



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

UN NUEVO PARADIGMA PARA LA NUTRICIÓN DE PLANTAS

Resumen informativo, Noviembre 2020

PUNTOS CLAVES

Los aportes de nutrientes desempeñan un papel fundamental en el crecimiento de los cultivos y la cría de ganado para la seguridad alimentaria, la nutrición humana y otros usos en la bioeconomía. Su producción y manejo deben cambiar para nutrir los cultivos de manera más efectiva, reducir daños al medio ambiente causados por las pérdidas de nutrientes y contribuir a la restauración de la salud del suelo. Un nuevo paradigma para la nutrición vegetal sigue un enfoque de sistema alimentario en el que se deben lograr múltiples objetivos socioeconómicos, ambientales y de salud (Fig. 1).



Figura 1. Los cinco objetivos interconectados de la nutrición de plantas responsable y las seis acciones clave a tomar.

Los próximos 10 a 20 años serán críticos para hacer la transición a un sistema alimentario global en el que todas las partes interesadas consideren los alimentos y los nutrientes de manera integral, incluidos sus costos ambientales, sanitarios y socioeconómicos ocultos. Los consumidores, así como los gobiernos y otras partes interesadas, deben apoyar tal transformación porque los agricultores y la industria que los apoya no podrán implementar todas las acciones requeridas por sí solos.

El resultado de esta transformación será un nuevo óptimo social de nutrición vegetal en lugar de un óptimo puramente económico. La nueva economía nutricional se convertirá en un componente integral de una economía circular, respetuosa con el medio ambiente y con bajas emisiones de carbono, que respaldará las necesidades alimentarias y nutricionales de una población mundial en aumento y mejorará los ingresos y los medios de vida de los agricultores de todo el mundo.

¿CUÁL ES EL PROBLEMA?

La producción agrícola mundial ha crecido a una tasa media anual de alrededor del 2.2% durante los últimos 60 años, aunque con grandes variaciones entre países (1). Se requerirá un crecimiento similar en un futuro próximo para alimentar a una población mundial en crecimiento y mejorar los medios de vida rurales. A largo plazo, la desaceleración del crecimiento de la población, el cambio de dietas, la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos y un mayor reciclaje de nutrientes aliviarán la presión para producir más alimentos y utilizar más recursos naturales en ese proceso.

Históricamente, el desarrollo económico ha sido más rápido en regiones del mundo donde el uso de fertilizantes y el rendimiento de los cultivos

aumentaron en paralelo (2). El acceso cada vez mayor a los fertilizantes minerales ha sido uno de los principales ingredientes para alimentar a la población mundial en rápido crecimiento (3). Los rápidos aumentos en los rendimientos de los cultivos también impidieron una expansión mucho mayor de la agricultura en tierras naturales que se habría producido de otro modo (4). Por otro lado, en muchas regiones, la agricultura intensiva para apoyar los patrones emergentes de consumo de alimentos ha dado lugar a externalidades relacionadas con los nutrientes que son difíciles de gestionar, como la degradación de la tierra, la pérdida de biodiversidad, la extracción insostenible de agua, la eutrofización de muchas aguas dulces y ecosistemas marinos costeros, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero o la desigualdad entre agricultores (5).

Los niveles de perturbación antropogénica de los flujos globales de nitrógeno y fósforo ya pueden superar los límites que se consideran un espacio operativo seguro para la humanidad (6). Si bien las actividades agrícolas a nivel de finca representan del 9 al 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de todas las actividades humanas, una contabilidad completa del sistema alimentario mundial, incluido el cambio de uso de la tierra y la producción de fertilizantes, eleva la cifra del 21 al 37% (7). Las emisiones de óxido nitroso (N_2O) inducidas por el hombre, dominadas por la adición de fertilizantes a las tierras de cultivo, han aumentado en un 30% desde la década de 1980 (8). Los sistemas alimentarios actuales también favorecen la producción de cultivos básicos a expensas de cultivos alimentarios más ricos en micronutrientes. Si bien el hambre y la desnutrición han disminuido significativamente en las últimas décadas, han persistido obstinadamente en África subsahariana y otras regiones, incluidas las deficiencias relacionadas con los micronutrientes que afectan particularmente a mujeres y niños (9). El número de personas que no tienen acceso a alimentos suficientes y nutritivos puede seguir aumentando nuevamente debido a conflictos, extremos climáticos, recesiones económicas o brotes de enfermedades (10).

Se ha estimado que \$12 millones de millones de costos sanitarios, ambientales y socioeconómicos ocultos están asociados con el sistema alimentario mundial, que es mayor que la producción del sistema a precios actuales (11). Si bien la seguridad alimentaria, mediante el aumento de la productividad de los cultivos y los animales, seguirá siendo de enorme importancia a la luz de una población prevista de alrededor de 9.500 millones para 2050 (12), ya no es el único objetivo. La transición a un sistema alimentario mundial más sostenible requiere que todas las partes interesadas gestionen los nutrientes y todo su ciclo de vida de una manera más holística. Las futuras soluciones de nutrición vegetal deberán abordar múltiples desafíos globales y regionales relacionados con los nutrientes en el sistema alimentario.

En ese contexto, diez preguntas de nivel superior que deben resolverse en los próximos 20 años son:

1. ¿Cómo podemos superar el actual desequilibrio mundial de nutrientes?

Durante muchas décadas, el aumento de la producción agrícola y ganadera estuvo estrechamente relacionado con el aumento de la aplicación de nitrógeno y otros nutrientes, así como con el comercio internacional de forrajes y alimentos. Esto ha llevado a una brecha global, que va desde grandes excedentes de entrada-salida de nutrientes y contaminación ambiental en algunas regiones hasta grandes déficits de nutrientes en otras (Fig. 2). A escala mundial, ¿cómo se puede desvincular el crecimiento futuro de la producción de cultivos primarios del crecimiento del consumo de fertilizantes? ¿Cuáles son las metas y las hojas de ruta específicas de los países para el uso de fertilizantes y la eficiencia en el uso de nutrientes que lo permitirán?

