

Nitrógeno

La espada de doble filo

CHRISTINE JONES

El nitrógeno es un componente de las proteínas y el ADN y como tal es imprescindible para todos los seres vivos. Previo a la revolución industrial, en torno al 97% de nitrógeno que mantenía la vida en la tierra era fijado biológicamente. En el siglo XX, la intensificación en los cultivos junto con una falta de comprensión de las comunidades microbianas del suelo, han dado lugar a un aumento de la aplicación de formas de nitrógeno producido de manera industrial y una reducción de la actividad biológica en las tierras de cultivo.

En 2013, los agricultores australianos se gastaron cerca de \$3 billones en nitrógeno inorgánico. A nivel global, más de \$100 billones de fertilizantes de nitrógeno se aplican a cultivos y pastos todos los años. Entre el 10% y el 40% de ese N lo utilizan las plantas. El otro 90-60% se lixivia en el agua, volatiliza en el aire o queda inmovilizado en el suelo.

Impactos del nitrógeno inorgánico

La aplicación de altas tasas de N inorgánico en sistemas agrícolas ha tenido muchas consecuencias no intencionadas para el funcionamiento del suelo y la salud ambiental. Los datos de la finca experimental más antigua de Estados Unidos acerca de los impactos de los métodos de producción agrícola en la calidad del suelo, han rebelado que altos aportes de N agotan el carbón del suelo, atrofian su capacidad para retener agua - e irónicamente - también agotan el N del suelo.

Estos factores están implicados en las causas subyacentes de los abundantes informes del estancamiento de las cosechas en el mundo.

La evidencia sugiere que aunque el N sea fundamental para el crecimiento vegetal, la aplicación de grandes cantidades de N como fertilizante inorgánico es perjudicial para el suelo. Y también perjudicial para el agua. El ministerio de agricultura de los Estados Unidos estima que el costo de limpiar de nitratos el agua potable de su país es de más de \$4,8 billones al año, mientras que las pérdidas de N de las tierras agrícolas son la principal fuente de contaminación nutricional que han contribuido a la masiva “zona muerta” del Golfo de México.*

Afortunadamente no todas las noticias son malas. Las tasas de aplicación de fertilizante han bajado en los últimos años en algunos países desarrollados. Francia, Alemania y Reino Unido han tenido éxito manteniendo altos rendimientos con la mitad de fertilizante del que usaban en los 80.

Un manejo rentable del N es la clave para una agricultura productiva y lucrativa. También es la clave para construir carbón en el suelo. Las formas estables de carbón (como el humus) no se pueden formar en presencia de altas tasas de nitrógeno inorgánico, debido a la inhibición de los microbios esenciales para su secuestro.

Fijación biológica del nitrógeno (BNF)

En una escala global, se considera que el 65% del N utilizado por los cultivos y los pastos proviene de la fijación biológica del N. Hay perspectivas para un incremento considerable. El suministro de N es inagotable, ya que el dinitrógeno (N₂) forma casi el 80% de la atmósfera terrestre. La clave es transformar el gas N inerte en una forma biológicamente activa.

Gran parte del N utilizado actualmente en agricultura deriva del proceso de Haber-Bosch, desarrollado a principio de 1900. Este proceso combina de manera catalítica el N atmosférico con hidrógeno derivado del gas natural o el carbón, para producir amoníaco en condiciones de alta temperatura y presión. El proceso Haber-Bosch utiliza recursos no renovables, requiere energía y es caro.

Afortunadamente, gracias a la “magia enzimática”- el N atmosférico se puede transformar en amoníaco por una gran cantidad de bacterias y arqueobacterias fijadoras de nitrógeno - gratis.

Idealmente, el amoníaco recién fijado es incorporado rápidamente en moléculas orgánicas como aminoácidos y humus. Estas moléculas estables son vitales para la fertilidad del suelo y no pueden ser volatilizados o lixiviadas del sistema del suelo. Es importante destacar que la estabilización de nitrógeno requiere un suministro constante de carbono - también fijado biológicamente. Vamos a llegar a eso en un momento.

