

el **Jornalero**

COMUNICAMOS E INNOVAMOS

NUTRICIÓN Y MONITOREO NUTRIMENTAL DEL BRÓCOLI.

COMO
MEJORAR EL
RENDIMIENTO
DE MAÍZ.



PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN DE LOS FERTILIZANTES FOLIARES.

CLASIFICADOR DE RED NEURONAL CONVOLUCIONAL PARA IDENTIFICAR ENFERMEDADES DEL FRUTO DE AGUACATE.

FERTILIZACIÓN EN ÁRBOLES DE NARANJO CON SÍNTOMAS DE VTC Y HLB.

BACTERIAS DEGRADADORAS DE GLIFOSATO EN LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS.

Disponible en
App Store

Disponible en
Google Play

DESCÁRGALA EN VERSION DIGITAL

Edición Número 109 2021.

16 Entérate.

26 **Ácaro Blanco**
Polyphagotarsonemus latus.

32 California, al borde del día cero sin agua.

34 Fertilización integral en árboles de naranjo 'marrs' en producción con síntomas de virus de la tristeza de los cítricos (vtc) y huanglongbing (hlb).

46 ¿Son sostenibles los invernaderos?



50 **TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUA PARA AGRICULTURA.**

54 Propiedades Físico-Químicas que Afectan la Absorción de los Fertilizantes Foliare.



58

Bacterias degradadoras de glifosato y el diseño de consorcios como estrategia en la biorremediación de suelos.

64 Consejos para Mejorar el rendimiento de Maíz.



64

76 Clasificador de red neuronal convolucional para identificar enfermedades del fruto de aguacate (*persea americana* mill.) a partir de imágenes digitales.

88 Nutrición y monitoreo nutrimental del brócoli.

94 Confirmación de razas geográficas de amaranto (*amaranthus* spp.) por análisis discriminante canónico.

106

Exportación y eficiencia del uso de fósforo en plátano 'barraganete' (*musa paradisiaca* l.)



106

120 Tiempo Libre.

Bacterias degradadoras de glifosato

y el diseño de consorcios como estrategia en la biorremediación de suelos.



El aumento de la demanda de productos agrícolas que se ha registrado en los últimos años ha llevado a los agricultores a recurrir al uso de métodos que les permiten incrementar su rendimiento, evitando las pérdidas sin aumentar demasiado sus costos. Con el objetivo de satisfacer las necesidades de alimento requerido, una gran cantidad de plaguici-

das se han aplicado a diversos cultivos de importancia evitando con ello la disminución en la producción agrícola debido a patógenos, plagas o malezas. De acuerdo con las características fisicoquímicas de los plaguicidas, éstos pueden acumularse en el agua y el suelo, impactando en la cadena trófica y llegar finalmente a los humanos. Por tal, el uso excesivo de cualquier plaguicida sin duda genera un impacto en

el ambiente, en particular, en todos los seres vivos que entran en contacto con dichas fuentes de contaminación.

En Sinaloa, la agricultura es una de las actividades económicas más relevantes sobre todo para exportación contando con poco más de 1 millón de hectáreas sembradas, por lo que se ha estimado que se emplean alrededor de 700 toneladas anuales de plaguicidas.

Glifosato



El glifosato es un fosfonato sintético utilizado como herbicida no selectivo aplicado extensamente para la eliminación de hierbas y de arbustos.

De estos, algunos se clasifican como Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAPs), siendo extremadamente peligrosos y mortales si son inhalados, así como carcinógenos, probables carcinógenos, mutagénicos, bioacumulables, persistentes en agua, suelo o sedimento, y muy tóxicos en organismos acuáticos y abejas. Los ingredientes activos utilizados en diversos cultivos en el país que destacan por su alta toxicidad son: paratión metílico, malatión, metamidofos, clorpirifos, monocrotofos, paraquat, carbofurán, metomilo, mancozeb, clorotalonil, dimetoato, carbarilo, atrazina, fosforo de aluminio, imidacloprid, cipermetrina, lambda cialotrina, endosulfán y glifosato.