2. ¿Cuáles son las medidas clave para duplicar o triplicar los rendimientos de los cultivos en África con aportes de nutrientes crecientes y equilibrados?

África tiene enormes déficits de nutrientes que deben superarse para aumentar el rendimiento de los cultivos y lograr niveles más altos de seguridad alimentaria en una generación (13). El uso promedio de fertilizantes en África subsahariana es de unos 20 kg de nutrientes / ha y supera los 50 kg / ha en solo unos pocos países, lo que está muy por debajo de lo que se requiere para impulsar la producción de cultivos y reponer la fertilidad del suelo después de décadas de agotamiento. El fertilizante por sí solo no será suficiente para elevar el rendimiento de los cultivos, pero es un ingrediente clave para desencadenar una Revolución Verde Africana (14), que debe basarse en buena información, incentivos para el uso eficiente de nutrientes y medidas específicas para abordar también las formas persistentes de desnutrición.

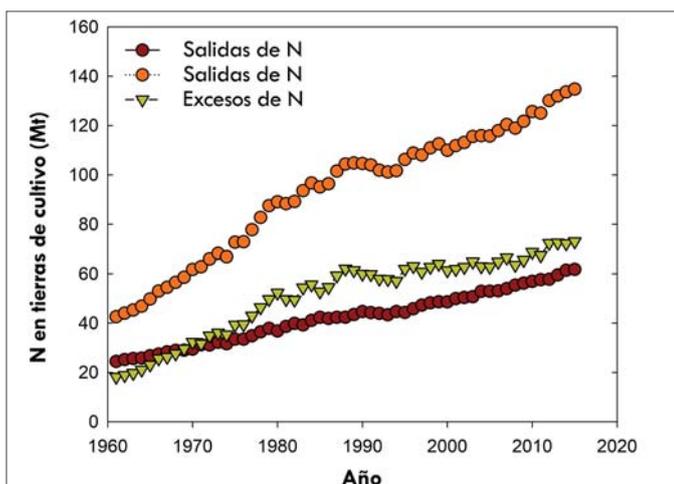
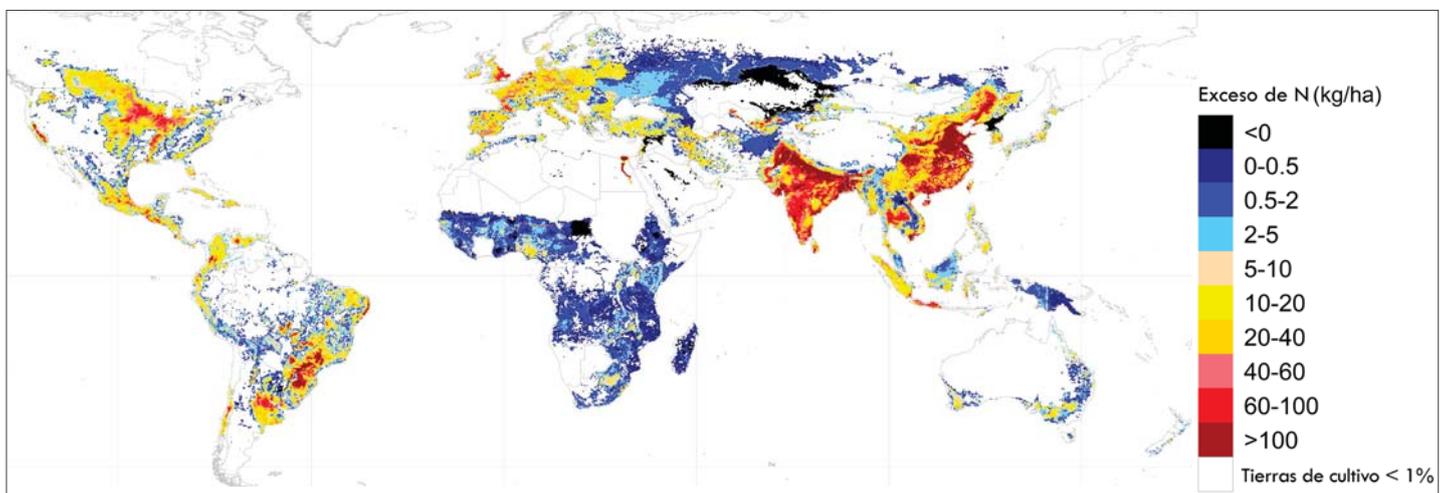


Figura 2. Tendencias mundiales en la remoción de nitrógeno de los cultivos, aplicaciones de fertilizantes y otras fuentes, y excedente anual de nitrógeno (izquierda) y mapa del excedente o déficit de nitrógeno en 2015 (arriba, kg N / ha). El excedente de N se define como la aplicación total de N a las tierras de cultivo menos el N removido como productos agrícolas (15); se expresa como millones de toneladas (Mt) en el panel de la izquierda y como kg por hectárea de área de tierra en el panel superior, lo que indica la presión potencial debida a la pérdida de N de la producción agrícola. Fuente: Xin Zhang y Guolin Yao, Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Maryland.

3. ¿Qué tecnologías, soluciones comerciales y políticas basadas en datos acelerarán la adopción de soluciones de gestión de nutrientes más precisas por parte de los agricultores?

En muchos países, los agricultores aplican demasiados nutrientes porque son relativamente baratos o porque no quieren arriesgarse a perder el rendimiento. En otras situaciones, es posible que los agricultores no apliquen suficientes nutrientes o en formulaciones incorrectas debido a la falta de asequibilidad, acceso, conocimiento o datos. Existen muchos buenos ejemplos en todo el mundo sobre cómo superar esto, pero solo unos pocos han dado lugar a avances a mayor escala.

4. ¿Se pueden reducir a la mitad las pérdidas y el desperdicio de nutrientes a lo largo de toda la cadena agroalimentaria en una generación?