¿Qué microorganismos participan?

Es importante reconocer que la capacidad de fijar N no está limitada a las bacterias asociadas con las leguminosas. La clorofila es parte de un complejo de proteínas, por tanto donde vea plantas verdes habrá también una asociación con bacterias y arqueobacterias fijadoras de N.

A diferencia de las bacterias rizobio**, la mayoría de los microbios que fijan el nitrógeno no son capaces de ser cultivados en el laboratorio. Esto ha planteado desafíos técnicos para la evaluación de su función ecológica. Métodos biomoleculares recientes para determinar la presencia de *nifH*, el gen de la reductasa de la nitrogenasa, han revelado una vertiginosa variedad de bacterias y arqueobacterias, de vida libre y asociativas, fijadoras de nitrógeno en una amplia gama de entornos.

Aunque faltan los procedimientos para cuantificar la cantidad de nitrógeno fijado por muchos de estos grupos, lo que sí sabemos es que la diversidad y abundancia de microbios fijadores de nitrógeno son mucho mayores donde hay cubierta vegetal todo el año (en particular las plantas de la familia de las gramíneas), en comparación con los suelos que han tenido barbechos desnudos.

Además de las bacterias fijadoras de nitrógeno y arqueobacterias, los hongos micorrizas también son de vital importancia para el proceso de fijación del N. Aunque los hongos micorrícicos no fijan el nitrógeno, transfieren la energía en forma de carbono líquido (Jones 2008) a los fijadores asociativos de nitrógeno. También transportan nitrógeno fijado biológicamente a las plantas en forma orgánica, por ejemplo, como aminoácidos: incluyendo glicina, arginina, quitosano y glutamina.

La adquisición y transferencia de nitrógeno orgánico por hongos micorrizas es de alta eficiencia energética. Esta vía cierra el bucle del N, reduciendo la nitrificación, desnitrificación, volatilización y lixiviado. Además, el almacén de nitrógeno orgánico previene la acidificación del suelo.

La vía del carbono líquido

A pesar de su abundancia en la atmósfera, el nitrógeno es con frecuencia el elemento más limitante para las plantas. Hay una razón. El carbono, esencial para la fotosíntesis y el funcionamiento del suelo, se da como un oligogás (gas traza), el dióxido de carbono, que actualmente es el 0,04% de la atmósfera. La manera más eficiente de transformar el CO₂ en complejos orgánicos estables de suelo (que contienen C y N) es a través de la vía líquida del carbón. La necesidad de N fijado biológicamente determina este proceso.

Si las plantas fueran capaces de acceder al nitrógeno directamente de la atmósfera, su crecimiento sería impedido por la ausencia de una capa superficial de suelo rica en carbono. Estamos siendo testigos de una situación análoga en la agricultura actual. Cuando se proporciona N inorgánico, el suministro de carbón a los microbios asociativos fijadores de nitrógeno se inhibe, dando lugar a suelos agotados de carbono.

Los flujos reducidos de carbono impactan en una vasta red de comunidades microbianas, restringiendo la disponibilidad de minerales esenciales, oligoelementos, vitaminas y hormonas necesarios para la tolerancia de las plantas al estrés ambiental, como heladas y sequías y la resistencia a insectos y enfermedades. La disminución de la densidad de micronutrientes en las plantas también se traducen en una reducción de valor nutricional de los alimentos.

Sobre la tierra, el crecimiento de plantas a menudo parece "normal", por lo tanto, la conexión con fallos en la función del suelo puede no ser inmediatamente obvia. Pero en el fondo, nuestros suelos están siendo destruidos.

Idealmente, las prácticas de manejo de la tierra - y cualquier mejora utilizada en la agricultura - deben mejorar la tasa de fotosíntesis y aumentar el flujo de carbono al suelo, mediante el apoyo a las comunidades microbianas asociadas a las plantas (Fig.1).