El glifosato es un fosfonato sintético utilizado como herbicida no selectivo aplicado extensamente para la eliminación de hierbas y de arbustos, los cuales compiten por nutrientes afectando el crecimiento y el rendimiento del cultivo. Entre las ventajas que presenta el glifosato cabe destacar el ahorro en costos y en horas de trabajo hombre.

Sin embargo, el uso de herbicidas con actividad inespecífica así como una aplicación inadecuada del mismo pueden afectar al cultivo indirectamente al eliminar la biodiversidad de plantas y microorganismos benéficos, los cuales pueden funcionar como barrera para patógenos o como reservorio de insectos benéficos. Asimismo, el uso excesivo de glifosato y la acumulación de metabolitos tóxicos derivados de su degradación pueden provocar que estos compuestos permanezcan por más tiempo en el suelo y puedan distribuirse más ampliamente debido a las precipitaciones, la lixiviación, el desbordamiento de la superficie y el drenaje subterráneo, contribuyendo con la contaminación secundaria de cuerpos de agua, suelo, animales, plantas y alimentos, impactando diferentes ecosistemas, así como también la salud humana.

Debido a los efectos nocivos que se han reportado asociados al glifosato, el uso de este herbicida se ha sido restringido en diversas partes del mundo como la Unión Europea, Asia e incluso Estados Unidos. Recientemente, en México por decreto presidencial se ha ordenado la reducción del consumo de glifosato en la agricultura con

expectativas de lograr su erradicación para el 2024 (DOF, 2020). Sin embargo, la recuperación de los suelos ya contaminados demanda alternativas adicionales a la reducción del uso del glifosato, incluyendo el desarrollo de nuevas tecnologías o procesos que promuevan la descontaminación y recuperación de los suelos, problemática que puede ser abordada desde los enfoques de la biotecnología.

Glifosato y sus mecanismos de acción.

El glifosato es una sal isopropilamina de N- fosfonometil-glicina. Su acción es sistémica, ingresa a través de las hojas de donde se transloca a otras partes de la planta donde es mínimamente metabolizado. El mecanismo de acción del glifosato es mediante la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato-sintetasa (EPSPS), la cual participa en la vía del shikimato que se encuentra relacionada con la biosíntesis de aminoácidos aromáticos esenciales tales como el triptófano, la fenilalanina y la tirosina.



El uso excesivo de glifosato y la acumulación de metabolitos tóxicos derivados de su degradación pueden provocar que estos compuestos permanezcan por más tiempo en el suelo.

Específicamente, la enzima EPSPS cataliza la reacción entre shikimato-3-fosfato (S3P) y fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enol-piruvil shikimato-3-fosfato (EPSP) y fósforo inorgánico (Pi), en esta reacción el glifosato actúa como inhibidor competitivo de EPSPS con respecto al PEP, acoplándose el glifosato al sitio de acción de la enzima en lugar del PEP. De esta forma se reduce la síntesis de proteínas y por lo tanto se ve afectado el desarrollo de la planta y actividad fisiológica. La acción de la enzima EPSPS ocurre principalmente en el penúltimo paso en la vía del shikimato, cuya vía une el metabolismo de los carbohidratos a la síntesis de aminoácidos aromáticos y es además el punto de partida para otras rutas de síntesis, por lo que el glifosato también reduce la biosíntesis de vitaminas, cofactores enzimáticos y metabolitos secundarios incluyendo el tetrahidrofolato y la ubiquinona. El glifosato también puede afectar otras dos enzimas, la clorimato mutasa y prefrenato hidratasa, ambas también participantes en la vía del shikimato. Adicionalmente, se ha reportado que puede afectar otras enzimas no relacionadas con la vía del shikimato, como la ácido invertasa, la cual participa en el metabolismo de azúcares en la caña de azúcar.



Debido a los efectos nocivos del glifosato, el uso de este herbicida se ha restringido en diversas partes del mundo, como la Unión Europea, Asia e incluso Estados Unidos y recientemente en México.

Toxicidad.

