilidad, el agrietamiento, la expansión, la contracción y la densidad real. Se puede evidenciar de una manera clara que, a porcentajes de humedad bajos, la actividad microbiana es menor (Caicedo *et al.*, 2021).

Las muestras de suelos tenían porcentajes de humedad similares, durante el estudio se ajustó la humedad al 12%, valor reconocido por las agencias como óptimo para la comunidad microbiana EPA (2012).

La baja proporción de fauna asociada a los suelos se relaciona con que provienen de áreas agrícolas generalmente caracterizados por bajos niveles de materia orgánica, expuestos al uso de fertilizantes y plaguicidas, al laboreo y las precipitaciones acontecidas en los días previos al muestreo; resultados que coinciden con los reportados por otros autores, quienes han comunicado la poca presencia de organismos de la macrobiota del suelo en tierras agrícolas empleadas en cultivos de ciclo corto, las cuales durante la preparación del suelo exponen a estos organismos a la presencia de depredadores e indican que la macrofauna del suelo incluye los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro, así como que su riqueza taxonómica, densidad, biomasa y composición funcional cambian en dependencia de los usos y manejos de la tierra (Olvera, 2024; Aseeva *et al.*, 2021). Otros autores han reportado pérdida de la biodiversidad en suelos sometidos a la agricultura intensiva (Barros-Rodríguez *et al.*, 2021).

Como indicador biológico del suelo, la macro y mesofauna edáfica deben estar relacionadas con los atributos físicos y químicos del suelo, que a la vez manifiestan la productividad del ecosistema (Insfrán *et al.*, 2023).

Dentro de la macrofauna edáfica se encuentran las lombrices de tierra, las cuales son afectadas por factores como el clima, alimentación, humedad, textura y condiciones químicas del suelo; por lo que estas manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Hanke *et al.*, 2024). Organismos detritívoros, como algunos coleópteros (escarabajos), pueden indicar el estado



de perturbación en el medio edáfico por la sensibilidad a los cambios físicos y químicos del suelo, así como a las variaciones bruscas de temperatura y humedad en sus hábitats. Por su parte las hormigas son organismos con mayor capacidad de sobrevivir en suelos agrícolas, a pesar de las alteraciones de su medio, lo que le permite una alta prevalencia en abundancia y resistencia con algún nivel de intervención antrópica (Zerbino *et al.*, 2008). Estos resultados coinciden con los reportados en esta investigación.

Cabrera-Mireles y colaboradores (2019) determinaron la presencia de la macro y mesofauna en diferentes profundidades y épocas del año. En igual época del año que la que se realizó el muestreo, encontrando que el suelo con vegetación nativa presentó mayor abundancia de hormigas en la capa superior (0 - 15 cm) y de lombrices de tierra en la capa inferior (15 - 30 cm); mientras que en el suelo con pasto los escarabajos abundaron más en la dos profundidades y las lombrices en la capa superior.

Dentro de la caracterización biológica, la cuantificación de hongos y bacterias mostró diferencias en un primer momento en ambas zonas de muestreo, atribuibles al empleo de fertilizantes orgánicos previo a la siembra, que aportan la materia necesaria para el metabolismo de los microorganismos del suelo (Marois *et al.*, 2023). Las respuestas a las enmiendas orgánicas modifican parámetros químicos y biológicos del suelo como describiera Duran en 2023, ya que constituyen materia prima sobre la cual intervienen los organismos edáficos desechando sustancias húmicas que contribuyen en mejorar las propiedades físico - químicas del suelo y liberando elementos minerales que aseguran la nutrición de las plantas y microorganismos edáficos. Por otra parte, los aportes orgánicos posibilitan el crecimiento de la comunidad microbiana con los beneficios asociados a esta (Duran, 2023; Nabi, 2023).

En el segundo periodo de la cuantificación, los hongos tuvieron una mayor contribución a la carga microbiana que al inicio del estudio no así las bacterias, aunque el aporte de las últimas siempre fue superior respecto a los hongos (Soto-Valenzuela *et al.*, 2024). La manera en que aumentan los valores de hongos entre una y otra determinación se debe a que estos microorganismos necesitan de mayor tiempo para su establecimiento.

