



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

**ALIANZA MUNDIAL POR EL SUELO (AMS)**  
**ALIANZA POR EL SUELO DE LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (ASLAC)**  
**COMUNIDAD DE PRÁCTICA DE SUELOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CdP-Suelos)**  
**WEBINAR + CONVERSATORIO**  
**Manejo sostenible de la fertilidad de los suelos para mitigar el cambio climático**  
25 de agosto 2022

**Palabras de apertura.**

**Expositora:** Natalia Rodríguez, Oficial de Tierras y Aguas, Secretariado de la Alianza Mundial por el Suelo, FAO.

La fertilidad del suelo, y particularmente la disponibilidad de los macronutrientes, ha sido históricamente considerada muy importante para la producción de alimentos; de no estar disponibles, los nutrientes se añadían directamente mediante el uso de fertilizantes, sin considerar las particularidades del suelo, ni los requisitos específicos de los cultivos. En los últimos años, la fertilidad del suelo se entiende como un indicador de la salud del suelo, aceptando su papel clave en la seguridad alimentaria y en la nutrición, tanto de los cultivos como de los animales y humanos que los consumen.

Recientemente, se está entendiendo el impacto ambiental que puede causar una mala gestión de los insumos agrícolas y un manejo inadecuado del suelo. El nitrógeno reactivo, por ejemplo, circula en los compartimentos de la biósfera causando una cascada de efectos ambientales, entre los que se incluye el cambio climático, la formación de ozono troposférico, la superación de cargas nítricas, la acidificación y la eutrofización de los ecosistemas. La principal fuente de este nitrógeno reactivo son los suelos. Alrededor del 60% de las emisiones de óxido nitroso vienen de los campos fertilizados, abonos y otras fuentes agrícolas.

Desde el 2015, el Panel Técnico Intergubernamental de Suelos (PTIS) de la Alianza Mundial por el Suelo (AMS) señaló que el desequilibrio de nutrientes es una de las principales amenazas para la salud del suelo y la producción de alimentos. Se ha resaltado la necesidad urgente de entender la distribución espacial de los nutrientes esenciales y de los micronutrientes en los suelos, para proporcionar recomendaciones más eficientes de fertilización adaptadas a la realidad y a las necesidades locales de los cultivos y de los suelos. Por ello, se debe reforzar la importancia de los análisis de suelos, la generación de datos, la estandarización – armonización de protocolos para el análisis de muestras en los laboratorios a nivel local y a nivel nacional, y de esa forma obtener información que permita la toma de decisiones informadas tanto a nivel político, en cuanto a políticas agrarias e incentivos, hasta nivel de finca, con los agricultores o productores, adoptando medidas para la fertilización responsable y la gestión de los suelos de forma sostenible y adecuada a las necesidades locales. En esta línea y siguiendo un proceso impulsado por los países, la AMS ha estado trabajando en la generación de datos, cartografía y la evaluación del suelo, incluyendo los mapas mundiales de nutrientes del suelo y del balance de nutrientes, con el fin de comprender la fertilidad de los suelos en el mundo y orientar las decisiones.

Asimismo, se debe tomar particular atención a los productores, quienes son y sostienen la base del sistema agroalimentario. Los productores son los principales agentes de cambio y por tanto son los primeros que deben ser sensibilizados, capacitados y reforzados en su conocimiento sobre el manejo sostenible de los suelos y de la fertilidad de los mismos, para garantizar la producción de alimentos nutritivos, inocuos y que a la vez limiten el impacto ambiental, la degradación y la contaminación de los ecosistemas.

El Programa Mundial de Doctores de los Suelos es una iniciativa de capacitación de productor a productor, que promueve la adopción de buenas prácticas de manejo basadas en la combinación del conocimiento local con los últimos avances científicos. Por otra parte, la iniciativa Recarbonización de Suelos Agrícolas a nivel mundial (RECSOIL) tiene como objetivo específico promover la adopción del manejo sostenible de los suelos orientada al secuestro de carbono y a la mejora general de la salud de los suelos, a la vez que se reconoce ese esfuerzo especialmente de los pequeños productores, mediante incentivos económicos; considerando que los productores deben ser recompensados por su labor de protección y mejora de la salud de los suelos y la provisión de servicios ecosistémicos, tanto por la regulación de los ciclos de nutrientes; del agua; del clima; la provisión de alimentos; la conservación de la biodiversidad y la protección frente a eventos climáticos extremos.

### Comentarios de apertura

**Expositora:** Sol Ortiz, Directora General de Políticas, Prospección y Cambio Climático - SADER, México/ Presidenta ASLAC.

Los precios de los ingredientes de los fertilizantes artificiales se han triplicado desde el inicio de la pandemia. Son varios factores los que contribuyen a la escasez y encarecimiento de los fertilizantes: los problemas de la cadena de suministros causados por las lluvias y tormentas; los altos precios del gas natural por el aumento del precio de la energía y, recientemente, el conflicto entre Rusia y Ucrania. Dicho conflicto contribuyó a exacerbar esa problemática, ya que Rusia está entre los primeros cinco países que producen más fertilizantes nitrogenados y, hasta el 2021, era el mayor productor/exportador de fertilizantes en el planeta. El desafío de los países de subsanar esta escasez se suma a los retos que ya enfrentaba la región derivada del cambio climático. Al ser los fertilizantes un insumo clave para la producción agrícola, en muchos sistemas productivos, se espera una reducción en las aplicaciones de fertilizantes, lo cual puede provocar la reducción del rendimiento, la calidad y la producción de alimentos, impactando finalmente en el precio y acceso de estos.

