



Bioinsumos y bioeconomía circular contra el cambio climático: Alianza para la productividad, regeneración de suelos y captura de carbono en la agricultura de México, Biofábrica Siglo XXI

Paula Medina Morales ¹, Marcel Morales Ibarra ¹ y César González Monterrubio ¹

Autor de Correspondencia: paula.medina@biofabrica.com.mx

Resumen:

El cambio climático es la mayor amenaza que enfrentamos actualmente, y la producción de alimentos impacta significativamente en esta problemática, ya que se estima que una tercera parte de las emisiones GEI provienen de esta actividad¹. No obstante, la agricultura representa una solución viable a la crisis climática, debido a la capacidad del suelo para secuestrar carbono, sin embargo, esto sólo ocurre en suelos sanos². En 2022, la ONU estimaba que el 40% de los suelos del mundo están degradados³. Otro problema derivado de esta degradación es la baja productividad agrícola.

Incentivar la regeneración del suelo, no sólo permitiría obtener la productividad necesaria para satisfacer la demanda de alimentos, sino para convertir los suelos agrícolas en sumideros de carbono. Con este objetivo, Biofábrica propone un modelo de producción basado en el uso de bioinsumos y bioeconomía circular. Para impulsar su implementación a gran escala, ha promovido una alianza público-privada entre instituciones que coadyuven con apoyos económicos, financieros, capacitación, medición de resultados, entre otros. En este trabajo mostramos los resultados (productivos, económicos, uso eficiente de fertilizantes y agua, regeneración de suelo y captura de carbono) obtenidos con la aplicación del modelo en cultivos de caña de azúcar en México.

Palabras clave: agricultura, sustentabilidad, bioinsumos, bioeconomía.

Bioproducts and a circular bioeconomy to counter climate change: Alliance for productivity, soil regeneration, and carbon capture in Mexican agriculture, Biofábrica Siglo XXI

Paula Medina Morales ¹, Marcel Morales Ibarra ¹ y César González Monterrubio ¹

Abstract:

Climate change is the greatest threat we currently face. Food production has a significant bearing on this problem, as it is estimated that a third of GHG emissions come from this activity¹. Nonetheless, agriculture offers a viable solution to the climate crisis, due to the soil's capacity to capture carbon. However, this only happens in healthy soils². In 2022, the UN estimated that 40% of the world's soils are degraded³. An additional problem that arises from this degradation is low agricultural productivity.

Encouraging soil regeneration would not only favors the productivity needed to meet the demand for food, but also convert agricultural soils into carbon sinks. With this aim, Biofabrica proposes a production model based on the use of bioproducts and a circular bioeconomy. To promote large-

¹ Biofábrica Siglo XXI. México

scale implementation, it has promoted a public-private alliance between institutions that contribute economic and financial support, training, measurement of results, among other things. In this paper, we show the results (production, economic, efficient use of fertilizers and water, soil regeneration and carbon capture) obtained through the application of a model applied in sugarcane crops in Mexico.

Key Words: agriculture, sustainability, bioproducts, bioeconomy.

1. INTRODUCCIÓN

El 31 de julio de 2023, tras la confirmación científica de que ese mes fue el más caluroso de los últimos 120 000 años, el secretario general de la ONU, Antonio Guterres, declaró que “la era del calentamiento global ha terminado, ahora es el momento de la era de la ebullición global”.

El dato, confirmado por la Organización Meteorológica Mundial y el Servicio de Cambio Climático Copernicus, significa que se ha superado el límite de 1,5° C de incremento de la temperatura mundial por encima de la era preindustrial, amenazando con dejar obsoleto el Acuerdo de París, el cual persigue evitar traspasar esta barrera de forma permanente. Fue después de dicho acuerdo, en el 2015, que las Naciones Unidas estableció los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030, todas las personas disfruten de paz y prosperidad. A día de hoy, faltando poco más de 5 años para llegar al 2030, estos objetivos están muy lejos de conseguirse.

La complicación principal para alcanzar los objetivos de mantener a raya el calentamiento del planeta, es que las propias actividades humanas, son las responsables directas del deterioro ecológico, que causan, no sólo la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que calientan la atmósfera, sino de la acelerada pérdida de biodiversidad a gran escala, entre otras problemáticas igualmente alarmantes. Un claro ejemplo de esto, lo encontramos en la producción de alimentos, ya que es una de las actividades humanas que más contribuye a la degradación de los ecosistemas y el medio ambiente, impactando negativamente de distintas formas: grandes emisiones GEI; degradación de suelos; contaminación y desperdicio de agua; pérdida de biodiversidad; desperdicio de alimentos; transporte; etc.