Las estimaciones actuales sugieren que, a escala mundial, solo alrededor del 20% de los compuestos nitrogenados aplicados pueden llegar a productos útiles, y hasta un 80% se pierde en el medio ambiente en diferentes formas (16). Existen enormes variaciones en las pérdidas de nutrientes entre los países y sus sistemas alimentarios, que pueden abordarse a través de varios medios, incluida una mayor recuperación de nutrientes de diversas vías de desechos en formas que permitan un reciclaje seguro para la producción de cultivos.

5. ¿Cómo se pueden cerrar los ciclos de los nutrientes en la agricultura y la ganadería?

Los impulsores de la demanda y las cadenas de suministro que operan a nivel mundial han provocado una separación y concentración de la agricultura y la ganadería, lo que ha provocado ciclos de nutrientes con fugas y desconectados espacialmente. El crecimiento masivo del sector ganadero ha llevado a una baja eficiencia en el uso de nutrientes, aumento de desechos y grandes emisiones de gases de efecto invernadero. Las cadenas mundiales de suministro de ganado representan un tercio de todas las emisiones de nitrógeno inducidas por el hombre (17). La producción ganadera sostenible incluye más sistemas basados en pastos y la reintegración de la agricultura y la ganadería para utilizar a los animales para lo que son buenos: convertir los subproductos del sistema alimentario y los recursos forrajeros en alimentos y estiércol valiosos (18). ¿Qué futuras estructuras agrícolas, tecnologías y cadenas de suministro permitirán eso?

6. ¿Cómo podemos mejorar la salud del suelo?

Los suelos son vitales para producir cultivos, pero también apoyan otros servicios ecosistémicos esenciales, como la purificación del agua, el secuestro de carbono, el ciclo de nutrientes y la provisión de hábitats para la biodiversidad. Los aportes de carbono y nutrientes son factores desencadenantes importantes para mejorar la salud del suelo en la producción de cultivos, lo que también aumenta la resiliencia de los sistemas agrícolas a los fenómenos climáticos extremos. El secuestro de CO₂ atmosférico en los suelos puede contribuir a reducir el calentamiento global y mejorar la salud del suelo, pero requiere insumos continuos de materia orgánica e insumos de nutrientes (particularmente nitrógeno y fósforo) para formar materia orgánica estable del suelo. ¿Cómo puede un enfoque holístico de nutrición vegetal manejar macro y micronutrientes para una alta productividad de cultivos y eficiencia en el uso de nutrientes, pero también utilizar la fijación biológica de N, optimizar el almacenamiento y la rotación de carbono, aumentar la biodiversidad del suelo y evitar la acidificación del suelo u otras formas de degradación?

7. ¿Cómo debemos gestionar la nutrición de los cultivos en climas cambiantes?

El cambio climático tiene impactos tanto positivos como negativos en la calidad nutricional de los cultivos, muchos de los cuales aún no se comprenden bien (19). El aumento del dióxido de carbono (CO₂) atmosférico puede aumentar el rendimiento de los cultivos, pero también provocar una disminución de las concentraciones de nutrientes y la eficiencia del uso de nutrientes de los cultivos alimentarios. El calentamiento

global aumentará el riesgo de estrés en los cultivos, como la sequía, el calor o la alta radiación, por lo que la nutrición equilibrada de las plantas juega un rol particular en la mitigación. Los cambios en la estacionalidad, las precipitaciones y los fenómenos meteorológicos extremos también afectarán el momento y la eficiencia de la absorción de nutrientes, lo que exigirá la integración de recomendaciones de nutrientes con sistemas de información climática y de alerta temprana.

8. ¿Cuáles son las opciones y los objetivos realistas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con los fertilizantes?

Todas las alternativas que limitan el calentamiento global a 1,5°C o por debajo de 2°C requieren mitigación y cambios de uso de la tierra (20). En todo el sector de la nutrición de plantas, las tecnologías de producción y transporte de fertilizantes «verdes» de bajas emisiones, las nuevas formulaciones de fertilizantes, los inhibidores, las soluciones genéticas para la inhibición de la nitrificación o la fijación de N atmosférico, así como la aplicación de nutrientes más precisa y el manejo agronómico, ofrecen numerosas oportunidades para reducir emisiones de CO₂ y N₂O relacionadas con los nutrientes, siempre que las políticas circundantes y las condiciones del mercado lo permitan.

9. ¿Cómo pueden los sistemas de cultivo producir alimentos más nutritivos y de alta calidad?

Más de 2000 millones de personas en el mundo se ven afectadas por diversas formas de desnutrición por micronutrientes. Los principales sistemas de cultivo del mundo están diseñados para proporcionar calorías, proteínas y una serie de otros nutrientes o compuestos bioactivos. Un puñado de cultivos pobres en micronutrientes dominan las cadenas mundiales de alimentos y piensos y, a menudo, han disminuido la diversidad de cultivos o han desplazado a cultivos tradicionales como las legumbres. ¿Qué prácticas agrícolas se pueden implementar para mejorar la nutrición humana, incluidas las soluciones de nutrición vegetal (21)?

10. ¿Cómo podemos monitorear mejor los nutrientes e implementar altos niveles de manejo de la sostenibilidad?

Las tecnologías digitales ofrecen un gran potencial para un mejor seguimiento, análisis, evaluación comparativa, informes y certificación de los esfuerzos de sostenibilidad en toda la cadena de nutrientes. Esto mejoraría la transparencia, la trazabilidad, el control de calidad y la evaluación de la sostenibilidad en todo el sector alimentario, y también es fundamental para la participación del sector público y la formulación de políticas basadas en evidencias. ¿Cómo, por ejemplo, los países y la industria pueden implementar el Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo Sostenible de Fertilizantes (22) o los criterios de Inversión Socialmente Responsable (ESG, por sus siglas en inglés)? ¿Es necesario un nuevo estándar sobre la producción y el uso sostenibles de nutrientes?

¿QUÉ SE PUEDE HACER?