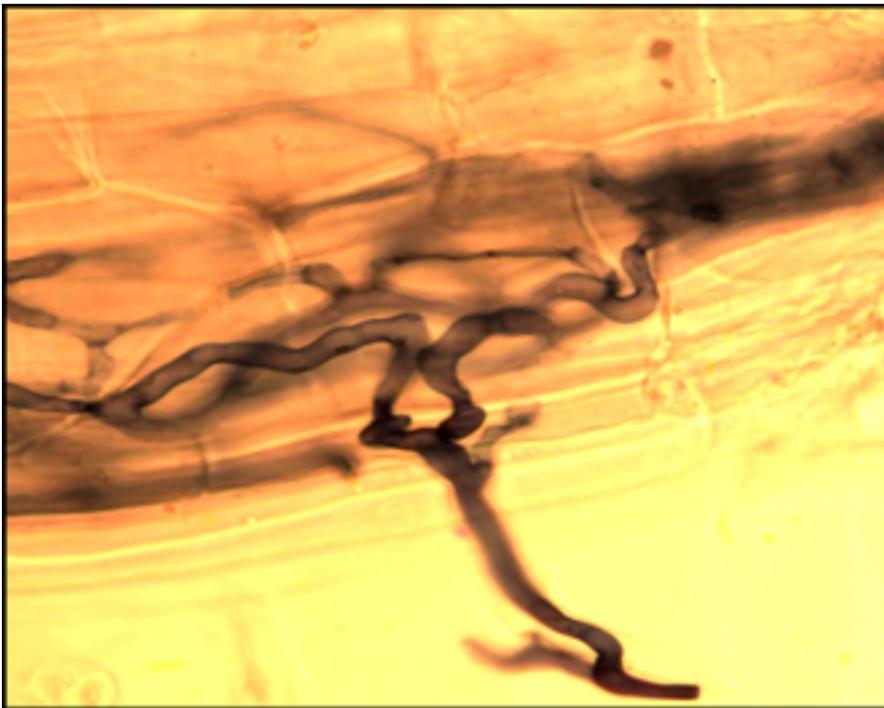


Fig1. Sección transversal de la raíz de una planta que muestra las hifas, a modo de hilos, de hongos micorrízicos. La micorriza envía energía solar empaquetada como carbono líquido a una amplia gama de microbios del suelo que intervienen en la nutrición vegetal y la supresión de las

enfermedades. Nitrógeno orgánico, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio, hierro y oligoelementos esenciales tales como zinc, manganeso y cobre se devuelven a las plantas huéspedes a cambio de carbono. Las transferencias de nutrientes son inhibidas cuando se aplican altas tasas de nitrógeno (y / o fósforo) inorgánicos. Foto: Jill Clapperton.

Calcular los niveles Brix con un refractómetro es una manera fácil de evaluar la velocidad a la que las hojas verdes hacen la fotosíntesis y por lo tanto apoyan a los microbios asociativos del suelo. Cualquier variable que reduzca la capacidad fotosintética de la tierra o la tasa fotosintética de la vegetación NO es sostenible.

¿Cómo podemos utilizar nuestra comprensión de la vía de carbono líquido para restaurar la fertilidad natural de las tierras agrícolas?

Los agregados son la clave

Los agregados son pequeños “grumos” en el suelo que proveen condiciones para el cultivo, porosidad y capacidad de retención de agua. A no ser que los suelos estén agregándose de manera activa, no fijarán cantidades significativas de N atmosférico ni secuestrarán formas estables de carbón. Las 3 funciones, agregación, fijación de N biológico y secuestro de C estable, son interdependientes.

Los microbios que participan en la formación de los agregados del suelo requieren una fuente de energía. Esta energía inicialmente proviene del sol. En el milagro de la fotosíntesis, las plantas verdes transforman la energía de la luz, el agua y el dióxido de carbono en energía bioquímica, que se transfiere al suelo como carbono líquido a través de una intrincada red de hongos micorrizas y bacterias asociadas.

¿A qué se parecen los agregados del suelo?