No obstante, esta crisis también puede representar una oportunidad para la implementación de prácticas que promueven la fertilidad de los suelos, como la incorporación de materia orgánica, la rotación y asociación de cultivos utilizando leguminosas, el compostaje utilizando los residuos de cultivo, la utilización de microorganismos benéficos. Muchos productores están observando estas alternativas y buscando formas de hacer un uso más eficiente de los fertilizantes.

Dado que a nivel mundial la mayor parte de las emisiones de óxido nitroso proceden de las actividades agrícolas, este webinar + conversatorio se centró en las prácticas de manejo sostenible de la fertilidad del suelo, haciendo hincapié en el secuestro del carbono orgánico en los suelos (COS) y en el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados.

Los objetivos propuestos fueron:

- Difusión del conocimiento e intercambio de opiniones a nivel regional sobre el manejo sostenible de la fertilidad de los suelos con énfasis en secuestro de carbono en suelos y uso eficiente de fertilizantes nitrogenados.
- Identificación de alternativas de manejo sostenible de la fertilidad de los suelos enfocadas en la recarbonización y en la optimización del uso de fertilizantes nitrogenados.

En atención a estos dos objetivos, la jornada se desarrolló en dos bloques, un primer bloque abocado a los fundamentos técnicos sobre los suelos en apoyo de la nutrición, y luego se complementó con un conversatorio para el intercambio de experiencias.

A continuación, un resumen de cada una de las exposiciones presentadas en el webinar + conversatorio:

### Primer bloque: Webinar Fundamentos técnicos suelos para la nutrición.

**Presentación:** El nitrógeno en los sistemas productivos: efectos en el ambiente, la salud humana y el cambio climático.

**Expositor:** Iván Ortiz-Monasterio, Investigador principal del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

El nitrógeno (N) en los sistemas productivos tiene efectos en el ambiente, la salud humana y el cambio climático. Desde la década de 1980-90, la mayoría de los fertilizantes nitrogenados se está utilizando en países en desarrollo (77% del total), mientras que en tiempos anteriores era en países desarrollados. Se estima que el uso total de nitrógeno es de aproximadamente 115 millones de toneladas a nivel mundial; el mayor consumo de fertilizantes nitrogenados es utilizado en cereales: maíz 20%, trigo 18% y arroz 16%, lo que representa un consumo de 54% del nitrógeno a nivel mundial. La sobreutilización de fertilizantes nitrogenados se refleja en una alta tasa de fijación, en comparación con lo que se fija naturalmente, en todos los ecosistemas del planeta, que puede estar entre 15 y 200 kg/ha de N.

Un estudio de Omara *et al.* (2019) señala que la eficiencia de uso de nitrógeno en los cereales a nivel global es muy reducida, se calcula un 35%. El nitrógeno que no es recuperado por la planta tiene un efecto ambiental negativo, con excepción del gas N<sub>2</sub> que es nitrógeno no reactivo y no genera problemas en el ambiente. En cambio, otras formas nitrogenadas reactivas como el amoníaco (NH<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub> y NO<sub>2</sub>), afectan la biodiversidad; tienen un papel importante en la producción de lluvia ácida y participan en la producción de ozono troposférico, contaminante que afecta la salud humana.

Los nitratos en el agua provocan problemas en la salud humana, por ejemplo, en bebés de menos de 6 meses provocan metahemoglobinemia o síndrome de bebé azul. También afecta la tiroides e incrementa incidencia de los defectos de nacimiento y de cáncer de colon.

Identificar la fuente **correcta** a utilizar, la dosis **correcta**, momento **correcto** y lugar **correcto** para utilizar nitrógeno (enfoque de las 4C para el uso eficiente de los fertilizantes), es relevante desde el punto de vista económico para reducir costos e incrementar la rentabilidad, incrementar la eficiencia y no afectar los rendimientos.

También se pueden lograr mayores niveles de eficiencia al conocer los diferentes procesos que ocurren en las etapas del ciclo del nitrógeno (fijación, mineralización, nitrificación, desnitrificación, lixiviación, volatilización e inmovilización). La inclusión de diferentes prácticas agronómicas permite incrementar la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados si se vincula con las etapas del ciclo del nitrógeno; así, por ejemplo, es importante evitar condiciones anaeróbicas prolongadas en los suelos que producen desnitrificación; aplicaciones excesivas de N en suelos arenosos, para evitar su lixiviación y contaminación del agua; usar coberturas para regular la temperatura del suelo y, reducir las tasas de mineralización.

Por otro lado, en una publicación titulada Nutrición Vegetal Responsable: Un nuevo paradigma para apoyar la transformación del sistema alimentario (Dobermann *et al.*, 2022<sup>1</sup>), se concluye que:

- Los fertilizantes juegan un papel fundamental en la salud alimentaria y la nutrición humana.
- Los próximos 10-20 años serán críticos para llevar a cabo la transición de los sistemas de producción

---

<sup>1</sup> Dobermann, A., Bruulsema, T., Cakmak, I., Gerard, B., Majumdar, K., McLaughlin, M., ... & Zhang, X. (2022). Responsible plant nutrition: A new paradigm to support food system transformation. *Global Food Security*, 33, 100636. Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100636>

actuales a sistemas de producción que minimicen el impacto ambiental, lo que incluye el uso de fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes.