En Latinoamérica, la agricultura genera el 26% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el cambio de uso de suelo (indicador que señala la deforestación realizada principalmente para la producción agropecuaria) genera el 21%⁴. Esto implica que casi la mitad de las emisiones son generadas por la producción primaria de alimentos.

Otro reto, no menor, es la pérdida de productividad agrícola debido a la degradación de los suelos. En 2022, las Naciones Unidas estimaba que hasta el 40% de los suelos del mundo están moderada o gravemente degradados³.

Asimismo, en la última edición del Informe Planeta Vivo, del World Wide Fund for Nature (WWF), que mide el cambio promedio en el tamaño de las poblaciones de más de 5,000 especies, muestra que, a escala global, han bajado un 73%, pero en Latinoamérica, la disminución es del 95% en 50 años. Esta alarmante pérdida de biodiversidad está impulsada principalmente por nuestro sistema alimentario⁵.

Sin embargo, la agricultura también representa una alternativa viable en la lucha contra el cambio climático, no sólo por el margen para reducir sus emisiones, sino por el gran potencial que tiene el suelo para secuestrar el excedente de carbono presente en la atmósfera. Según la iniciativa 4 por 1000, si lográramos aumentar el 0.4% de la materia orgánica de los suelos agrícolas del mundo, lograríamos remover gran parte del CO₂ causante del calentamiento global.

Así pues, promover la regeneración de los suelos representa una alternativa viable para que la agricultura pueda alcanzar los niveles productivos que permitan satisfacer la creciente demanda de alimentos sin necesidad de expandir más la superficie agropecuaria, y, al mismo tiempo, puede representar una solución viable contra el cambio climático, convirtiendo los suelos agrícolas del mundo en importantes sumideros de carbono.

1.1 Antecedentes

Biofábrica Siglo XXI cuenta con más de veinte años de experiencia como una empresa comprometida con el desarrollo de alternativas a la productividad y sostenibilidad agropecuaria, articulando el trabajo de la investigación científica

con la producción, en una perspectiva de mercado, ecológica y de responsabilidad social. En el año 2003, la empresa nace tras la celebración de convenios de licenciamiento tecnológico con el Centro de Investigación de Fijación de Nitrógeno (hoy Centro de Ciencias Genómicas) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para la producción, investigación y comercialización de biofertilizantes, con base en microorganismos fijadoras de nitrógeno atmosférico, promotoras de crecimiento y fortalecimiento del sistema inmunológico, entre otras funciones.

Desde entonces, mediante el uso de la biotecnología, hemos desarrollado tecnologías basadas en microorganismos benéficos tanto para la nutrición, la regeneración física, química y biológica del suelo, como para el control biológico de plagas y enfermedades del suelo. Asimismo, hemos incorporado indicadores de evaluación, para medir, tanto impactos productivos como de sostenibilidad.

Por más de veinte años hemos trabajado en los cultivos más importantes del país. En el caso de caña de azúcar, llevamos más de quince años trabajando en el efecto de biofertilizantes microbianos más allá de la producción y productividad, conformando un modelo de evaluación que incorpora indicadores de sostenibilidad que incluyen, uso eficiente de fertilizantes y agua, regeneración física, química y microbiológica del suelo y secuestro de carbono.

Esta experiencia se remonta a un primer trabajo de validación realizado en el 2009 con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Campo Experimental ubicado en Zacatepec, Morelos. Los resultados demostraron que el uso de biofertilizantes no solo incrementó el rendimiento de los cultivos, sino que también permitió reducir significativamente la fertilización química y los costos de producción.

Posteriormente, desde el año 2013 se comenzó un trabajo de seguimiento de y evaluación de resultados durante diez años consecutivos en una parcela ubicada en el Estado de Morelos. El trabajo consistió principalmente en el uso de fertilizantes microbianos compuestos por bacterias fijadoras de nitrógeno, promotoras de crecimiento y hongos micorrízicos, así como la reducción de la fertilización sintética utilizada por el productor, que fue desde el 50% en el primer

año (plantación), y del 30% en los años subsecuentes. Este caso fue publicado en el segundo número de la revista C3-Bioeconomy (2021).