Fig2. Las dos plantas de trigo a la izquierda fueron cultivadas con pastos perennes en un cultivo sobre pasto mientras que la planta de trigo de la derecha se cultivó en suelo desnudo adyacente, con una aplicación de 100 kg/ha DAP (fertilizante de fósforo y nitrógeno).

Tenga en cuenta los pequeños bultos que se adhieren a las raíces del trigo cultivado sobre pasto (Fig. 2). Estos racimos son formados por los microbios que utilizan carbono líquido de las raíces. Los microagregados, demasiado pequeños para ser vistos a simple vista, están unidos por adhesivos y gomas microbianas y las hifas de los hongos micorrícicos (también usando carbono líquido), para formar grumos más grandes llamados macroagregados, generalmente de 2-5 mm de tamaño.

Los macroagregados son esenciales para las condiciones del suelo, estructura, aireación, infiltración, capacidad de retención de agua, fijación biológica de nitrógeno y secuestro de carbono. En resumen, no es posible mantener suelos sanos sin ellos.

Vamos a echar un vistazo dentro de un macroagregado, cortesía de esta fabulosa ilustración (Fig. 3) por Rudy García, Estado Agrónomo con el USDA Servicio de Conservación de Recursos Naturales en Nuevo México.

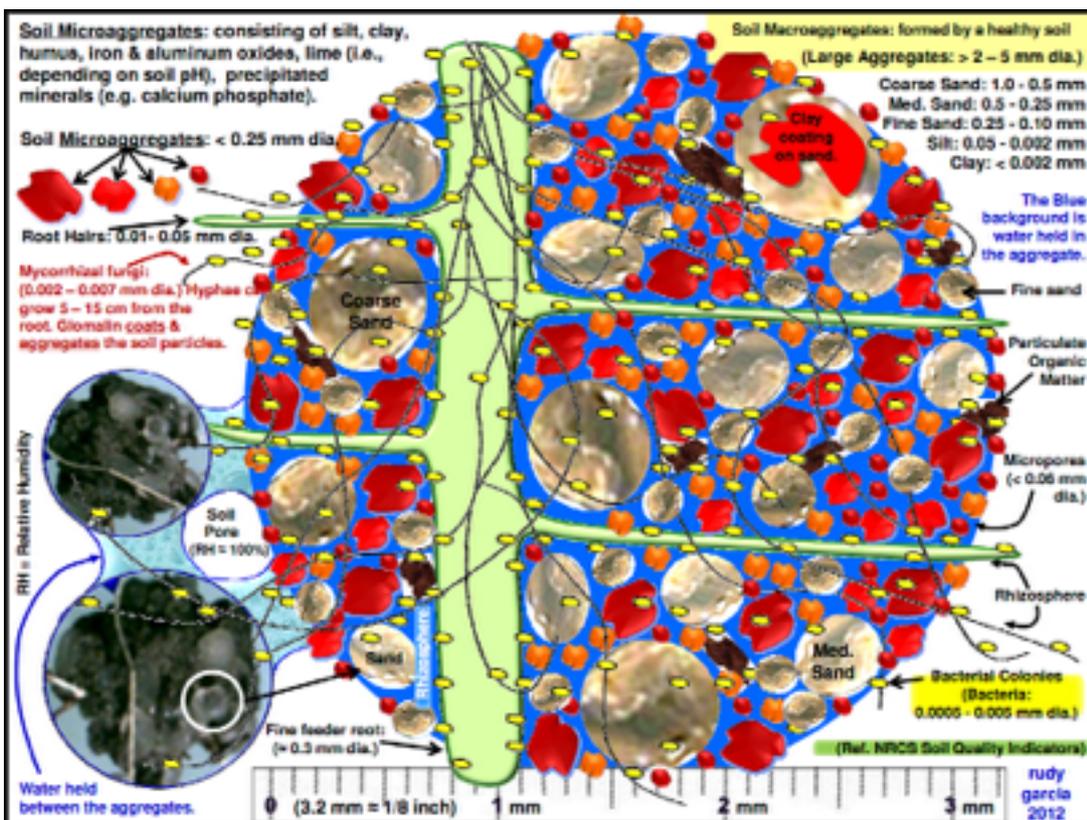


Fig.3. Representación esquemática de un macroagregado del suelo. La línea vertical verde es una raíz (que nutre bien) y las líneas horizontales verdes son pelos de la raíz. El surtido de partículas rojas y anaranjadas son microagregados mientras que las formas marrones dispersas representan partículas de materia orgánica. Las esferas claras son granos de arena de varios tamaños, a menudo recubiertos con óxidos de hierro y aluminio, mientras que las pequeñas elipses amarillas son colonias bacterianas, incluyendo especies fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. Las finas hebras distribuidas en múltiples direcciones son las hifas de los hongos micorrícicos, esenciales para envolver las partículas del suelo y para el suministro de carbón a las comunidades microbianas dentro del agregado. Dependiendo del pH del suelo, también habrá minerales precipitados tales como fosfato de hierro o fosfato de calcio. El fondo azul es agua contenida dentro del agregado. Ilustración cortesía Rudy García, USDA-NRCS

Una característica clave es que los niveles de humedad y de carbono líquido son más altos dentro de los agregados de la raíz que en el suelo circundante, mientras que la presión parcial de oxígeno es inferior dentro los agregados de la raíz que en el suelo circundante. Estas condiciones son esenciales