El desarrollo humano, los requisitos de los procesos biológicos y los principios del equilibrio de masa dejan en claro que los nutrientes minerales, incluidos los fertilizantes, seguirán siendo los principales ingredientes de los sistemas alimentarios del futuro. Es fundamental desarrollar estrategias y prácticas de nutrición vegetal integradas y específicas que minimicen las compensaciones entre la productividad y el medio ambiente, y que sean viables en los sistemas agrícolas y comerciales de diferentes localidades, regiones y naciones. La integración en este contexto tiene varias dimensiones, incluido un enfoque de sistema alimentario de múltiples nutrientes, un mayor reciclaje y la utilización de todas las fuentes de nutrientes disponibles, la alineación con otras prácticas agronómicas y de manejo, y el cumplimiento de altos estándares de sostenibilidad.

El nuevo paradigma de nutrición de plantas responsable abarca una amplia gama de conocimientos científicos y de ingeniería, tecnologías, prácticas agronómicas, modelos comerciales y políticas que afectan directa o indirectamente la producción y utilización de nutrientes minerales en los sistemas agroalimentarios. Siguiendo un enfoque de sistema alimentario, la nutrición vegetal responsable tiene como objetivo:

- A. Mejorar los ingresos, la productividad, la eficiencia de los nutrientes y la resiliencia de los agricultores y las empresas que los apoyan
- B. Aumentar la recuperación y el reciclaje de nutrientes de los desechos y otros recursos subutilizados
- C. Mejorar y mantener la salud del suelo
- D. Mejorar la nutrición y la salud humanas mediante una agricultura orientada a las mismas
- E. Minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación por nutrientes y la pérdida de diversidad biológica

En pocas palabras, la nutrición de plantas responsable contribuirá a un enfoque de producción y consumo de alimentos más positivo para la naturaleza. No pretende copiar ciegamente la naturaleza, pero, siguiendo la ciencia, también adapta e integra principios agroecológicos claves (23) de manera personalizada. La implementación del nuevo paradigma implica seis acciones interdependientes:

Acción 1: Políticas de nutrientes, hojas de ruta, modelos de negocio e inversiones impulsadas por la sostenibilidad que crean valor agregado para todos los actores y beneficiarios en la cadena de nutrientes. Las políticas y hojas de ruta de nutrientes deben adaptarse a los sistemas alimentarios específicos de cada país, incluidos objetivos ambiciosos para el uso, las pérdidas y la eficiencia de los nutrientes. Los objetivos y prioridades específicos para la gestión de nutrientes variarán, según la historia de cada país y las prioridades de desarrollo sostenible. Los esquemas progresivos

de monitoreo, administración (24) y certificación basados en la ciencia guiarán el desempeño y recompensarán a los agricultores y las empresas por la innovación, la reducción de las pérdidas de nutrientes, la mejora de la salud del suelo, la mejora de la biodiversidad y la provisión de otros servicios ecosistémicos. Las estrategias diferenciadas también conducirán a cambios regionales en el uso global de fertilizantes, reduciendo los excedentes de nutrientes y asegurando que más nutrientes se trasladen a donde más faltan, particularmente en muchas partes de África (25).

Acción 2: Soluciones de nutrición de cultivos más precisas y basadas en datos. Las soluciones digitales impulsadas por el conocimiento y las tecnologías disruptivas permitirán adaptar las aplicaciones de nutrientes a las necesidades locales de una manera cada vez más precisa. Además de las soluciones de alta tecnología para la agricultura comercial, los enfoques de manejo de nutrientes específico por sitio de «baja tecnología» han mostrado aumentos consistentes y significativos en el rendimiento, las ganancias y la eficiencia en el uso de nutrientes en muchos cultivos para pequeños agricultores de Asia y África (26, 27). Ahora, deben ampliarse a millones de agricultores a través de sistemas de asesoramiento y soluciones comerciales con soporte digital.

Acción 3: Soluciones de economía circular para una mayor recuperación y reciclaje de nutrientes. La integración de cultivos y ganado, menos desperdicio de alimentos, uso de subproductos y una mayor recuperación y reciclaje de nutrientes son medidas clave para optimizar la eficiencia del uso de nutrientes en toda la cadena alimentaria (Fig. 3). Los incentivos políticos, las tecnologías novedosas y los cambios de comportamiento impulsarán un mayor reciclaje de nutrientes de múltiples corrientes de desechos, como una contribución clave a las economías circulares de base biológica. Dichos sistemas circulares deben ser seguros y saludables para los animales, los seres humanos y el medio ambiente, pero también permiten la creación de modelos comerciales novedosos, incluidas las corrientes secundarias dentro del sector agrícola para el reciclaje de materiales y nutrientes que contienen. El seguimiento del flujo mejorado de nutrientes de cadena completa, el análisis del ciclo de vida, la evaluación comparativa y la certificación respaldarán el desarrollo de tales soluciones.