Con este trabajo, comprobamos la capacidad de este modelo de producción para incrementar rendimientos, reducir costos de fertilización y extender la vida útil del cultivo, la cual, en la región se renueva en promedio cada cuatro años, pudiendo llevar este caso hasta los diez años de producción. Los resultados más relevantes de ese caso mostraron una producción promedio de 145 toneladas por hectárea en la parcela con biofertilizantes, mientras que en la parcela testigo (producción convencional con el 100% de fertilización sintética), fue de 102 toneladas por hectárea. Así mismo, las mediciones de sostenibilidad y regeneración de suelos hacen ver que los efectos positivos derivados de la regeneración del suelo (diversidad y cantidad de microorganismos, estructura del suelo, formación de macro agregados, etc.), se acumulan con el paso del tiempo, lo que potencia dichos efectos, no sólo a corto, sino a mediano y largo plazo.

1.1.1 Proyecto del Fondo de Impacto Bonsucro

Bonsucro es el estándar y la plataforma de productividad y sostenibilidad líder a nivel mundial para la caña de azúcar. Certifica que la producción de caña de azúcar y la cadena de suministro cumplan con requisitos de sustentabilidad que abarcan desde indicadores medioambientales (consumo de energía y agua, emisión de GEI, el uso adecuado y racional de agroquímicos); hasta indicadores sobre derechos laborales y humanos.

A mediados del 2022, Bonsucro, lanzó una convocatoria internacional denominada 'Fondo de Impacto Bonsucro', que busca dotar de recursos para apoyar proyectos colaborativos e innovadores con potencial de aplicación a gran escala, que abonen al incremento de la productividad y la sustentabilidad en la producción de caña. En dicha convocatoria, Biofábrica Siglo XXI, en conjunto con The Coca Cola Company y la Unión Nacional de Cañeros A.C. (UNC-CNPR), participó con la experiencia generada con el uso de fertilizantes microbianos y reducción de la fertilización sintética, bajo el título "Reducción del calentamiento global a través de la producción de caña de azúcar en México". A finales del 2022, nuestra propuesta fue seleccionada, iniciando actividades en

enero de 2023 en el Estado de Morelos, en los municipios de Zacatepec, Yautepec, Axochiapan y Mazatepec.

Este trabajo tiene como objetivo difundir un sistema de producción de caña de azúcar más sustentable y productivo, basado en el uso de biofertilizantes microbianos, reducción del uso de agroquímicos y mejores prácticas agrícolas, a través de la transferencia de tecnología y la colaboración entre distintos participantes de la cadena de valor (comprador final, productores primarios e industriales, instituciones financieras y empresa proveedora de insumos). Nuestra propuesta cumple con los dos requisitos fundamentales que busca el Fondo de Impacto Bonsucro: proyectos colaborativos y escalables.

Ejes principales del proyecto:

- Enfoque innovador mediante el uso de biotecnologías sustentables ampliamente estudiadas y probadas en la producción de caña de azúcar, basadas en microorganismos benéficos 100% naturales y seguros, principalmente bacterias y hongos que ayudan al proceso biológico de nutrición, desarrollo y sanidad vegetal, asimismo, actúan como potenciador de la vida del suelo, incrementando así su capacidad para secuestrar carbono de la atmósfera y convertirlo en un insumo productivo.
- Principios de bioeconomía circular, haciendo una reutilización de los residuos de la producción como la cachaza y otros subproductos resultantes del proceso de obtención del azúcar y residuos vegetales, los cuales, pueden convertirse en composta y utilizarse como una aportación de materia orgánica a los suelos agrícolas.
- Uso racional de los insumos, llevando a cabo una reducción en la aplicación de agroquímicos como fertilizantes sintéticos.
- Incorporación de mejores prácticas y tecnologías, como el uso de cosechadoras mecánicas que permiten la eliminación de la quema de la caña y la incorporación del material vegetal al suelo.

- Modelo de trabajo colaborativo que une a algunos de los principales actores de la cadena de caña de azúcar (productores, consumidor final, investigación aplicada, proveduría de insumos), para trabajar de manera conjunta en la implementación y escalabilidad de proyectos que generen un impacto positivo en la productividad y en el medio ambiente (reducir la huella de carbono mediante la disminución de emisiones GEI y un mayor secuestro de CO₂ en el suelo).
- Evaluación y seguimiento de resultados: para demostrar a los productores y demás actores involucrados en la cadena, que el modelo de producción propuesto en este proyecto efectivamente genera un impacto positivo en la sustentabilidad y la rentabilidad de la producción del cultivo.