para el funcionamiento de la enzima nitrogenasa utilizada para la fijación biológica del nitrógeno y también para la formación de humus.

Dentro de los agregados de la raíz, el carbono líquido se transfiere de los pelos finos de la raíz a las hifas de los hongos micorrícicos y de allí a las comunidades microbianas altamente complejas. Los microbios que reciben este carbono - y sus metabolitos - juegan un papel decisivo en la transformación de los azúcares simples a polímeros húmicos altamente estables, una parte de los cuales comprende nitrógeno fijado biológicamente y fósforo solubilizado de manera bacteriana. El hierro y el aluminio, que se producen en forma de óxidos en la matriz mineral, son catalizadores importantes.

Actualmente se reconoce que los exudados de las raíces de plantas hacen una mayor contribución a formas estables de carbono en el suelo (es decir, a los complejos órgano-minerales que contienen carbono orgánico y nitrógeno orgánico) que la que hace la biomasa aérea (Schmidt et al. 2011)

Pero aquí está el problema. La colonización micorrícica es baja cuando se aplican grandes cantidades de N inorgánico y las micorrizas están inactivas en ausencia de plantas. De ahí que la fijación biológica de nitrógeno y la humificación sean raras en los sistemas agrícolas donde los cultivos fuertemente fertilizados con N están en rotación con barbechos desnudos. Más aún, se ha demostrado que hasta 80kg N/ha pueden volatilizarse de los barbechos desnudos de verano debido a la desnitrificación. Si las plantas verdes están presentes, este N puede ser absorbido y reciclado, evitando la pérdida irreparable.

Cuando el suelo está desnudo no hay fotosíntesis y muy poca actividad biológica. Los suelos desnudos pierden carbono y nitrógeno, los ciclos de nutrientes se vuelven disfuncionales, los agregados se deterioran, la estructura empeora y la capacidad de retención de agua se reduce. Los barbechos desnudos, diseñados para almacenar humedad y retener nutrientes, resultan contraproducentes.

El mantenimiento de barbechos desnudos - o el uso de altas tasas de N inorgánico en cultivos o pastos - o peor, ambos - dan como resultado el desajuste de los ciclos del nitrógeno y del carbono que han funcionado de forma sinérgica durante miles de años. La fotosíntesis es el proceso más importante que sustenta la vida en la tierra. La fijación biológica de nitrógeno (no la fijación leguminosa) es el segundo.