Las bacterias en el suelo desempeñan un papel clave en la regulación de la dinámica del carbono terrestre, los ciclos de nutrientes y la productividad de las plantas. Sin embargo, la distribución y el rol que cumplen en los diferentes suelos permanecen en gran parte sin conocerse. Estudios previos indican que unos pocos grupos de bacterias son dominantes en la mayor parte de los suelos del mundo, bajo agricultura y en ambientes naturales. Además, la mitad de las comunidades bacterianas en suelos de todo el mundo están representadas por solo un 2% de las especies conocidas (Martínez y Escalante, 2020).

Las comunidades fúngicas del suelo son esenciales para la retención de nutrientes (lixiviación de N y pérdidas de N<sub>2</sub>O), dado que proporcionan rutas de transporte y reciclaje de C; asimismo, estos especímenes son más resistentes a las perturbaciones del cambio climático (como la sequía) que sus contrapartes de manejo intensivo dominado por bacterias. El incremento de la proporción hongos - bacterias en el suelo se ha relacionado con el aumento del C y por ende con la proporción C: N (Chandrakasan *et al.*, 2024).

En el estudio para el establecimiento de la línea base del suelo, la cuantificación de bacterias y hongos constituye un elemento clave en los indicadores biológicos por la importancia de los procesos en los que estos intervienen (Barragan-Soriano, 2022).

Los procesos microbianos son indicadores tempranos de la calidad del suelo y pueden anticipar su estado antes que los parámetros físicos o químicos. Entre estos procesos microbianos la respiración

edáfica ha sido reconocida como uno de los parámetros más sensibles entre distintos parámetros microbiológicos (Rosabal *et al.*, 2021; Gutiérrez-Soto *et al.*, 2024).

Dentro de la determinación de la línea base la respiración del suelo adquiere gran connotación ya que se conoce que difiere entre los agroecosistemas por lo que se requiere su medición frecuente para la comprensión de su dinámica en el ambiente evaluado (Jian *et al.*, 2024). La presencia de materia orgánica lábil como la glucosa garantiza una rápida activación de los microorganismos lo que justifica los niveles superiores obtenidos en los grupos que la contenían; el agotamiento de esta materia en el tiempo coincide con la caída de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante las cuantificaciones realizadas en los días 15 y 28 (Martín, 2021).

## CONCLUSIONES

Debido a su complejidad, la mayoría de los servicios prestados por organismos individuales o grupos de organismos no se pueden cuantificar directamente como lo constituye la medición de la potencial actividad de todos los organismos del suelo para determinar el mantenimiento de los ciclos de nutrientes; para ello habría que evaluar de forma directa los servicios de los organismos del suelo claramente definibles y medir indirectamente dichos servicios determinando las características estructurales de las comunidades de organismos del suelo o medir las propiedades abióticas del suelo.

El monitoreo del suelo en los CGM es necesario, ya que la red alimentaria del suelo puede afectarse por la transferencia de toxinas a través de varios niveles tróficos; de ahí la importancia de implementar un SVE que permita el monitoreo de los CGM auxiliado en el PMEM como instrumento eficaz para alcanzar dichos propósitos, para ello es imprescindible generar una línea base de indicadores de calidad del suelo.

El suelo del área sembrada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio se caracterizó en función de las propiedades fisicoquímicas y características biológicas, datos útiles para el monitoreo del CGM.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aseeva, T. A., Selezneva, N. A., Sunyaikin, A. A., Tishkova, A. G. y Afanasieva, E. G. (2021). Influence of anthropogenic activities on changes in the chemical and biological properties of the soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723(4) 042046. <https://acortar.link/6q1dcw>
- Barragan-Soriano, J.L. (2022). Coinoculación de *Pinus montezumae* (Pinaceae) con un hongo comestible ectomicorrízico y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Acta Botanica Mexicana* (129). <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2024>
- Barros-Rodríguez, A., Rangseekaew, P., Lasudee, K., Pathom-Aree, W., Manzanera, M. (2021). Impacts of agriculture on the environment and soil microbial biodiversity. *Plants*, 10(11), 2325. <https://doi.org/10.3390/plants10112325>
- Bertho, L., Schmidt, K., Schmidtke, J., Brants, I., Cantón, RF., Novillo, C., Graham H. (2020). Results from ten years of post-market environmental monitoring of genetically modified 810 maize in the European Union. *PLoS ONE*, 15(4), e0217272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217272>
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F.D., Adame-García, J. and Fernández-Viveros, J. A. (2019). Impacto del uso del suelo sobre la meso y macrofauna edáfica en caña de azúcar y pasto.