A continuación, presentamos con mayor detalle el desarrollo de la experiencia, así como los resultados más relevantes obtenidos en el primer año del proyecto: rendimientos, ganancia del productor, regeneración de la microbiología del suelo, uso eficiente del agua, resistencia al estrés hídrico y captura de carbono.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Establecimiento de cuatro parcelas demostrativas y de evaluación de resultados, con distintos años de uso de biofertilizantes y distintas reducciones en la aplicación de fertilización química, localizadas en las zonas más representativas de producción de caña en el Estado de Morelos (zona centro de México), que abastecen los ingenios Emiliano Zapata, Casasano y Atencingo.

Tabla 1. Información de parcelas

Localización (municipio)	Nombre del productor	Superficie	Años de uso de biofertilizantes	Ingenio
Yautepec	Héctor Rojas	1.3 has	6	Casasano
Zacatepec	Jorge González	2.5 has	3	E. Zapata
Mazatepec	Heriberto Jaime	2 has	1	E. Zapata
Axochiapan	Ricardo Tepozteco	2.5 has	1	Atencingo

2.1 Materiales y método

En cada parcela se establecieron tratamientos con biofertilizantes y una reducción del fertilizante sintético (Yautepec 40%, Zacatepec 30%, Mazatepec 20%, Axochiapan 75%) dejando un área sin aplicación y con el 100% del fertilizante como parcela testigo. El resto del manejo de la parcela se mantuvo sin cambios.

Los biofertilizantes utilizados en este proyecto son dos productos innovadores de Biofábrica Siglo XXI, desarrollados con microorganismos cuidadosamente seleccionados.

1. Maxifer: inoculante bacteriano en formulación líquida compuesto por la bacteria *Azospirillum brasilense*. Su principal función es fijar nitrógeno atmosférico, transformándolo en una forma asimilable por las plantas, además de actuar como promotor del crecimiento vegetal y ayudar a fortalecer las defensas naturales de las plantas.

2. Micorrizafer Plus: biofertilizante en polvo formulado con hongos micorrízicos de la especie *Rhizophagus irregularis*. Este producto facilita la absorción de nutrientes y agua, promueve la regeneración del suelo y mejora la eficiencia en el uso de fertilizantes, incrementando la productividad del cultivo y la resistencia a la sequía.

Dosis y aplicación en caña de azúcar:

- Durante la siembra: una dosis de 1 litro de Maxifer y dos dosis de Micorrizafer Plus (1 kg cada una).
- Refuerzo: entre dos y seis semanas después de la siembra, se aplican las mismas dosis de ambos productos.

2.2 Evaluación de resultados

Las variables de respuesta evaluadas abarcan indicadores clave que representan tanto la productividad agrícola como la sostenibilidad ambiental. Entre ellas se incluyen métricas relacionadas con la productividad, así como con la sostenibilidad y la salud del suelo. Este enfoque integral proporciona una visión

completa de los beneficios del modelo de producción propuesto, considerando tanto su impacto en la producción como en el equilibrio ambiental.

- Indicadores de productividad:
 - Rendimiento (biomasa aérea -caña- y raíz).
 - Ingreso neto del productor.
- Indicadores de sustentabilidad y salud del suelo:
 - Uso eficiente de fertilizantes químicos (nitrógeno).
 - Uso eficiente del agua (biomasa producida por volumen de agua).
 - Microbiología del suelo (análisis metagenómico).
 - Materia orgánica.
 - Captura de carbono (CO₂ equivalente).

3. RESULTADOS

3.1 Productividad

3.1.1 Rendimiento (caña y raíces)

Rendimientos: En la producción de biomasa, se hicieron mediciones para comparar, tanto la parte aérea (caña), como la producción de raíz, en ambos casos se obtuvieron incrementos muy significativos. En promedio, en la producción de caña hubo un incremento del 56% y la producción de raíz, el aumento fue del 100% con respecto a las parcelas testigo (producción convencional).