Es importante distinguir entre el nitrógeno fijado dentro de nódulos en las raíces de las leguminosas y el nitrógeno fijado dentro de los agregados formados en asociación con las raíces de las no leguminosas. En este último, el nitrógeno puede ser incorporado en aminoácidos y sustancias húmicas. Esto es mucho menos probable que ocurra en la leguminosa pura. Las legumbres son ricas en minerales y oligoelementos y forman una parte importante de los sistemas agrícolas. Sin embargo, a menos que las leguminosas se cultiven en mezclas con no leguminosas, pueden agotar el carbono del suelo a través del mismo mecanismo que las altas tasas de fertilizantes.

Mejorando la vía del carbono líquido

Hay un creciente reconocimiento de la importancia fundamental de las comunidades microbianas del suelo a la productividad de la planta. Por desgracia, muchas de las funciones biológicas se ven comprometidos por las prácticas agrícolas de uso común.

El rediseño de la práctica agrícola no es difícil. El primer paso es el reconocimiento de la importancia de la presencia durante todo el año de las plantas verdes y las poblaciones microbianas que sustentan.

El rediseño tiene el potencial de reducir significativamente el impacto de muchos "problemas" asociados con la agricultura química, incluyendo la pérdida de C del suelo, la reducción de N, la compactación del suelo, la disminución de pH, la baja disponibilidad de nutrientes, la resistencia a herbicidas y el deterioro de la capacidad de retención de agua.

Hay cuatro principios básicos para la agricultura regenerativa, probados para restaurar la salud del suelo y aumentar los niveles de carbono orgánico y nitrógeno orgánicos. Con ellos, los propietarios de las tierras pueden construir un paquete de gestión integrada de la tierra que se adapte a sus necesidades individuales.

1) Mantener una cobertura vegetal todo el año, vía pastos perennes en tierras pastoreadas y/ o cultivos de cobertura de diversas especies en tierras de cultivo. Casi todo lo que vive en y sobre el suelo depende de las plantas verdes (o lo que antes fue una planta verde) para su existencia. A más plantas verdes, más vida.

Es bien aceptado que las cobertura vegetal amortigua las temperaturas del suelo y reduce la erosión, pero es tal vez menos reconocido que la cobertura vegetal verde de crecimiento activo también alimenta la vía de carbono líquido que a su vez apoya, entre otras cosas, los hongos micorrícicos, las bacterias asociativas fijadoras de N y las bacterias solubilizadoras de fósforo - todo lo cual es esencial tanto para la nutrición del cultivo como para la formación de carbono humificado estable.

2) Proporcionar soporte para el puente microbiano, para mejorar el flujo de carbono de las plantas a los suelos. Esto requiere la reducción de insumos de N y P que inhiben la comunicación bioquímica compleja entre las raíces de las plantas y los microbios

3) Promover la biodiversidad vegetal y microbiana. Cuanto mayor sea la diversidad de plantas, mayor será el control y equilibrio para las plagas y enfermedades y mayor será la gama de microhábitats para los organismos del suelo que participan en la adquisición de nutrientes, el ciclo de nutrientes y la construcción del suelo.

4) La tierra responde de manera positiva a la presencia de animales si el manejo es apropiado. Además de los beneficios derivados de la adición de estiércol y orina en los suelos, el pastoreo de alta intensidad y corta duración aumenta la exudación de las raíces y estimula el número y la actividad de las bacterias asociativas fijadoras de nitrógeno en la rizosfera, que se disparan en respuesta a la defoliación y proporcionan el N extra requerido por la planta para la producción de un nuevo crecimiento.

El destete de los fertilizantes nitrogenados

Las actividades de las bacterias fijadoras de N, tanto simbióticas como asociativas, son inhibidas por los altos niveles de N inorgánico. En otras palabras, a más fertilizante de nitrógeno aplicado, menos N se fija por procesos naturales.

Por lo tanto es importante destetar a sus suelos de N inorgánico - pero por favor, hágalo lentamente. Las comunidades microbianas necesitan tiempo para adaptarse. La funcionalidad del suelo no puede regresar de un día a otro. La transición requiere por lo general alrededor de tres años.