- Caicedo-Rosero, L.C., Méndez-Ávila, F.J., Gutiérrez-Zeferino, E., Flores-Cuautle, J.A. (2021). Medición de humedad en suelos: Revisión de métodos y características. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), 1-8. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7035>
- Chandrakasan, G., García Trejo, J.F., Aguirre Becerra, H., Rico García, E. (2024). Revisión de la función de las comunidades microbianas del suelo a través de la gestión de la tierra y compilación metodológica avanzada. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, (Número especial). <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/928/1185>
- Chiglione, C., Zumoffen, L., Dalmazzo, M., Strasser R. y Attademo, A. (2021). Diversidad y grupos funcionales de insectos en cultivos de arroz y sus bordes bajo manejo convencional y agroecológico en Santa Fe, Argentina. *Ecología Austral*, 31(2), 261-276. <https://acortar.link/iIUuUe>
- Duran Román, G.A. (2023). *Actividad biológica en suelos de Viña de Mallorca bajo distintos sistemas de gestión*. [Tesis de doctorado, Universitat de les Illes Balears]. Repositorio Institucional. <https://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/164875>
- Environmental Protection Agency. (2012). Ecological Effects Test Guidelines OCSPP 850.3200: Soil Microbial Community Toxicity Test. <https://acortar.link/avBfdx>
- Gallardo, L. (2020). La biotecnología alimentaria: mitos, realidades y derecho. En XVI Jornadas y VI Internacional de Comunicaciones Científicas de la Facultad de Derecho, Cs. Sociales y Políticas. Corrientes. Universidad Nacional del Nordeste. <https://acortar.link/83hkij>
- Gutiérrez-Soto, G., López-Sandin, I., Zavala García, V., Contreras Cordero, J.F., Elizondo-Luevano, J.H., Pérez Hernández, R.A. (2024). Effect of agricultural production system on soil microbial populations. *Scientia Agricolis Vita*, 1(1), 29-38. <https://doi.org/10.29105/agricolis.v1i1.7>
- Hanke, D., Santos, D., Nascimento, Sh., Rockenbach Ávila, M. and Paz Deble, L. (2024). *Edaphic Fauna Diversity and its Relationship with Soil and Vegetation Attributes in a Toposequence Under Natural Grasslands in the Pampa Biome – South Brazil*. SSRN. <https://acortar.link/028Z33>
- Insfrán Ortiz, A., Rey Benayas, J. M. y Cayuela Delgado, L. (2023). Agroforestry improves soil fauna abundance and composition in the Atlantic Forest of Paraguay. *Agroforestry Systems*, 97, 1447-1463. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00869-5>
- Jian, S., Li, J., Wang, G., Zhou, J., Schadt, C. W., Mayes, M. A. (2024). Generalizing microbial parameters in soil biogeochemical models: Insights from a multi-site incubation experiment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(4), e2023JG007825. <https://acortar.link/FLMxAy>
- Marois, J., Lerch, T. Z., Dunant, U., Farnet Da Silva, A. M. and Christen, P. (2023). Chemical and microbial characterization offermented forest litters used as biofertilizers. *Microorganisms*, 11(2), e306. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020306>