- En lugar de buscar una dosis óptima económica, hay que buscar una dosis óptima social que considere no solo las necesidades del agricultor, sino también las ambientales y las de la sociedad.
- Se sugieren asociaciones público-privadas enfocadas en modelos de negocio sustentables que generen valores agregados en la cadena de nutrientes, que beneficien tanto al agricultor como a los consumidores.
- La investigación debe estar más enfocada a la solución de problemas y debe combinar la excelencia en la ciencia con innovación empresarial para generar soluciones que puedan aplicarse en poco tiempo.
- Las políticas públicas deben estar basadas en evidencia para diseñar el camino a seguir, el cual debe incluir metas nacionales realistas, regulación progresiva, e incentivos que apoyen la innovación y la integración de las tecnologías en los negocios.

Por último, se debe innovar en nuevas formas de incrementar la eficiencia. Un ejemplo de ello es a través de la inhibición biológica de la nitrificación, donde se transfirieron genes de un pariente lejano o silvestre del trigo al trigo comercial. Este pariente produce exudados de la raíz que inhiben la nitrificación, permitiendo el uso del nitrógeno de una forma más eficiente. Si bien existen estudios (Subbarao *et al.*, 2021) que lo demuestran y avalan, aún se requieren más estudios que comprueben que está técnica puede ser utilizada en diferentes partes del mundo.

**Presentación:** Soluciones basadas en la naturaleza para optimizar la fertilidad del suelo y el uso de fertilizantes.

**Expositor:** Francisco Pugno, Gerente de Agritest SRL y Socio de Aapresid, Argentina.

Bajo este nuevo paradigma de siembra directa y agricultura regenerativa, se comenzaron a implementar las siguientes prácticas:

- Reducción del uso de productos fitosanitarios.
- No remoción de suelo, aplicación de cero labranza.
- Implementación progresiva de rotaciones con mayor intensidad y diversidad, de esta forma, se aprovechan la mayor cantidad de días al año de fotosíntesis activa o evapotranspiración, generando cobertura, secuestro de carbono y raíces vivas.

La intensidad de rotación les ha permitido que más del 90% de la superficie productiva tenga al menos dos cultivos por año. Además, se ha logrado un aumento de un 70% en los aportes de carbono al suelo y al sistema, comparándolo con una rotación típica de la zona. Mientras más especies se puedan incorporar en el espacio y tiempo de las rotaciones, mayor será la diversidad en las funciones ecosistémicas y sinergias propias de la naturaleza.

Hoy se cuentan con 10 especies en el esquema rotativo, mientras que en la zona se acostumbra a utilizar 3 o 4 especies en una rotación.

Otro tema importante es la eficiencia en el uso de nutrientes, en este tipo de sistema productivo hay una gran participación de los nutrientes en forma orgánica, dentro de los tejidos vegetales y animales y no como forma inorgánica distribuida en el suelo. Al tener sistemas vivos y verdes, la mayor parte de los nutrientes se encuentra en el sistema de manera orgánica con liberación paulatina mediante mineralización y otros procesos. También ha sido importante la incorporación de leguminosas, fijadoras de nitrógeno en simbiosis con bacterias.

Todas estas prácticas son complementarias en los sistemas para lograr alta productividad a la vez que se conservan y mejoran los suelos. Se pueden utilizar fertilizantes de fuentes inorgánicas siempre y cuando se considere un uso racional y estratégico.

Si bien aún existen desafíos, tales como la profundización de conocimientos relacionados con la biología del suelo; dinámica de nitrógeno biológico; mejora en diagnósticos de fertilidad; fertilización variable o agricultura de precisión; uso de enmiendas orgánicas complementarias en sistemas extensivos y ajustes de prácticas de manejo; a través de esta experiencia se demuestra que una transición hacia una agricultura sostenible es posible, que se puede producir restaurando y que la naturaleza ofrece opciones para alcanzar este propósito.

**Presentación:** Diagnóstico de la fertilidad y eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados.

**Expositora:** Vinisa Saynes, Consultora de la Alianza Mundial por el Suelo, FAO.

Actualmente, la fertilidad se está perdiendo. La fertilidad del suelo es lo que hace posible la transformación, formación, reciclado, almacenamiento o retención de nutrientes en los suelos, que depende de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, con una gran variedad de procesos complejos.

Alrededor de un tercio de los suelos a nivel mundial tiene algún tipo de degradación debido, en gran parte, a las prácticas agrícolas no sostenibles: labranza intensiva, interrupción del retorno de la materia orgánica de los suelos, desbalance de nutrientes, uso inadecuado de fertilizantes; y la poca conciencia de que el suelo es un recurso vivo y no es renovable en la escala humana.