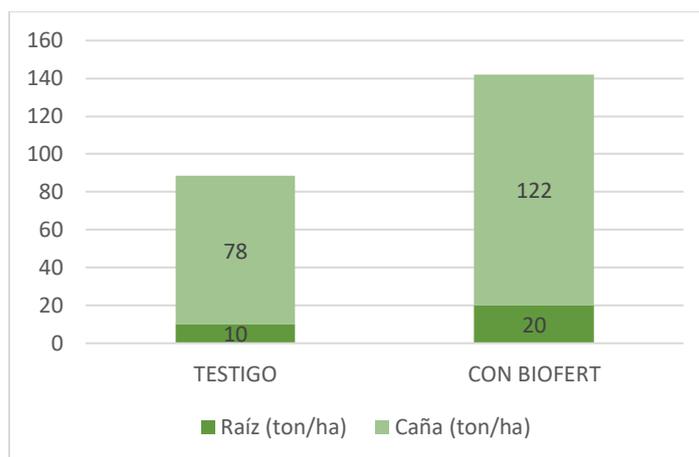


Figura 1. Resultados de rendimientos de caña y raíz (ton/ha)

3.1.2 Ingreso del productor

Ingreso de los productores: las parcelas con biofertilizantes mostraron un incremento del ingreso neto promedio del 115% con respecto a las parcelas testigo impulsado por mayores rendimientos y una disminución en la aplicación de fertilizantes químicos.



Figura 2. Resultados ingreso neto promedio (mxn/ha)

3.1.3 Uso eficiente del fertilizante sintético

Uso eficiente del fertilizante: El uso de biofertilizantes mejoró notablemente la cantidad de nitrógeno asimilado en los tejidos del cultivo de caña, como se puede ver en la figura 3, la relación del nitrógeno en el tejido de la caña con biofertilizantes se invierte en relación al testigo. En el caso del tratamiento con biofertilizantes se puede observar que el cultivo acumuló 100 kg de nitrógeno más en relación al fertilizante aplicado (281 kg de N contra 181 aplicados como

fertilizante), mientras que el testigo sólo acumuló 175 kg de N en sus tejidos mientras que en la parcela se usaron 266 kg de nitrógeno en forma de fertilizante.

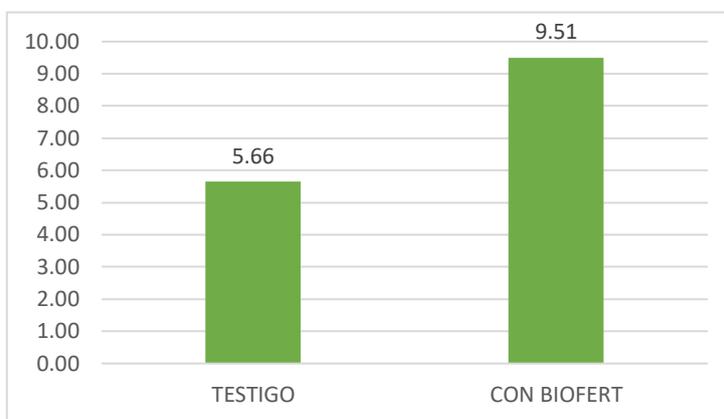


Figura 3. Nitrógeno asimilado en planta en relación al aplicado como fertilizante (kg/ha)

3.1.4 Uso eficiente del agua y resistencia al estrés hídrico

Uso eficiente del agua y resistencia al estrés hídrico: El impacto de los biofertilizantes en la eficiencia del uso del agua y la resistencia al estrés hídrico está ampliamente respaldado por la literatura científica. En este estudio, las parcelas tratadas con biofertilizantes lograron producir, en promedio, 3.85 kilogramos adicionales de caña por metro cúbico de agua utilizada en comparación con las parcelas testigo.

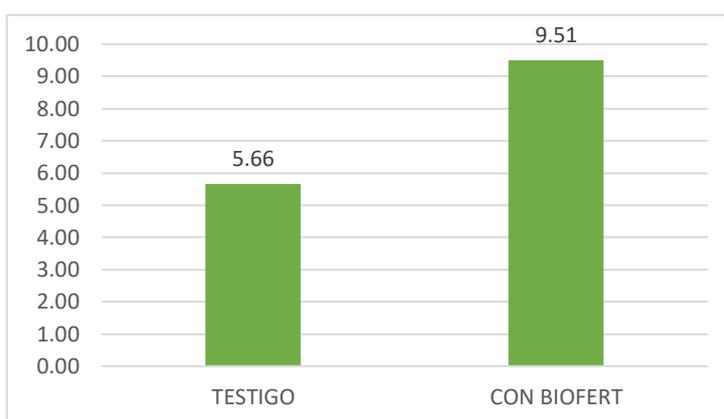


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua (kg caña/m3 agua)

Un aspecto destacado fue la notable mejora en la resistencia a la sequía, especialmente evidente durante 2023, uno de los años más secos registrados en México y en el estado de Morelos. En Mazatepec, por ejemplo, la disponibilidad

de agua en el pozo de riego se redujo drásticamente, limitando los riegos de 10 a 4 aplicaciones. Este contexto adverso permitió observar con mayor claridad las diferencias entre los tratamientos. En la parcela testigo, los efectos del estrés hídrico fueron particularmente severos, como se muestra en la fotografía tomada el 20 de julio (figura 5), el punto más crítico de la sequía.