- Martín Usero, F. (2021). *Influencia de diferentes técnicas de manejo en la agricultura intensiva bajo plástico sobre las comunidades microbianas del suelo*. [Tesis de doctorado, Universidad de Almería]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/FVik50>
- Martínez, S. y Escalante, F. (2020). Las comunidades de microorganismos asociados a suelos arroceros. *Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*, (63), 58-62. <https://acortar.link/g6gZ5M>
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*. Dirección General de Calidad Ambiental. <https://acortar.link/74fXcA>
- Muñoz-Rojas, J., Morales-García, Y., Báez, A., Quintero-Hernández, V., Rivera-Urbalejo, A., Pérez-Terrón. (2016). Métodos económicos para la cuantificación de microorganismos. En Science Associated (Ed.), *Instituciones de Educación Superior. La labor investigadora e innovadora en México* (pp. 67-84). Science Associated Editors. <https://zenodo.org/records/5525235>
- Nabi, M. (2023). Role of microorganisms in plant nutrition and soli health. En T. Aftab and K. Rehman Hakeem (Eds.), *Sustanaible plant nutrition* (pp. 263-282). Academic Press. <https://acortar.link/eONdyS>
- O´Farril, L. C. (2021). Transgénesis: una aproximación a sus riesgos y beneficios. *Acta Médica del Centro*, 15(1), 141-155. <https://acortar.link/jKREQ6>
- Olvera Larenas, R. A. (2024). *Determinación de las propiedades biológicas de suelos agrícolas erosionados en la zona CEDEGE, Cantón Babahoyo*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/LZLSWR>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment. In *Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology* (Vol 10). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/62ed0e04-en>
- Oviedo-Bolaños, K., García-González, J., Solano-González, S., Martínez-Debat, C., Sancho Blanco, C., Umaña-Castro, R. (2020). Detección del promotor 35S mediante PCR tiempo-real: indicador de transgenicidad en alimentos y *Gossypium* sp. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 209-221. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37151>
- Padrón Padilla, A. y Extremera San Martin, D. (10 de noviembre de 2020). *Transgénicos en Cuba: El encuentro entre necesidad, ciencia y tecnología*. Cubadebate. <https://acortar.link/91OZeE>
- Peña Morales, D. I.; de la Cruz Elizondo, Y.; Ruelas-Monjardin, L. C. y Fontalvo-Buelvas, J. C. (2021). Evaluación de la calidad del suelo en agroecosistemas tropicales de Xalapa y Emiliano Zapata en el estado de Veracruz, México. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1 y 2), 163-172 <https://acortar.link/yf28Xe>
- Rivero Ramos, L., Muñiz Ugarte, O., Fernández Casañas, J., Farradaz-Campos M., Arcia-Porrúa J. (2021). Línea Base para la obtención de Neutralidad en la Degradación de las Tierras en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4), e06. <https://acortar.link/h09rHt>
- Rosabal Ayan, L., Macías Coutiño, P., Maza González, M., López Vázquez, R., Guevara Hernández, F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*; 1(1), 104–17. <https://acortar.link/2TUeuW>

Soto, S. y Desamparados, M. (2018). *pH del suelo*. Universitat Politècnica de València. <https://acortar.link/Qj4K0r>

Soto-Valenzuela, J.O., Álvarez-Vera, M.S., Vázquez Vásquez, J.E., Ricardo Ricardo, G.B. (Enero-abril 2024). Evaluación físico química y microbiológica del suelo en cultivos de *Musa paradisiaca* Cavendish y *Elaeis guineensis* Jac. Provincia de los Ríos. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 8(22), 110-125. <https://acortar.link/FjjTvj>

Tello P., Lily D. y Vega R, Ruby A. (2015). Metodologías para determinar la retención de humedad y la densidad en el compost. *Anales Científicos*, 76(1), 186-192. <https://acortar.link/LXli1s>

Zapata, M. y Eliécer, J. (2021). La revolución verde como revolución tecnocientífica: artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 21(42), 175-204. <https://doi.org/10.18270/rcfc.v21i42.3477>

Zerbino, M.S., Altier, N., Morón, A. y Rodríguez, C. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia Uruguay*, 12(1), 44-55. <https://acortar.link/opEqfh>

## AGRADECIMIENTOS

Por su participación en el estudio el agradecimiento para: Janet Valdés Collado, Marvis Suarez Romero, Tanya Romay Fernández, Carlos Martínez Ruíz, Baltazar Pérez Cárdenas, Erlen Aguirre Peñalver, Vivian Prevot Cazón, Dianet Hernández Sainz. Al Proyecto internacional GEF PNUMA *Creación de capacidades adicionales en bioseguridad para la implementación del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología en Cuba*, por los recursos para el desarrollo de la investigación.