La agricultura hoy en día se enfoca en mayores rendimientos, lo que significa que los nutrientes de los suelos deben distribuirse en un mayor número de plantas. Una de las principales amenazas que causa la degradación del suelo es el desbalance de nutrientes. Hay zonas con déficit de nutrientes y otras con exceso. Un 50% del nitrógeno que se aplica a los suelos termina escapando a la atmósfera o provocando contaminación de mantos freáticos y, eventualmente, afectación en ecosistemas marinos y costeros. Se estima que el 80% de la contaminación de los océanos proviene de actividades agrícolas no sostenibles.

Los suelos empobrecidos de nutrientes, ya sea en forma natural o por degradación, producen deficiencias nutricionales en plantas; bajos rendimientos o incluso la pérdida de los cultivos y deficiencias nutricionales en animales y en humanos.

El manejo sostenible de los suelos puede producir hasta 58% más de alimentos. Existe gran cantidad de estrategias que se pueden seguir, por ejemplo:

- Manejo integrado de la fertilidad de los suelos. Herramientas basadas en el manejo.
- Soluciones basadas en la naturaleza.
- Herramientas tecnológicas.

Para poder implementar cada una de estas estrategias es necesario ahondar en el conocimiento del diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Este puede ser un diagnóstico de campo, de laboratorio o de invernadero.

El diagnóstico de campo es necesario para mejorar la productividad y la calidad. Se debe entender cuáles son las causas de que un cultivo no alcance el desempeño esperado y solucionar esto de una forma sostenible y en congruencia con la salud de los suelos.

El diagnóstico de laboratorio es un diagnóstico integral de la fertilidad de los suelos y no solo un análisis químico, sino un análisis integral que considera las propiedades físicas y biológicas de los suelos. Lo que se mide son indicadores de la disponibilidad nutrimental, de la capacidad de abastecimiento que tienen los suelos. Es importante que la interpretación de los análisis sea correcta, para lo cual el apoyo técnico es esencial.

El Código internacional de conducta para el uso y manejo sostenible de los fertilizantes es una herramienta para evitar los desequilibrios nutricionales. Estas guías tienen recomendaciones para una amplia gama de usuarios y sectores (gobierno, industrias, extensionistas, academia, laboratorios y usuarios, agricultores).

En este contexto se levantan los siguientes cuestionamientos: ¿cuáles son los retos? ¿qué necesitamos atender? Las respuestas radican en el monitoreo del suelo e información actualizada; en metodologías comparables, confiables y armonizadas (Red Latinoamericana de Laboratorios de Suelo, perteneciente a GLOSOLAN) y, el fortalecimiento de capacidades.

En julio del año 2022, se realizó el Simposio Global de Suelos para la Nutrición (GS4N), en cual se concluyó que se necesita saber dónde y cómo están distribuidos estos nutrientes y cómo es posible aumentar los contenidos, sin las externalidades asociadas a las actividades agrícolas. Muchas investigaciones se centraron en que la biodiversidad del suelo surge como una solución transversal a la pérdida de la fertilidad de los suelos. Sin embargo, se necesita un enfoque preventivo más que correctivo y el manejo sostenible de los suelos sigue siendo la solución más costo efectiva.

Durante el GS4N se desarrollaron tres ideas importantes:

- Innovación. Nuevas fuentes de fertilizantes más amigables con el medio ambiente más baratas y alineadas con la mitigación del cambio climático.
- Investigación. Basada en necesidades para resolver demandas específicas de la fertilidad de los suelos.
- Fuentes recicladas. Apoyar estrategias para poder implementar los biofertilizantes y bioestimulantes de fuentes recicladas.

Por otro lado, la evaluación de la calidad de los fertilizantes no se puede seguir aplazando. Es necesario saber qué se está aplicando en los suelos, su calidad y si cumple con las regulaciones, debió a que puede provocar problemas de salud y de contaminación.

En línea con esto, varios países de la región forman parte de la Red Internacional de Análisis de Fertilizantes (INFA). INFA se estableció en diciembre del 2020 para desarrollar y fortalecer la capacidad de los laboratorios en el análisis de fertilizantes y armonizar los estándares de calidad de los fertilizantes. Opera bajo la Red Global de Laboratorios de Suelos (GLOSOLAN) y se estableció en respuesta a las solicitudes de los miembros y socios de GLOSOLAN para la armonización de los métodos de análisis de fertilizantes y en relación con la implementación del Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo Sostenible de Fertilizantes.

## **Segundo bloque: Conversatorio para el intercambio de experiencias**

**Presentación:** Valorización agrícola de las plantas acuáticas extraídas en el marco de un proyecto comunitario de lucha contra la eutrofización de una laguna andina en Colombia.

**Expositor:** Stéphane Roux, Jefe de Proyecto, Ingeniero Principal de Setec International, Francia-Colombia.

Hace poco más de un año se realizó un proyecto en la laguna Ubaque, Colombia. Esta laguna tenía problemas

de eutrofización por el crecimiento excesivo de plantas. Para poder solucionar este problema, se llevó adelante un proyecto cuyo objetivo fue extraer una parte de las plantas que crecían en el lago para disminuir la contaminación del agua por el exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo; a la vez suministrar materia orgánica para incorporar en las fincas de los productores. Cabe destacar que se trató de un proyecto con enfoque ambiental y de conservación de ecosistemas y no de erradicación. Se han limpiado 12 mil m<sup>2</sup> para liberar el espejo de agua a una profundidad que puede variar. Una vez que las plantas mueren generan materia orgánica y pueden deteriorar la calidad del agua. Se logró recuperar 530 m<sup>3</sup> de plantas extraídas y fueron entregadas a agricultores interesados en incorporar esta materia orgánica en sus fincas para mejorar las propiedades biológicas de sus suelos.