Con respecto a su toxicidad del glifosato, existe controversia incluso entre dependencias, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) el glifosato se clasifica como toxicidad clase II, se refiere a toxicidad aguda dérmica y oral relativamente baja, cabe mencionar que la clase I es la de mayor toxicidad en la escala del I al IV. Por otro lado, COFEPRIS, clasifica al glifosato como un herbicida de tipo fosfonometilglicina grado IV

de toxicidad, quiere decir que es ligeramente tóxico. La Organización Mundial de la Salud (OMS) a través de la IARC lo clasifica dentro del grupo 2A, lo que indica que es un producto probable cancerígeno en humanos.

El glifosato es altamente soluble en agua, presente en estado iónico en solución, no se volatiliza del suelo ni del agua. Se caracteriza por presentar baja o nula actividad en el suelo, presentando muy bajo nivel de lixiviación a pesar de su alto nivel de solubilidad.

El glifosato es metabolizado por microorganismos usándolo como fuente de carbono, fósforo y nitrógeno, siendo el ácido aminometilfosfónico (AMPA, por sus siglas en inglés) el metabolito mayoritario, el cual presenta un rango de toxicidad similar al del glifosato, constituyendo una fuente de contaminación secundaria.

El glifosato puede acumularse en los suelos ya que puede ser absorbido por las partículas del suelo, mientras que el AMPA también se ha encontrado en agua superficial, interfase sedimento-agua y agua subterránea. En suelos, se ha reportado que el glifosato es tóxico para la microbiota y las lombrices de tierra, lo cual provoca una reducción de la diversidad microbiana y un incremento en las poblaciones de hongos fitopatógenos. En el caso de sistemas acuáticos, el glifosato no se ha encontrado en muestras superficiales, pero sí en sedimentos debido a sus propiedades de unirse a arcillas y materia orgánica, afectando de manera importante a organismos acuáticos. El mayor problema que se reporta es la for-

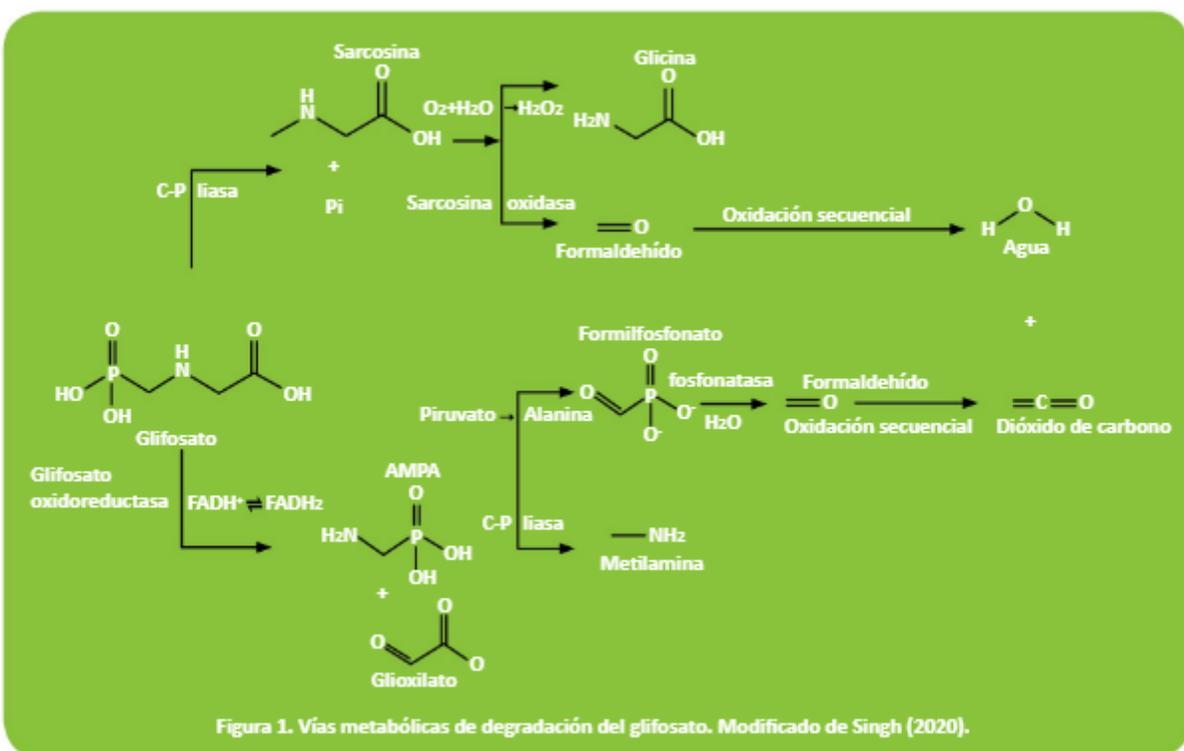
mulación del glifosato con polioxi-etileno (POEA), como surfactante ya que este compuesto provoca que el herbicida sea más tóxico que aquellos que no presentan esta formulación. Algunos de las afecciones en peces por parásitos, retardo en el crecimiento, cambios histopatológicos en órganos, alteraciones metabólicas, bioquímicas y enzimáticas de peces y microorganismos acuáticos.