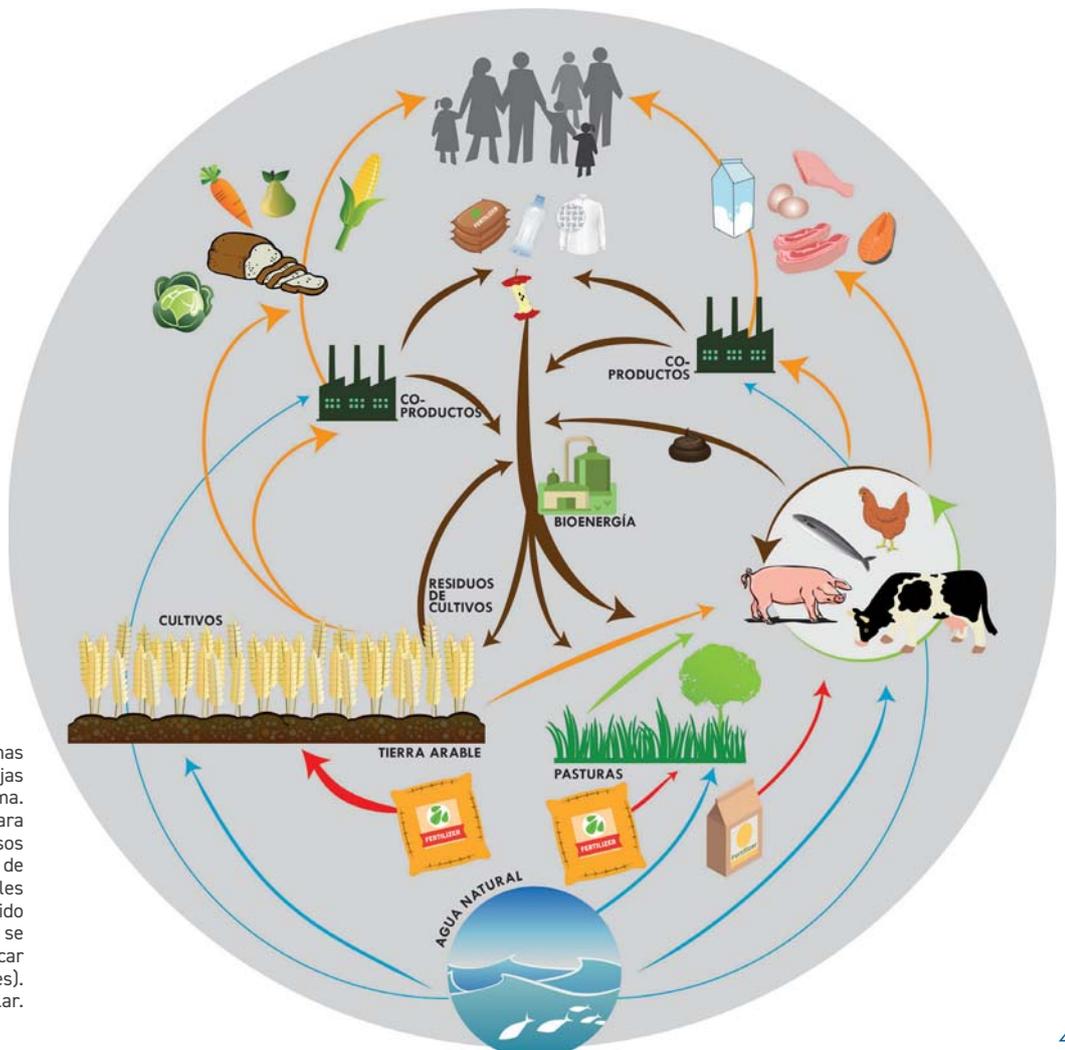


Figura 3. Principales flujos de nutrientes en sistemas circulares cultivo-ganado-humanos. Las flechas rojas indican las entradas de fertilizante en el sistema. Las tierras fértiles se utilizan principalmente para producir alimentos para humanos y algunos piensos complementarios para el ganado, también a partir de residuos de cultivos (flechas naranjas). Los pastizales se utilizan principalmente para el ganado, incluido el pastoreo. Los subproductos y los desechos se reciclan para la agricultura o se utilizan para fabricar nuevos productos biológicos (flechas marrones). Se minimizan las pérdidas del sistema circular. Fuente: Rediseñado y modificado de (18).

Acción 4: Agricultura sensible a la nutrición - producción de cultivos alimentarios con mayor valor nutricional para abordar las deficiencias persistentes y emergentes de nutrientes minerales. Además de la diversificación dietética y las intervenciones alimentarias, las soluciones de nutrición de plantas forman parte de las estrategias para abordar la triple carga de desnutrición, desnutrición de micronutrientes, sobrepeso/obesidad y otras enfermedades no transmisibles. Dependiendo del contexto local, la producción de cultivos sensibles a la nutrición puede incluir rotaciones de cultivos más diversas, así como la biofortificación de cultivos básicos con micronutrientes mediante el mejoramiento y/o fertilizantes (28). Esto último implica el uso selectivo de productos fertilizantes que aportan micronutrientes de importancia para los cultivos, los animales y los seres humanos. Además de los nutrientes vegetales esenciales como el hierro o el zinc, también pueden incluirse nutrientes que son de particular importancia para los animales y los seres humanos, como el yodo (29) o el selenio (30).

Acción 5: Fertilizantes energéticamente eficientes y de bajas emisiones. Los fertilizantes se producirán cada vez más de manera respetuosa con el medio ambiente e incorporarán una mayor cantidad de conocimientos para controlar la liberación de nutrientes a la planta. Se pueden lograr reducciones

significativas en las emisiones de gases de efecto invernadero antes de su aplicación mediante la producción de fertilizantes con bajas emisiones de carbono. Ya se están poniendo a prueba varias tecnologías nuevas para producir «amoníaco verde» a partir de fuentes de energía renovables y neutrales en carbono, y también para utilizarlo para el almacenamiento y transporte de energía. Una nueva “economía del amoníaco” podría alimentar y hacer funcionar al mundo de una manera completamente nueva y descentralizada (31). La innovación en la formulación de fertilizantes conducirá a fertilizantes ecológicos que maximizan la captura de nutrientes por el cultivo y minimizan las pérdidas de nutrientes (32).

Acción 6: Sistemas de innovación acelerados y más abiertos para una translación más rápida de nuevas ideas a la práctica. Los futuros sistemas de investigación e innovación deben fomentar la creación conjunta y el intercambio de conocimientos para un rápido desarrollo y despliegue de nuevas capacidades y tecnologías. Esto requiere más apertura y acción coordinada de los actores del sector público y privado. Se necesita un cambio cultural masivo en la ciencia y la financiación de la ciencia, hacia un enfoque científico más ágil y centrado en los problemas, la colaboración transdisciplinaria, el espíritu empresarial y la participación temprana con los usuarios, incluida la diversidad completa de los agricultores.

¿QUIÉN NECESITA HACER QUÉ?

La nutrición responsable de las plantas es un desafío complejo y global que solo puede ser abordado mediante acciones concretas por parte de todos los que están directamente involucrados en el ciclo de los nutrientes y los que influyen en el mismo (Fig. 4).