Este es un proyecto comunitario, con insumos técnicos y científicos, pero también con el objetivo de dejar una capacidad instalada para poder repetir estas operaciones los siguientes años. Antes de entregar la materia orgánica a los agricultores se identificó el tipo de suelo y tipo de agricultores con que se iba a trabajar, por lo que se realizaron análisis físicos y químicos de suelos en varios puntos de cada predio agrícola, obteniendo diferencias en términos físicos y químicos notables.

Luego de la incorporación de materia orgánica se pudo observar cambios significativos en relación con la humedad aprovechable del suelo y la densidad aparente (capacidad de retención de humedad de los suelos). El resultado favorable más importante fue el incremento en la capacidad de retención, pasando de 10 litros de agua en 40 centímetros de profundidad a 25 litros de agua después de adición e integración de materia orgánica en el mismo metro cuadrado. Esto genera una resistencia en caso de sequía bastante importante. No obstante, aún hay muchos otros parámetros que evaluar para facilitar la integración y el aprovechamiento, siendo uno de ellos el pH, debido a que el incremento de materia orgánica en los suelos regula su pH e incrementa su capacidad buffer o resistencia al cambio de acidez por incorporación de insumos externos, como fertilizantes.

La extracción de plantas de la laguna y posterior incorporación de materia orgánica en los predios supuso ciertos desafíos, resumidos en:

- Se tuvo que contar con una logística bien definida que permitiera que los agricultores estuvieran al tanto del manejo ambiental de la laguna y la producción de la materia orgánica extraída.
- Las actividades debieron estar correspondidas con la planificación agrícola de los agricultores.
- Se tuvo que articular entre todos los agricultores y los ejecutantes del proyecto comunitario.

**Presentación:** El poder de lo invisible: el impacto de los microorganismos en la seguridad alimentaria.

**Expositor:** Sergio de los Santos, Profesor e Investigador del Instituto Tecnológico de Sonora, México.

Los microorganismos con su vasta diversidad, tanto genética como funcional, asociados a cultivos específicos bajo condiciones edáficas y climáticas puntuales, son una alternativa sostenible para sortear o contribuir a la seguridad alimentaria actual y futura.

Para el uso extensivo de microorganismos benéficos en los diversos agroecosistemas de la región, se sugieren considerar los siguientes puntos:

- ¿Cuál es la problemática por atender?
- ¿Cuáles son las condiciones edáficas y climáticas del lugar donde se busca aplicar las soluciones?
- ¿Cuál es el manejo agrícola?

Respondiendo estas dudas, se puede identificar el microorganismo indicado, que permita mantener esa

diversidad natural microbiana en los suelos, porque introducir microorganismos de otros agroecosistemas con características de manejo edáficas y climáticas distintas podría generar perturbaciones en un mediano o largo plazo a través de desplazamiento de especies.

El equipo de trabajo del laboratorio de biotecnología del recurso microbiano del Instituto Tecnológico de Sonora, se ha enfocado en explorar o bio prospeccionar las comunidades microbianas asociadas a las principales zonas agrícolas en México, en este caso el Valle del Yaqui. Bajo esta iniciativa denominada COLMENA (colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos) se observan y preservan aproximadamente 1.600 cepas de diferentes zonas agrícolas importantes en el país, asociado a diferentes cultivos agrícolas en diferentes etapas fenológicas. La interacción planta/microorganismo/ambiente en general es específica y para potenciarlo se debe conocer bajo qué agroecosistemas están interactuando dichos microorganismos. El objetivo de esta colección es resguardar la diversidad microbiana asociada a los cambios de uso de suelo, disminuyendo la degradación de los suelos.

Esta colección cuenta con una [plataforma en línea](#) donde se pueden ver, buscar y comparar cepas, géneros, especies y cultivos específicos, así como la región, para poder transferir este conocimiento al agricultor bajo diferentes escenarios de prácticas agrícolas o diferentes manejos. Al rastrear, también se indica el potencial uso agrobiotecnológico.

Esta colección microbiana está sustentada en diversos estudios y aproximaciones tanto microbiológicas, bioquímicas, genómicas, metagenómicas y metabolómicas que permitan incrementar la probabilidad de éxito en su inoculación al campo, bajo condiciones edáficas y climáticas específicas. La estrategia consiste en aislar, conservar y clasificar las comunidades microbianas, analizando los posibles beneficios ambientales y económicos de su reincorporación a estos ecosistemas.

Se han realizado ensayos aplicando un consorcio de bacterias en granos de trigo, en diferentes temporadas y niveles de fertilización nitrogenada. Como resultado se ha obtenido que la inoculación de plantas de trigo potencia la generación de biomasa de la raíz y foliar, además, la inoculación tiene efectos distintos dependiendo del órgano o de la porción de la planta en que se inocula. No solo es necesario identificar qué o cuáles microorganismos aplicar a un cultivo, en ciertas condiciones de manejo edáficas y climáticas, sino que también la parte de la planta que estos inoculan juega un papel muy importante en esta interacción para conocer los beneficios.