Con respecto a las afecciones en la salud humana la exposición al glifosato ocasiona enfermedades dermatológicas, respiratorias, gastrointestinales y óseas, así como cáncer, subfecundidad, y desórdenes hormonales. Confirmando las afecciones que puede causar este herbicida, existen una gran cantidad de reportes científicos que muestran otros daños como toxicidad en células placentarias, actúa como un disruptor endócrino en enzimas como la aromatasa, e incluso alteración del ADN. En los ecosistemas, se ha demostrado que causa la muerte de poblaciones de insectos, incluyendo las abejas, así como efectos tóxicos en otros organismos.

El papel de la comunidad microbiana en la degradación de glifosato.

El glifosato es degradado en los suelos por mecanismos físicos, químicos y microbiológicos. La degradación por microorganismos principalmente es realizada por bacterias, aunque también se han reportado otros microorganismos como hongos y actinomicetos, los cuales pueden utilizar el glifosato y sus derivados como fuente de carbono (C), fósforo inorgánico (Pi) e incluso como fuente de nitrógeno (N).

La degradación de glifosato involucra principalmente dos vías: la primera implica la participación de una glifosato oxidoreductasa que da lugar a la formación de ácido aminometilfosfónico (AMPA) y glioxilato, siendo ésta la vía mayoritaria de degradación; la segunda es la vía C-P liasa, donde el glifosato es transportado y escindido por proteínas codificadas en el operón *phn*, produciendo Pi y sarcosina, siendo ésta última metabolizada por la sarcosina oxidada a glicina y formaldehído (Figura 1).





La aplicación de microorganismos con una alta tolerancia a los agroquímicos y que sean funcionales para una biodegradación sostenible de glifosato, brindan la posibilidad de ser utilizados para la desintoxicación in situ de ambientes severamente contaminados, evitando la introducción de bacterias extrañas al sistema ecológico.

Entre las muchas proteínas involucradas, el complejo central phnGHIJK y la proteína phnJ tienen un papel clave en el corte del enlace C-P, actuando específicamente como C-P liasa. En el caso del AMPA, este intermediario aún conserva el enlace C-P puede canalizarse a la vía CP-liasa para producir metilamina o por otras vías para producir formfosfonato y posteriormente transformado a formaldehído por una fosfonatasa.

Entre las diversas especies de bacterias que tienen la capacidad de degradar el glifosato se han reportado *Arthrobacter atrocyaneus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. soryzihabitans*, *Burkholderia gladioli*, *Ochrobactrum anthropi*, *Comamonas odontotermitis*, *Alcaligenes* sp., varias especies de *Bacillus* y bacterias oxidantes del azufre por mencionar algunas. Por ejemplo, *Bacillus cereus* CB4 se reportó con capacidad para degradar concentraciones hasta de 12 g/L (12,000 ppm) de glifosato en cultivo y además se identificaron las vías metabólicas relacionadas con la

actividad de C-P liasa y de glifosato oxidorreductasa degradando el glifosato a AMPA, glioxilato, sarcosina, glicina y formaldehído como productos.