Figura 4. La cadena agroalimentaria desde una perspectiva de gestión de nutrientes. Los recuadros azules muestran a los actores que contribuyen directamente al uso y las pérdidas de nutrientes en diferentes etapas. Las flechas rojas indican las emisiones de gases de efecto invernadero, las pérdidas de nutrientes al medio ambiente y los desechos que pueden ocurrir en todas las partes de la cadena. Se deben aprovechar todas las oportunidades para reducir las emisiones y las pérdidas, aumentando al mismo tiempo la recuperación de nutrientes y el retorno a la agricultura y la industria (flechas verdes). El recuadro gris muestra los actores que influyen en los actores principales, impulsan la innovación o establecen el marco social para la acción. Fuente: Modificado de (33).

Los **responsables de la formulación de políticas** en todos los niveles deben crear marcos normativos claros, basados en la ciencia y armonizados para los nutrientes, pero también políticas dinámicas que incentiven la innovación en tecnologías, prácticas y modelos comerciales. Deben establecer una visión clara para las hojas de ruta nacionales o regionales con objetivos sólidos para los nutrientes, nutrición e indicadores de medio ambiente. Pueden impulsar cambios en el consumo de alimentos, así como proporcionar incentivos progresivos para la adopción de mejores prácticas por parte de los agricultores. Las políticas deben equilibrar adecuadamente la producción de alimentos y los objetivos ambientales. Los servicios de asistencia técnica y extensión deben recibir el apoyo adecuado para promover prácticas sostenibles. Los responsables de la formulación de políticas también deben garantizar que los agricultores de todo el mundo tengan un acceso asequible a Internet y a los servicios digitales.

La **industria mundial de fertilizantes** ha reconocido recientemente la necesidad de un enfoque de nutrición de plantas impulsado por la innovación y la sostenibilidad como su estrategia comercial principal (34). Las empresas de fertilizantes tendrán que convertirse cada vez más en proveedores de soluciones integradas de nutrición vegetal que se basan en nuevos modelos comerciales que hacen lo correcto para las personas y el planeta. La sostenibilidad y la innovación, incluida la supervisión y los informes transparentes, impulsarán la estrategia de transformación para toda la industria, para cada producto y solución vendidos. El crecimiento de los ingresos debe estar impulsado principalmente por el aumento del valor de rendimiento ofrecido a los agricultores y la sociedad, no por el volumen de fertilizantes vendidos.

Los **agricultores, los asesores agrícolas y los proveedores de servicios** tienen la responsabilidad principal de mejorar la eficiencia del uso de nutrientes, reducir las pérdidas de nutrientes, reciclar nutrientes y promover la salud del suelo a escala agrícola, lo que tiene enormes implicaciones a mayor escala. Deben ser capaces de adaptarse y adoptar completamente nuevos conocimientos, tecnología y servicios, y deben ser recompensados por las buenas prácticas. Muchos agricultores son empresarios y están dispuestos a cambiar, y también son conscientes de su papel como administradores de la tierra, el agua, el clima y la biodiversidad. Pero hacer las cosas de manera diferente requiere reducir los riesgos y otras barreras de adopción.

Los **comerciantes, procesadores y minoristas de alimentos** tienen un enorme poder para influir en los ciclos de los nutrientes, tanto al influir en lo que comen o beben los consumidores como en cómo se produce. Las cadenas de suministro verticalmente integradas, basadas en datos y más transparentes, que cumplen con los estándares de producción sostenible y reducen las pérdidas de producción, se generalizarán, incluido un abastecimiento más directo de los agricultores. Estos desarrollos ofrecen numerosas oportunidades para implementar enfoques más holísticos para el manejo de nutrientes. Darle valor monetario a estas prácticas de producción sostenibles es tanto un desafío clave como una oportunidad.

Los **consumidores** impulsarán cambios significativos en la nutrición de las plantas a través de cambios hacia dietas más saludables, así como un mayor énfasis en los alimentos que se producen de una manera más sostenible. Las tendencias específicas diferirán entre regiones y grupos de ingresos. A escala mundial, los cambios en el comportamiento de los alimentos pueden ser relativamente lentos y también se compensarán en parte con el aumento del consumo de alimentos debido al aumento de la población y al crecimiento de los ingresos en los países de ingresos bajos y medianos. Sin embargo, una responsabilidad inmediata de los consumidores es reducir el consumo excesivo de carne, desperdiciar menos alimentos y garantizar el reciclaje de los desperdicios que se produzcan.

Los **proveedores de servicios públicos y los procesadores de desechos** son una categoría importante y relativamente nueva de actores en el ciclo de los nutrientes, pero su función aumentará sustancialmente en los próximos años. Particularmente en áreas densamente pobladas, sus necesidades y acciones definirán cada vez más cómo se llevará a cabo la agricultura y la gestión de nutrientes. Esto requiere profundizar la colaboración con otros grupos de actores y desarrollar conjuntamente un entendimiento común, así como estándares comunes que cumplir.

Inversores: La inversión en investigación e innovación en nutrición vegetal deberá aumentar enormemente para enfrentar los complejos desafíos de nutrición de plantas que enfrentamos. Los inversores públicos, privados y filantrópicos deberían invertir cada vez más en tecnologías, negocios y organizaciones que respalden los elementos clave del nuevo paradigma, incluida la creación de un ecosistema creciente de empresas emergentes y otras empresas. El uso de capital público y privado combinado puede reducir el riesgo y apalancar más inversión privada.

Científicos: La ciencia y la ingeniería apuntalarán todos los esfuerzos para lograr los múltiples objetivos del nuevo paradigma de nutrición vegetal, pero toda la cultura científica debe cambiar también, hacia nuevas formas de trabajo que estimulen nuevos descubrimientos y logren una traducción más rápida a la práctica. Se necesita un mayor enfoque en las vías explícitas hacia las aplicaciones agronómicas, verificaciones de la realidad y rigor en las afirmaciones de utilidad, así como un mayor intercambio de conocimientos y recursos críticos, más innovación abierta y espíritu empresarial.