Los aportes de nitrógeno pueden reducirse un 20% en el primer año, otro 30% en el segundo año y un 30% más en el tercer año. En los siguientes años, la aplicación de una pequeña cantidad de N inorgánico (hasta 5kgN / ha) ayudará a primar los procesos de fijación de nitrógeno naturales.

Mientras eliminamos las altas tasas de N inorgánico también se debe tratar de mantener la mayor diversidad de cubierta vegetal posible durante todo el año en los cultivos y pastos.

Conclusión

La fijación biológica del nitrógeno es el factor clave de los ciclos del nitrógeno y del carbono en todos los ecosistemas naturales, tanto en tierra como en agua. Cuando se maneja adecuadamente, la fijación biológica de nitrógeno también puede ser el principal determinante de la productividad de las tierras agrícolas.

Muchos agricultores de todo el mundo están descubriendo de primera mano cómo el cambio de los barbechos desnudos a cobertura verde diversa anual, junto con la gestión ganadera adecuada y la reducción de las aplicaciones de nitrógeno inorgánico, puede restaurar la fertilidad natural del suelo.

Mejorar el funcionamiento del suelo proporciona beneficios tanto en las explotaciones agrícolas como en el medio ambiente en general.

Para más información visite www.amazingcarbon.com

* Las zonas muertas se producen por Hipoxia, cuando de manera natural o producido por el hombre la concentración de oxígeno del mar baja provocando una mortalidad importante de los seres vivos del ecosistema. En el caso del Golfo de México la hipoxia resulta de una combinación de factores naturales y de influencia humana. La cuenca del río Mississippi ocupa el tercer lugar en el mundo por su tamaño después de las cuencas de los ríos Amazonas y Congo. Drena aproximadamente el 41 por ciento del territorio de Estados Unidos colindante con él, un total de tres 3.200.000 kilómetros cuadrados, transportando al Golfo de México agua dulce, sedimentos y nutrientes. Al entrar al Golfo de México, el agua dulce de la cuenca hidrográfica del Mississippi flota sobre el agua más densa y salada del golfo y su resultado es una estratificación de la columna de agua. Esta estratificación se intensifica en el verano y no permite que el oxígeno de las capas superiores del golfo se profundice. Además, la descarga del río Mississippi contiene niveles altos de nutrientes, tales como nitrógeno, fósforo y sílice; parte de ellos son naturales pero muchos derivan de la amplia utilización de fertilizantes en tierras de cultivo que drenan al Mississippi y por último al Golfo de México.

Como en el caso de los fertilizantes que se aplican a los pastos y granos, estos nutrientes estimulan el crecimiento del fitopláncton (plantas microscópicas o algas) en las aguas superficiales del golfo. Estas plantas microscópicas sustentan a su vez al resto de la cadena alimenticia marina. Sin embargo, cuando estas plantas mueren y llegan al fondo, la descomposición natural de este material orgánico despoja a las aguas profundas del golfo del poco oxígeno que pudieran contener.

En las cuatro últimas décadas, la cantidad de nitrógeno transportada por la cuenca del Mississippi se ha triplicado. Las algas producen en la actualidad más carbono del que producían históricamente y las condiciones de agotamiento de oxígeno han empeorado. Este mismo proceso de hipoxia ocurre en cualquier otro lugar del mundo donde el hombre haya alterado la química de los ríos. Los mares Negro, Báltico y Adriático, la Bahía de Chesapeake, el Canal de Long Island y el Canal Pamlico-Abermarle son ejemplos notables de este fenómeno. La zona hipóxica del norte del Golfo de México es la tercera del mundo por su tamaño y cubre, a mitad del verano, un área del fondo del océano de 3,000 a 4,000 millas cuadradas, que por su dimensión es igual a Nueva Jersey.

** Rizobio: bacterias del perfil de suelo que fijan nitrógeno diazotrófico después de haberse establecido endosimbióticamente dentro de nódulos radiculares de las leguminosas. Los rizobios no pueden fijar nitrógeno atmosférico independientemente: requieren una planta hospedante.