Al llevar al campo, se ha observado que la inoculación de este consorcio bacteriano de plantas de trigo incrementa del 10 a 15% el rendimiento, aproximadamente 1 tonelada por hectárea utilizando el 50% de la fertilización nitrogenada. Esto tiene impactos económicos positivos para los productores, así como la preservación de la fertilidad del suelo, tanto química, física como biológica, y mitiga el impacto del uso no sostenible de fertilizantes sintéticos en términos ambientales (GEI, eutrofización, acumulación de especies de nitrógeno tóxicas). Esta tecnología está siendo llevada a productores agrícolas cooperantes en 300-350 hectáreas, donde se analiza qué microorganismo puede ser introducido a su agroecosistema con base en el cultivo, las prácticas de manejo, las características edáficas y climáticas y de esa manera potenciar los rendimientos y calidad de los productos agrícolas utilizando menos agroinsumos, favoreciendo la economía de los productores y revirtiendo los efectos negativos de las prácticas agrícolas no sostenibles en la generación de alimentos. Bajo este escenario se han creado estas tecnologías, que se perfilan como económicamente viables y que puedan ser adoptadas y adaptadas por todos los productores, independientemente del estatus económico, del tipo de agricultura que desarrolle, que sean socialmente justa, que optimicen el uso de recursos naturales, que no generen daños negativos al ambiente, o reviertan los que ya se tienen y que al final del día tenga una funcionalidad esperada.



Por último, cuando se habla de inoculantes microbianos o biofertilizantes o bioinoculantes, hay que considerar que no se puede generalizar. Estos inoculantes y la efectividad dependerá del género, de la especie, incluso de las cepas. No todas las cepas tienen una actividad biológica similar, por lo que no se puede asumir que un inoculante contenga cepas de un género o de otro. Cada una de estas cepas tiene interacciones o relaciones ecológicas distintas que habría que analizar, por lo que el impacto sobre las comunidades rizosféricas o endófitas o de la filósfera también tendría que estudiarse.

**Presentación:** Vinculación del uso del rastrojo, el balance de carbono, las emisiones de gases de efecto invernadero y el crecimiento del cultivo para una producción sostenible de la caña de azúcar, región noroeste de Argentina.

**Expositor:** Manuel Valencia, Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad de los Llanos, Colombia.

Para este estudio que vincula el uso del rastrojo, el balance de carbono, las emisiones de gases de efecto invernadero y el crecimiento del cultivo para una producción sostenible de la caña de azúcar en la región noroeste de Argentina, se estableció la siguiente premisa: *la caña de azúcar es una de las principales fuentes de biomasa y biocombustibles a nivel mundial*. Se proyecta que la producción de caña de azúcar aumentará a medida que se incremente la demanda mundial y continua de bioenergía. En ese sentido, en Argentina, una gran parte del rastrojo puede utilizarse para la generación de energía eléctrica, sin embargo, el manejo inadecuado del rastrojo podría representar un riesgo para el manejo sostenible del suelo.

Como antecedentes se cuenta con una alta producción de biomasa, que a la vez genera una alta producción de caña. Esto, de cierta manera, va a provocar un mayor requerimiento de energía para el procesamiento, pero también aumenta la disponibilidad de rastrojo de cosecha que queda en el campo, los que al ser llevados a una planta de cogeneración pueden ayudar a suplir los requerimientos de energía eléctrica. Sin embargo, esta demanda de energía tiene implicaciones en términos de costos, que tiene una afectación a nivel de rentabilidad. No obstante, existe una alternativa. Si se está retirando, también se puede pensar en dejar ese rastrojo de cosecha, pero existirá una relación negativa, ya que entre más rastrojo de cosecha se deje en campo más rastrojo se tendrá para cogenerar. Dejar ese rastrojo en el campo nos ayuda a mejorar los contenidos de carbono orgánico en el suelo, que va a tener efectos positivos en retención de humedad, ciclaje de nutrientes, disponibilidad de energía para el desarrollo de microorganismos, lo que tiene una implicación en la relación carbono/nitrógeno (C/N) del suelo. Aun cuando, el dejar la mayor cantidad de rastrojo incrementa los contenidos de carbono orgánico del suelo, su mineralización podría promover las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ); por lo que es necesario establecer la proporción de rastrojo a dejar en el suelo para lograr una buena relación C/N y evitar al máximo las emisiones.

Para resolver estas dudas, se planteó conocer cuál era la tasa adecuada de remoción entre lo que se retira y lo que se deja (cogeneración y lo que no se necesita). Se realizó una investigación en Jujuy, Argentina y se establecieron cuatro tratamientos: 100%, 65%, 30% y 0% de remoción de rastrojo (diseño de bloques completamente aleatorizado), con 3 réplicas. Se trabajó en un ensayo proyectado a 3 años y los resultados preliminares corresponden a 150 días de ensayo.