Las **organizaciones de la sociedad civil** desempeñan un papel importante para el nuevo paradigma a través de la información al público, la movilización de base, el seguimiento, la alerta y la influencia, y la difusión inclusiva de nuevas tecnologías y prácticas. Esta es una gran responsabilidad, que debe seguir un enfoque basado en la evidencia. El co-desarrollo de soluciones concretas en asociación con el gobierno, la industria, la ciencia y los agricultores debería reemplazar el énfasis que a menudo se encuentra en temas únicos o debates controvertidos.

¿COMO SE VERÁ EL ÉXITO?

En comparación con el lugar en el que nos encontramos en 2020, los resultados concretos que se pueden lograr en una generación, para 2040, incluyen:

1. Estándares ampliamente aceptados para cuantificar y monitorear los nutrientes a lo largo de la cadena de suministro de alimentos inspiran soluciones para mejorar la eficiencia general del uso de nutrientes, aumentar el reciclaje y reducir el desperdicio de nutrientes en todo el sistema agroalimentario. Los objetivos, las políticas y las inversiones ambiciosas estimulan las acciones colectivas de los gobiernos, las empresas, los agricultores y otras partes interesadas hacia soluciones de nutrición de plantas sostenibles, integradas y personalizadas.
2. A escala mundial, el crecimiento del rendimiento de los cultivos satisface la demanda de alimentos, piensos y bioindustrias y supera el crecimiento del consumo de fertilizantes minerales, mientras que la expansión de las tierras de cultivo y la deforestación se han detenido. La eficiencia global del uso de nitrógeno en los cultivos (la producción de nitrógeno en los productos recolectados de las tierras de cultivo como proporción de la entrada de nitrógeno) ha aumentado al 70%.
3. A través del consumo responsable, un mayor reciclaje y mejores prácticas de gestión, el desperdicio de nutrientes a lo largo del sistema alimentario se ha reducido a la mitad. Los excedentes de nitrógeno y fósforo en los puntos críticos se han reducido a niveles seguros que minimizan la eutrofización y otros daños ambientales.
4. Se ha detenido el agotamiento de los nutrientes del suelo y la pérdida de carbono. Las políticas e inversiones prospectivas han provocado cambios en los sistemas agrícolas y las prácticas de gestión que aumentan la salud del suelo, incluida la materia orgánica del suelo. Los déficits regionales de nutrientes del suelo se han reducido sustancialmente, particularmente en el África subsahariana, donde el uso de fertilizantes se ha triplicado y el rendimiento de los cultivos al menos se ha duplicado, incluyendo mejores resultados nutricionales. Se han restaurado millones de hectáreas de tierras agrícolas degradadas, incluso mediante el uso de fertilizantes minerales y orgánicos y desechos o subproductos que contienen nutrientes.
5. Las formas extremas de hambre crónica y malnutrición relacionada con los nutrientes se han erradicado mediante estrategias integradas que incluyen el uso selectivo de fertilizantes enriquecidos con micronutrientes y cultivos biofortificados con nutrientes. Los agricultores cultivan cada vez más una nueva generación de cereales y otros cultivos básicos más nutritivos, impulsados por la demanda de

los consumidores y del mercado. Los encargados de formular políticas y tomar decisiones apoyan las estrategias de fertilización mineral para satisfacer las necesidades nutricionales humanas específicas donde los mercados no brindan los incentivos necesarios.

6. La industria de fertilizantes sigue estándares de sostenibilidad rigurosos y transparentes durante todo el ciclo de vida de sus productos y operaciones comerciales. Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción y el uso de fertilizantes se han reducido al menos en un 30% mediante una mayor eficiencia energética, captura y almacenamiento de carbono y otras tecnologías y productos novedosos. Al menos el 10% del fertilizante N del mundo se produce a partir de amoníaco verde con emisiones de carbono muy bajas o nulas.
7. Las inversiones I+D en investigación e innovación en nutrición vegetal por parte del sector público y privado se han triplicado en comparación con los niveles actuales. Muchas empresas gastan el 5% o más de sus ingresos brutos en investigación e innovación. Los enfoques colaborativos de innovación abierta permiten que los descubrimientos científicos se traduzcan rápidamente en soluciones prácticas y conocimientos. Los modelos de negocios innovadores y orientados a generar valor impulsan el crecimiento en toda la industria.
8. Los consumidores aprecian los beneficios de los nutrientes de las plantas, incluidos los fertilizantes minerales como fuente principal de nutrientes. Un estándar de huella de nutrientes con alto reconocimiento visual informa las elecciones de los consumidores. La información sobre la mejora de la salud del suelo y el equilibrio de nutrientes está ampliamente disponible, y se reconocerá ampliamente su relación con la mitigación de los problemas del aire, el agua y el clima.
9. Los agricultores de todo el mundo tienen acceso a soluciones de nutrición de plantas posibles, diversas y apropiadas, y se les recompensa por implementar mejores prácticas de manejo y gestión de nutrientes que aumentan su prosperidad y les permiten salir de las trampas de la pobreza. Los productos y soluciones de nutrición de cultivos personalizados representan al menos el 30% del valor del mercado mundial de nutrición de cultivos.

Hasta ahora no hemos logrado alcanzar los objetivos mencionados anteriormente, a pesar de muchas soluciones científicas y técnicas que han existido durante décadas. Lograrlo ahora, dentro de una generación, requerirá un esfuerzo mucho más concertado de todos los involucrados, desde la industria de fertilizantes hasta los agricultores y consumidores de alimentos y otros productos agrícolas. La acción rápida, basada en el pensamiento de sostenibilidad a largo plazo, es necesaria para facilitar la transición hacia un nuevo paradigma para la nutrición de las plantas.