Figura 5. Diferencia entre parcela testigo y con biofertilizantes (Mazatepec, Morelos, Junio 2023)

Adicionalmente, una imagen satelital del campo Los Vicentes (figura 6) confirmó estas observaciones mediante el Índice de Clorofila de Borde Rojo (RECI). Este indicador mostró niveles más altos de clorofila (representados en verde) en las parcelas biofertilizadas, mientras que las parcelas testigo presentaron niveles significativamente bajos (marcados en rojo), evidenciando la superioridad de los tratamientos biofertilizantes para mitigar los efectos de la sequía y optimizar el uso de recursos hídricos.

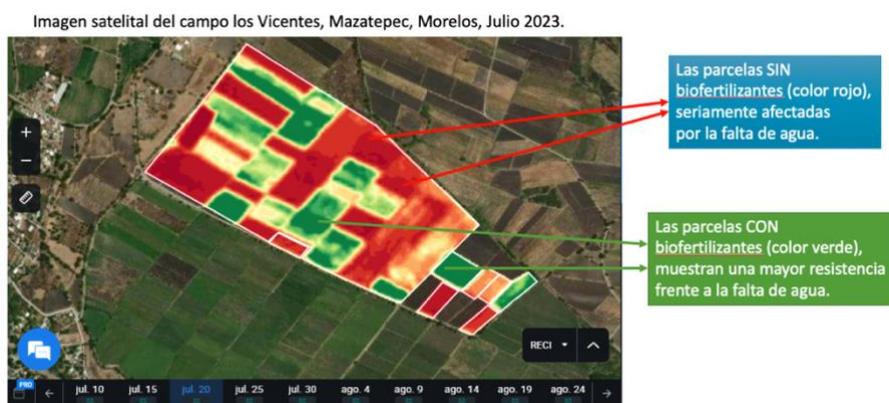


Figura 6. Imagen satelital que muestra el Índice de Clorofila de Borde Rojo (RECI)

3.2 Regeneración del suelo y captura de carbono

3.2.1 Materia orgánica (MO)

Materia Orgánica (MO): El uso de biofertilizantes permitió un aumento significativo en el contenido de materia orgánica del suelo, con un incremento del 18%. En las parcelas tratadas, el contenido de materia orgánica pasó de 92 toneladas por hectárea en el testigo (considerando los 30 cm superiores del suelo) a 109 toneladas por hectárea. Este incremento es fundamental para mejorar la captura de carbono en el suelo, ya que la materia orgánica actúa como el principal reservorio de carbono orgánico almacenado. En promedio, se estima que la materia orgánica del suelo está compuesta por un 58% de carbono orgánico, lo que resalta la importancia de su aumento para promover prácticas agrícolas sostenibles y mitigar el cambio climático.

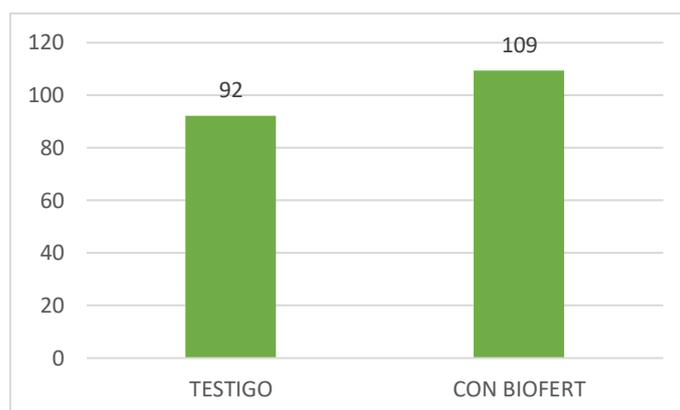


Figura 7. Materia orgánica del suelo (ton/ha)