Partiendo de la hipótesis que las emisiones de  $N_2O$  reflejan la disponibilidad de N inorgánico del suelo, como resultado del equilibrio entre la inmovilización del N del suelo y/o del fertilizante y, la mineralización del N del suelo y/o del rastrojo, se cree que remover el 65% de rastrojo genera un equilibrio que ayuda a tener una alta tasa de inmovilización; pero a su vez, contribuye con una tasa media de mineralización, lo que lleva a una disponibilidad baja de N, reduciendo de esta forma las emisiones. Sin embargo, esto es un primer indicio y lo que se hará es tratar de demostrarlo a través del tiempo. Hasta el momento no hay diferencia estadística significativa ( $p > 0,05$ ) en la emisión acumulada de  $CO_2$  o  $N_2O$ , pero si se observa una alteración en la tendencia de remoción. Al parecer, al hacer 65% de remoción de rastrojo se genera un equilibrio en los procesos

biológicos del suelo que ha ayudado a reducir las emisiones. En conclusión, y en función de las existencias de carbono del suelo, estas dos estrategias de gestión (30 y 65% de remoción de rastrojo) podrían utilizarse para aprovechar la paja, disminuyendo el impacto ambiental. Es necesario continuar con las mediciones y los análisis para determinar el impacto de las tasas de eliminación de la paja en la tasa de cambio del carbono del suelo, el rendimiento del cultivo y las emisiones anuales acumuladas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O.

**Presentación:** Aptitud de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas para disminuir las emisiones de óxido nitroso: un estudio de caso en la caña de azúcar.

**Expositor:** Jorge Chalco, Investigador, CONICET e INTA-Estación Experimental Agropecuaria Salta, Argentina.

En la caña de azúcar existe un manejo tradicional asociado a la fertilización nitrogenada (urea incorporada en el suelo). Esta práctica, muy arraigada a este cultivo, no solo aumenta el nitrógeno sintético disponible en el suelo, sino que genera un incremento en los rendimientos y en las emisiones de óxido nitroso.

Para demostrar esto, se llevó a cabo un experimento en los predios del INTA en Salta, Argentina, cuyo objetivo era determinar el efecto de las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB) en el crecimiento, el rendimiento y las emisiones de N<sub>2</sub>O en comparación con la fertilización nitrogenada tradicional en la caña de azúcar.

Se realizaron siete tratamientos en invernadero, con condiciones semi controladas, de los cuales cuatro fueron con PGPB y otros con fertilizantes nitrogenados, más un control. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado. La inoculación se realizó a través de sumersión de las estacas. Posteriormente se realizó una re-inoculación al momento de la fertilización nitrogenada por riego localizado. Se evaluó los efectos de los tratamientos en la población de plantas y brotes, cobertura y emisiones de N<sub>2</sub>O en diferentes tiempos. Este estudio demostró que un aumento en la eficiencia de uso de nitrógeno disminuye las emisiones acumuladas de óxido nitroso. Por lo que para aumentar la eficiencia del uso de nitrógeno se han establecido dos mecanismos:

1. Disminuir las dosis de fertilizante o de nitrógeno disponible en el suelo.
2. Aumentar las unidades de biomasa generada por unidades de nitrógeno disponible en el suelo, basado en el empleo de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPB). Esto permite tener una menor disponibilidad de nitrógeno sintético en el suelo, pero no está demostrado para estas condiciones qué efecto tendría en las emisiones de óxido nitroso, en el rendimiento y en la eficiencia de uso de nitrógeno.

Las PGPB aumentaron la población final de brotes y esto se vio reflejado en un incremento de la cobertura alcanzada; en relación con N<sub>2</sub>O se observó que todos los tratamientos con PGPB obtuvieron emisiones bajas y constantes, mientras que los tratamientos con fertilizantes nitrogenados mostraron máximo a los 10 días luego de la fertilización. Se continúa la investigación para determinar el impacto de PGPB en los componentes del rendimiento y las emisiones acumuladas de N<sub>2</sub>O.

En línea con eso, se concluye que una de las principales ventajas del empleo de las bacterias PGPB es que no tienen un único mecanismo para favorecer la generación de biomasa en las plantas. Hay múltiples funciones que se caracterizan para cada bacteria e incluso a nivel cepa; por lo que una cepa contribuye a la mejora en el crecimiento vegetal con varios mecanismos, ya sean directos o indirectos. Además, las PGPB mejoraron el crecimiento inicial de cultivo sin N externo, lo cual mitigó las emisiones de N<sub>2</sub>O en el periodo analizado; sin embargo, se requerirán tratamientos adicionales para explorar la interacción entre las tasas parciales de fertilizante nitrogenado sintético y las PGPB y, analizar la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) en cada tratamiento.

**Presentación:** Rendimiento, calidad y estado nutricional de la yuca M Mex cultivada en un suelo ácido tropical en respuesta al nitrógeno y la cal.

**Expositor:** Gabrielle de Souza, Oficial de Agricultura de la División de Investigación del Ministerio de Agricultura, Tierras y Pesca, Trinidad y Tobago/ Punto focal AMS.

La yuca es la tercera fuente de carbohidratos en el Caribe. En la última década, la producción de yuca ha aumentado considerablemente en consonancia con la preocupación por la seguridad alimentaria y la necesidad de alternativas a los cereales, las patatas y los granos importados (arroz, trigo y maíz). Tradicionalmente, los bajos rendimientos (8.000 kg/ha) se asocian a factores genéticos y ecológicos, como la inadecuada fertilidad del suelo y la gestión de los nutrientes del cultivo.

Para mejorar el rendimiento, se realizó un estudio que investigó los efectos interactivos de la tasa de aplicación de nitrógeno y de la cal sobre la fertilidad del suelo; el rendimiento; la concentración de nutrientes del cultivo y, la calidad postcosecha de la yuca, cultivada en un Ultisol tropical.