REFERENCIAS

1. K. O. Fuglie, Is agricultural productivity slowing? *Global Food Security*. 17, 73–83 (2018), doi:10.1016/j.gfs.2018.05.001.
2. J. W. McArthur, G. C. McCord, Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *Journal of Development Economics*. 127, 133–152 (2017), doi:10.1016/j.jdeveco.2017.02.007.
3. V. Smil, *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production* (The MIT Press, Cambridge, MS, London, 2001).
4. J. R. Stevenson, N. Villoria, D. Byerlee, T. Kelley, M. Maredia, Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 8363–8368 (2013), doi:10.1073/pnas.1208065110.
5. A. Balmford et al., The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nat Sustain.* 1, 477–485 (2018), doi:10.1038/s41893-018-0138-5.
6. W. Steffen et al., Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*. 347, 1259855 (2015), doi:10.1126/science.1259855.
7. C. Rosenzweig et al., Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat Food*. 1, 94–97 (2020), doi:10.1038/s43016-020-0031-z.
8. H. Tian et al., A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*. 586, 248–256 (2020), doi:10.1038/s41586-020-2780-0.
9. P. Pingali, B. Mittra, A. Rahman, The bumpy road from food to nutrition security – Slow evolution of India's food policy. *Global Food Security*. 15, 77–84 (2017), doi:10.1016/j.gfs.2017.05.002.
10. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020* (2020) (available at <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9692en/>).
11. The Food and Land Use Coalition, *Growing better: ten critical transitions to transform food and land use* (2019) (available at <https://www.foodandlandusecoalition.org/global-report/>).
12. S. E. Vollset et al., Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet* (2020), doi:10.1016/S0140-6736(20)30677-2.
13. M. K. van Ittersum et al., Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 14964–14969 (2016), doi:10.1073/pnas.1610359113.
14. B. Vanlauwe, A. Dobermann, Sustainable intensification of agriculture in sub-Saharan Africa: first things first! *Front. Agr. Sci. Eng.* 7, 376–382 (2020), doi:10.15302/J-FASE-2020351.
15. X. Zhang et al., Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 528, 51–59 (2015), doi:10.1038/nature15743.
16. M. A. Sutton et al., Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution (2012) (available at <https://www.unenvironment.org/resources/report/our-nutrient-world-challenge-produce-more-food-and-energy-less-pollution>).
17. A. Uwizeye et al., Nitrogen emissions along global livestock supply chains. *Nat Food* (2020), doi:10.1038/s43016-020-0113-y.
18. H. H.E. van Zanten, M. K. van Ittersum, I. J.M. de Boer, The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*. 21, 18–22 (2019), doi:10.1016/j.gfs.2019.06.003.
19. J. C. Soares, C. S. Santos, S. M. P. Carvalho, M. M. Pintado, M. W. Vasconcelos, Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant Soil*. 443, 1–26 (2019), doi:10.1007/s11104-019-04229-0.
20. IPCC, *Climate change and land. IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (2019) (available at <https://www.ipcc.ch/srcccl/>).
21. R. M. Welch, R. D. Graham, I. Cakmak, Linking agricultural production practices to improving human nutrition and health. Expert paper written for ICN2 Second International Conference on Nutrition Preparatory Technical Meeting, 13-15 November, Rome, Italy (2013) (available at <http://www.fao.org/3/a-as574e.pdf>).
22. FAO, *International code of conduct for the sustainable use and management of fertilizers* (2019) (available at <http://www.fao.org/3/ca5253en/ca5253en.pdf>).
23. FAO, *The 10 elements of agroecology. Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems* (2018) (available at <http://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>).
24. International Plant Nutrition Institute, *4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition, metric version* (IPNI, Norcross, GA, USA, 2016).
25. X. Zhang, A plan for efficient use of nitrogen fertilizers. *Nature*. 543, 322–323 (2017), doi:10.1038/543322a.
26. A. Dobermann et al., Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res.* 74, 37–66 (2002).
27. J. Rurinda et al., Science-based decision support for formulating crop fertilizer recommendations in sub-Saharan Africa. *Agric. Syst.* 180, 102790 (2020).
28. I. Cakmak, U. B. Kutman, Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *Eur. J. Soil Sci.* 69, 172–180 (2018), doi:10.1111/ejss.12437.
29. R. Fuge, C. C. Johnson, Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 63, 282–302 (2015), doi:10.1016/j.apgeochem.2015.09.013.
30. G. Alfthan et al., Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 31, 142–147 (2015), doi:10.1016/j.jtemb.2014.04.009.
31. K. H.R. Rouwenhorst, A. G.J. van der Ham, G. Mul, S. R.A. Kersten, Islanded ammonia power systems: Technology review & conceptual process design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 114, 109339 (2019), doi:10.1016/j.rser.2019.109339.
32. J. Chen et al., Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*. 613-614, 829–839 (2018), doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.186.
33. D. R. Kanter et al., Nitrogen pollution policy beyond the farm. *Nat Food*. 1, 27–32 (2020), doi:10.1038/s43016-019-0001-5.
34. International Fertilizer Association (IFA), *IFA 2030 scenarios. Digging deeper, thinking harder, planning further* (2018) (available at https://www.fertilizer.org/Public/About_IFA/IFA2030.aspx).

AUTORES, CITA Y CONTACTO

Autores: Todos los miembros del Panel Científico en Nutrición de Plantas Responsable.

Tom Bruulsema (Plant Nutrition Canada), Ismail Cakmak (Sabanci University, Turquía), Achim Dobermann (International Fertilizer Association, Francia), Bruno Gerard (CIMMYT, México), Kaushik Majumdar (African Plant Nutrition Institute, Marruecos), Michael McLaughlin (University of Adelaide, Australia), Pyatrik Reidsma (Wageningen University & Research, Países Bajos), Bernard Vanlauwe (International Institute of Tropical Agriculture, Kenia), Lini Wollenberg (CGIAR Climate Change, Agriculture & Food Security Program, EEUU), Fusuo Zhang (China Agricultural University, China), Xin Zhang (University of Maryland Center for Environmental Science, EEUU)

Cita: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2020. A new paradigm for plant nutrition. Issue Brief 01.

Available at www.sprpn.org

Más información:

Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, c/o IFA, 49, avenue d'Iéna, 75116 Paris, Francia; info@sprpn.org