3.2.2 Vida microbiana

Vida microbiana: En este análisis realizado con la tecnología BeCrop® de la empresa Biome Makers, se realizaron perfiles microbianos procariotas (secuenciación del amplicón 16S) y eucariotas (secuenciación del amplicón ITS), en muestras de suelo de caña de azúcar en 4 áreas, cada una dividida en una zona testigo (manejo convencional) y una zona tratada con biofertilizantes de Biofábrica Siglo XXI. La finalidad de estos análisis es entender si la aplicación de biofertilizantes mejora el microbioma del suelo. Los resultados muestran que la aplicación prolongada de biofertilizantes parece aumentar significativamente la diversidad y composición del microbioma del suelo, lo que se traduce en un mayor rendimiento del cultivo. Este efecto es más pronunciado

en las parcelas que han recibido biofertilizantes durante más tiempo, en comparación con las parcelas que solo han tenido un año de aplicación. También se encontró que la aplicación de biofertilizantes parece aumentar especialmente los índices relacionados con la producción de fitohormonas, la adaptación al estrés y la disponibilidad de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio). Esto indica que los biofertilizantes no sólo mejoran la biodiversidad del suelo, sino que también potencian su capacidad para soportar condiciones adversas y optimizar la absorción de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos.

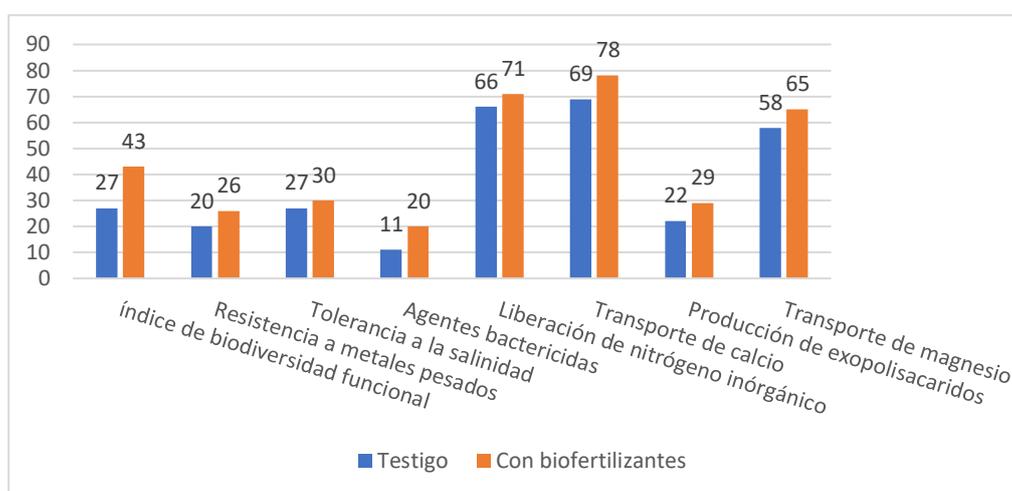


Figura 8. Indicadores funcionales asociados a la abundancia de microorganismos que han mostrado mejoras entre las prácticas con biofertilizantes y las prácticas convencionales, obtenidos a través del análisis metagenómico del suelo

3.2.3 Secuestro de Carbono

Secuestro de Carbono: La gráfica (figura 9) ilustra el efecto positivo del uso de biofertilizantes en la captura de carbono en el suelo, medida en toneladas de CO₂ equivalente por hectárea. Mientras que el tratamiento testigo presentó una cantidad de 239 toneladas por hectárea, el tratamiento con biofertilizantes alcanzó 290 toneladas por hectárea, esto representa una diferencia de 51 toneladas de CO₂ equivalente extra en el tratamiento con Biofertilizantes. Este resultado está directamente relacionado con el aumento del contenido de materia orgánica en el suelo, ya que aproximadamente el 58% de su composición corresponde a carbono orgánico almacenado. La mejora en la captura de carbono no solo refleja el potencial de los biofertilizantes para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también

evidencia su contribución al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes.