Los tubérculos fueron evaluados por la presencia de estrías vasculares, método utilizado por el Centro de Investigación y Formación de Cultivos de Raíces de Filipinas (PRCRTC), método que se basa en los cambios de decoloración durante el deterioro fisiológico de los cultivos.

Como resultados de este estudio se obtuvo que el rendimiento de los cultivos aumentó significativamente con la adición de N hasta un máximo de 100 kg N/ha. En tanto, la duplicación de la dosis a 200 kg de N/ha dio lugar a una reducción significativa del rendimiento.

La adición de cal y nitrógeno redujo la aparición estrías vasculares en los tubérculos de yuca. La menor aparición de estrías se observó en los tubérculos a 200 kg N/ha con aplicación de cal, que fue significativamente menor que el control encalado y todos los tratamientos no encalados. El pH del suelo fue significativamente mayor para los tratamientos encalados en ambos ensayos. Para los tratamientos encalados, el pH del suelo aumentó significativamente desde el primer al segundo ensayo. El encalado de los suelos llevó el pH por encima de 5.5, donde no afecta el aluminio intercambiable (cuando el pH es menor de 5.5 el aluminio se solubiliza y, por lo tanto, resulta ser más abundante y tóxico para los cultivos).

Este estudio confirmó la importancia de la mejora del pH e identificó un valor de fertilización nitrogenada igual a 100 kg N/ha como óptimo para mejorar la fertilidad del suelo; el rendimiento; la nutrición de los cultivos y, la calidad postcosecha de los tubérculos de yuca.

De este estudio, se derivaron las siguientes reflexiones a socializar con los productores:

- Se debe utilizar fertilizantes, cal y materia orgánica en las dosis adecuadas (en este caso, el estudio identificó 100 kg N ha<sup>-1</sup> como óptimo para mejorar la fertilidad del suelo).
- Utilizar fertilizantes nitrogenados de liberación lenta.
- Asegurarse de ocupar las dosis adecuadas de fertilizantes, puesto que la sobreutilización puede conllevar posibles alzas en las emisiones a la atmósfera y la contaminación de los suelos.
- Las aplicaciones se deben realizar considerando el estado fenológico y demanda del cultivo.
- Es importante realizar las aplicaciones de fertilizante correctamente. Para el caso de la yuca no se debiera aplicar en contacto directo con el rizoma, pero sí en un área en que las raíces puedan acceder a él.
- Para gestionar de forma sostenible los suelos ácidos, es importante que los productores presten atención particularmente al uso de cal, porque aumentar o subir el pH es muy importante para los suelos ácidos.

- Realizar análisis de suelos previos para establecer las dosis adecuados de aplicación.

### Conclusiones del webinar + conversatorio

El suelo cobra importancia no solamente a nivel de la producción, sino también a nivel de la calidad de los alimentos que consumimos.

La Alianza Mundial por los Suelos está trabajando a través de la aplicación de las [Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible del Suelo](#), y sus herramientas asociadas, el [Protocolo para la Evaluación de la Gestión Sostenible del Suelo](#), el [Código Internacional de Conducta para el Uso y la Gestión Sostenibles de los Fertilizantes](#), el [Manual Técnico sobre Prácticas de Gestión Recomendadas para la Recarbonización Mundial de los Suelos](#), el [Programa Mundial de Doctores del Suelo](#) y la [Red Internacional de Análisis de Fertilizantes](#) para mejorar la fertilidad, prevenir la degradación del suelo, la contaminación ambiental y el cambio climático.

Antes la crisis climática y los desafíos que supone el manejo sostenible de los suelos, la respuesta parece estar en mecanismos oportunos de diagnóstico y monitoreo de la fertilidad de los suelos y la nutrición vegetal, el uso eficiente de fertilizantes y en alternativas que permitan aumentar la disponibilidad de nutrientes en los suelos para las plantas.

El suelo es un recurso natural limitado y su rol en la seguridad alimentaria es crucial. Bajo el escenario actual de cambio climático y la continua degradación del suelo, los agricultores están realizando esfuerzos para proteger y conservar suelos fértiles. Es importante visibilizar este recurso y adoptar medidas que contribuyan al manejo sostenible para mitigar el cambio climático.

El suelo es la base de la alimentación, forraje, combustible, pero además provee importantes servicios ecosistémicos que son primordiales para el desarrollo de las comunidades y del bienestar humano, entre los que se encuentran el suministro de agua limpia, resistencia a las inundaciones y a sequías, secuestro de carbono, por lo que su conservación podría contribuir en la mitigación y adaptación al cambio climático.

El suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo frente al cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de la biodiversidad. El suelo es una importante reserva de carbono, conteniendo más carbono que la atmósfera y la vegetación terrestre en conjunto. El carbono orgánico del suelo es dinámico, no obstante, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de gases de efecto invernadero. Se ha logrado un enorme progreso científico en la comprensión y explicación de la dinámica de carbono en el suelo, sin embargo, la protección y el monitoreo de las reservas de carbono en el suelo a nivel nacional y global todavía enfrentan desafíos que obstaculizan el diseño y la implementación de políticas efectivas sobre el terreno y adaptadas a las regiones en particular.