En México, se han aislado e identificado bacterias del género *Bacillus*, *Microbacterium*, *Bordetella*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Stenotrophomonas* y *Achromobacter* en suelos agrícolas en Tamaulipas y Sinaloa, las cuales mostraron ser capaces de tolerar distintos pesticidas, entre ellos el glifosato, y utilizarlos como única fuente de C.

A pesar de que los procesos microbiológicos del suelo favorecen la degradación del glifosato, el uso excesivo de éste y otras plaguicidas puede saturar los procesos ambientales y biológicos de degradación dando como resultado su acumulación. De aquí, que las bacterias que poseen los genes que codifican las enzimas requeridas para las transformaciones de glifosato tienen el potencial para ser utilizadas en procesos de biorremediación para la descontaminación de suelos.

Diseño de consorcios bacterianos en la biorremediación de suelos.

La biorremediación es una tecnología donde se utilizan plantas o microorganismos para la transformación de contaminantes tóxicos en compuestos menos tóxicos o no tóxicos, lo cual brinda la posibilidad del diseño de procesos de descontaminación. El uso de microorganismos para la biorremediación de ambientes contaminados tiene varias ventajas, entre ellas una alta eficiencia, seguridad y bajo costo. Las bacterias con actividad degradadora de glifosato y sus derivados tienen el potencial de acelerar la degradación de glifosato en suelos altamente impactados. Sin embargo, existen pocos estudios que evalúan la remoción de glifosato en suelo. Entre estos estudios, se ha demostrado que *B. subtilis* lograron degradar un 71.57% de 5000 mg/L de glifosato en suelo no estéril, mientras que *Achromobacter* sp. Kg16 y *O. anthropi* GPK3 incrementaron de 2 a 3 veces la tasa de degradación de glifosato en suelo a las 2 semanas.



Otra estrategia promisorio para la biorremediación es el desarrollo de consorcios microbianos con actividad degradadora. Los consorcios son mezclas de dos o más especies microbianas en el que se espera una interacción sinérgica para hacer más eficiente la remoción del contaminante de interés. El intercambio de metabolitos o señales entre los miembros de un consorcio permite realizar diversas reacciones bioquímicas complejas y paralelas o secuenciales, aumentando la eficiencia de la utilización de los recursos y reduciendo la formación de subproductos. En este sentido, el diseño de consorcios formado por bacterias degradadoras de AMPA y bacterias que utilizan la vía C-P liasa resulta importante como una estrategia para reducir la concentración de glifosato y AMPA en suelos. El uso de microorganismos autóctonos para el diseño de consorcios tiene implicaciones ecológicas importantes. La aplicación de microorganismos con una alta tolerancia a los agroquímicos y que sean funcionales para una biodegradación sostenible de glifosato, brin-

dan la posibilidad de ser utilizados para la desintoxicación in situ de ambientes severamente contaminados, evitando la introducción de bacterias extrañas al sistema ecológico. No obstante, el desarrollo de un consorcio requiere de una completa caracterización de las bacterias con actividad degradadora, así como pruebas experimentales que demuestren la compatibilidad de las bacterias para conformar un consorcio eficiente en la remoción de glifosato, y que no resulten en interacciones antagonistas entre los miembros del consorcio.

El uso de microorganismos es una estrategia prometedora no solo para reducir la contaminación por glifosato y AMPA, sino que puede extenderse para la biorremediación de suelos altamente contaminados con otros agroquímicos y sustancias tóxicas. El desarrollo de consorcios bacterianos funcionales resulta ser crucial para establecer estrategias y planes de manejo de zonas altamente impactadas, utilizando microorganismos nativos para acelerar los procesos de descontaminación.

Estas acciones se esperan contribuyan a reducir los efectos negativos en seres vivos, la contaminación de alimentos y de otros ecosistemas, así como la restauración hacia suelos más fértiles y productivos. ■

Agradecimientos.

A CONACYT por el apoyo al proyecto 316020 "Aislamiento de bacterias degradadoras de glifosato y AMPA: alternativas biológicas para la biorremediación de suelos contaminados" y a la dirección de Investigadores Nacionales CONACYT con el proyecto 784 "Genómica funcional de organismos de importancia agroalimentaria para México" por el apoyo a la Dra. Claudia Villacoña.