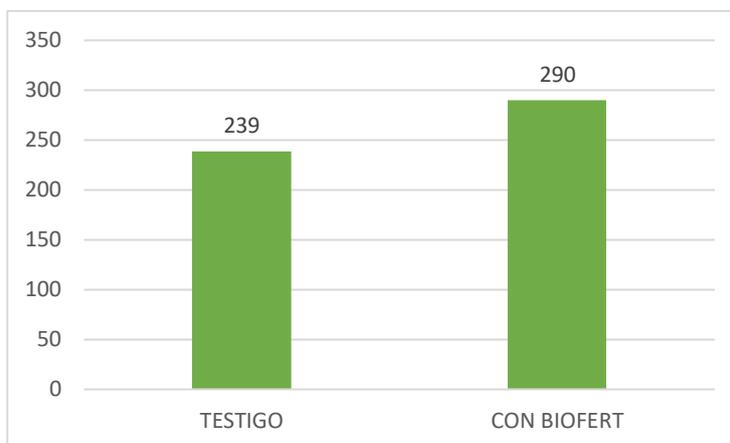


Figura 9. CO₂ eq (ton/ha)

3.3 Estrategia de masificación: alianza para lograr los objetivos

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, el número 17 se refiere a las Alianzas para lograr los objetivos, y hace referencia a que “los Objetivos de Desarrollo Sostenible solo se pueden lograr con el compromiso decidido a favor de alianzas mundiales y cooperación”.

En este sentido, Biofábrica ha promovido una alianza público-privada en México, compuesta por instituciones que coadyuven a la aplicación de los distintos componentes del modelo descrito en el punto anterior, mediante apoyos económicos, financiamiento, capacitación y asistencia técnica, medición de resultados, difusión, etc. Algunas de las instituciones que forman parte de esta alianza son: el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola (IICA), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), Syngenta, la Unión Nacional de Cañeros (UNC-CNPR), Bonsucro (estándar mundial de producción de caña de azúcar sustentable), Biome Makers (empresa de análisis metagenómico del suelo), ingenios y grupos azucareros.

Actualmente se está conformando un programa piloto en los Estados de Morelos y Quintana Roo, donde, además de las instituciones mencionadas anteriormente, se suma la participación de los gobiernos estatales,

universidades e instituciones de investigación, organizaciones de productores locales, gobiernos municipales, entre otros.

Paralelamente se plantea llevar a cabo proyectos que permitan la emisión de bonos de carbono, lo que supone un incentivo para sumar al proyecto a un mayor número de productores, así como el escalamiento hacia otros cultivos de relevancia económica y social.

4. CONCLUSIONES

La producción de alimentos es una de las actividades que más contribuyen al deterioro de los ecosistemas, pues libera grandes emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, provoca la degradación de los suelos, y es la principal responsable de la pérdida de biodiversidad en el mundo. Sin embargo, si incentivamos la regeneración de los suelos, la agricultura representa una oportunidad en la solución a la crisis climática, debido a que los suelos regenerados tienen un gran potencial para secuestrar el excedente de CO₂ que se encuentra presente en la atmósfera, causante del llamado calentamiento global.

Los resultados de este trabajo muestran que la implementación de prácticas de agricultura regenerativa incrementa la productividad y la sostenibilidad en la producción de alimentos. Para lograr acelerar y masificar este proceso, una de las herramientas más efectivas es el establecimiento de alianzas que fomenten la cooperación entre el sector público y privado, sumando esfuerzos de organizaciones, instituciones y sociedad civil, que coadyuven a la implementación de modelos de producción más sostenibles, rentables y resilientes, como el propuesto en el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. PROGRAMA PARA EL MEDIO AMBIENTE ONU (2021). Debemos Transformar el Sistema Alimentario Mundial para Frenar la Pérdida de Biodiversidad.

Recuperado de:

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/debemos-transformar-el-sistema-alimentario-mundial-para#:~:text=Los%20impactos%20de%20producir%20m%C3%A1s,emisiones%20producidas%20por%20el%20hombre.>

2. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (2015). Los Suelos Ayudan a Combatir y Adaptarse al Cambio Climático.

Recuperado de:

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/27afefc7-e73e-4c91-ba7d-cd113115cf7a/content>

3. NACIONES UNIDAS (2024). Nuestras Tierras. Nuestro Futuro.

Recuperado de:

<https://www.un.org/es/observances/environment-day#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Convenci%C3%B3n%20de%20las,mitad%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20mundial.>

4. GRUPO BANCO MUNDIAL, Hoja de Ruta para la Acción Climática en América Latina y el Caribe 2021-2025

Recuperado de:

<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/1a7421c1-fa2b-58b9-b2ed-b8f6e07bf392/content>

5. World Wide Fund for Nature, WWF (2024). Informe Planeta Vivo 2024.

Recuperado de:

<https://www.wwf.org.mx/?391453/Informe-Planeta-Vivo-2024>

PAGINAS WEB CONSULTADAS

<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

<https://efeverde.com/nuevo-informe-planeta-vivo-wwf/>

<https://4p1000.org/>