

Agronomía basada en evidencia

Reduciendo las brechas de datos en fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos*

Paul E. Fixen

La agronomía basada en evidencia busca la integración transparente de toda la información relevante y las recomendaciones prácticas con las condiciones específicas de cada lugar. Tiene el potencial de hacer que la ciencia sirva de base para un manejo más rápido, ágil y creíble de la fertilidad del suelo y la nutrición de cultivos, y puede incrementar el impacto de la investigación en nutrientes en un mundo de “grandes datos”.

La Visión Global

El desafío asociado con la producción sostenible y la seguridad alimentaria es inmenso. Una forma de describirlo es que necesitamos producir más alimentos en los próximos 50 años que en toda la historia humana (J. Hatfield, com. pers.). Este desafío agronómico está siendo intensificado por el cambio climático, la seguridad del agua y la degradación de los suelos... todos factores que indican que, en el futuro, las respuestas de prácticas e insumos en determinados sitios pueden no ser las mismas que en el pasado. Un artículo destacado en un número reciente de Newsweek dedicado a “El futuro de la agricultura” sostuvo que para alimentar a la humanidad necesitamos, hoy, las granjas del futuro (Isaacson, 2015).

Satisfacer este desafío será imposible sin aportes científicos sustanciales que apoyen, de manera sostenible, la seguridad alimentaria. Para ello, la ciencia necesita ser:

- **Rápida** – porque el tiempo para completar estos objetivos es reducido.
- **Ágil** – porque las condiciones futuras son inciertas.
- **Creíble** – para ser aceptada, apoyada, y adoptada en este mundo que contiene mucha información ruidosa.

Agronomía Basada en Evidencia en un Mundo de Grandes Datos

Entonces, ¿Cómo logramos una ciencia agronómica más rápida, ágil y creíble? Uno de los caminos más prometedores para lograrlo parece ser la **agronomía basada en evidencia que busca la integración transparente de todos los datos relevantes y las prácticas recomendadas resultantes con las condiciones de las unidades de producción locales y datos asociados**. Esto cambia el foco hacia “todos los datos”, considerando no solamente los “grandes datos” que tantos titulares recientes han capturado, sino también a los “pequeños datos” del investigador individual que, cuando están en una forma útil y trazable, pueden convertirse en un subconjunto dinamizador del mundo de los “grandes datos”.

En Science, Lazer y colaboradores sostienen: “En lugar de enfocarnos en una “revolución de los grandes datos”, tal vez es hora de enfocarnos en una “revolución de todos los datos”, utilizando datos de todas las fuentes tradicionales y nuevas, y proveyendo una comprensión más profunda y clara de nuestro mundo” (Lazer et al., 2014). “Todos los datos” a los que se refieren incluye los datos surgidos de la investigación científica. Nuestro objetivo en la agronomía es la toma de decisiones inteligentes basadas en la ciencia, pero allí no es donde comienza el proceso. El proceso comienza con una base de datos utilizable (**Figura 1**) que, eventualmente, conduce a elecciones sensatas.

Dicha base de datos rara vez proviene de una sola fuente, lugar, institución o un mismo diseño de investigación. Más bien, es construida por una serie de contribuciones progresivas y la agregación de datos relevantes provenientes de todas las fuentes mencionadas. En las últimas décadas, la comprensión científica y la tecnología asociada con la preservación de datos, y procesos de síntesis y agregación han mejorado notablemente. Sin embargo, nuestras ciencias agronómicas no han aprovechado plenamente estos desarrollos. Se podría decir que para gran parte de la ciencia agronómica,

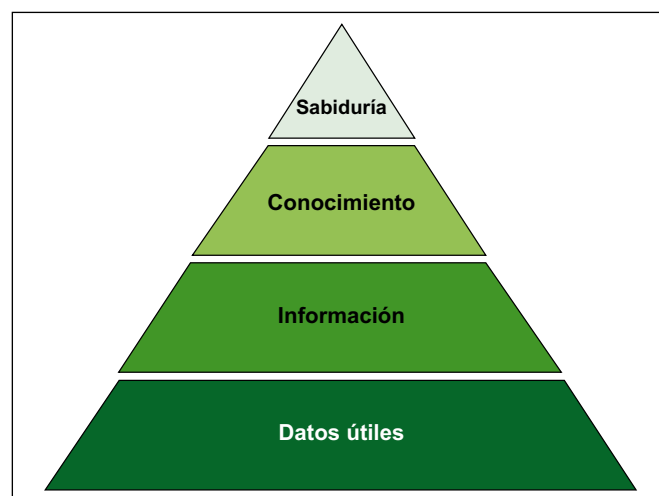


Figura 1. Desde los datos útiles hasta la sabiduría. Adaptado de Lockers y Janssen (2014).

* Traducción de “Evidence-based agronomy: filling the gaps in soil fertility/nutrient management data”, conferencia presentada en Great Plains Soil Fertility Conference. Marzo 1-2, 2016. Denver, Colorado, EE.UU. International Plant Nutrition Institute, Brookings, South Dakota, EE.UU. Autor de contacto. Correo electrónico: pfixen@ipni.net

los avances en la “ciencia de los datos” a menudo han superado ampliamente los avances en los “datos de la ciencia”. Irónicamente, la ciencia de los datos parece ser más comúnmente aplicada hoy en día en el mundo rico en datos de la agricultura de precisión a campo y por las industrias relacionadas, que en el mundo de la investigación científica. La agronomía basada en la evidencia aplica la ciencia de los datos a los datos de la ciencia agronómica.

Es informativo considerar el ciclo de vida típico de la investigación (**Figura 2A**; Michener, 2015) el cual puede ser simplificado en cuatro etapas principales:

1. Formular ideas e hipótesis.
2. Adquirir datos.
3. Analizar, observar e interpretar.
4. Publicar y diseminar descubrimientos (usualmente en forma narrativa).

Lo que es generalmente menospreciado es el “Ciclo de vida de los datos” subyacente a la etapa de adquisición de datos del “Ciclo de vida de la investigación” (**Figura 2B**) y sus ocho etapas tal como describe Michener (2015). Muy frecuentemente hoy en día en la investigación agronómica, algunas de estas etapas están débilmente presentes o completamente ausentes. Muy a menudo, las etapa 7 (preservación de los datos) y 8 (compartir los datos) no suceden. Estas etapas aún no son parte de la metodología estándar de procedimientos para la ciencia agronómica, aun cuando se puede argumentar que datos compartidos de alta calidad pueden representar la mayor contribución de la investigación y los descubrimientos científicos.

Por lo tanto, el manejo responsable de datos constituye el núcleo de la agronomía basada en evidencia. Crear y publicar bases de datos de alta calidad y comprobables es un objetivo importante, donde tales bases de datos se convierten en entidades citables, cada una con su propio DOI (*Digital Object Identifier*) y con capacidad para aumentar el número de veces que son citadas (Piwowar y Vision, 2013) con la consiguiente contribución a la seguridad y promoción en el trabajo. En el proceso, se evita la recolección de datos redundantes innecesarios y se permite la reutilización, la agregación y la colaboración de datos. Sobre la marcha, la mayor transparencia tiene el potencial de mejorar sustancialmente la credibilidad de la ciencia y de las evaluaciones y recomendaciones científicas en comparación con aquellas basadas en desinformación y verdades parciales.

En realidad, la gran mayoría de la ciencia agronómica publicada no está en forma de conjuntos de datos básicos, sino en forma narrativa con inserciones de resúmenes o visualizaciones de datos adquiridos. Por lo tanto, otro aspecto importante de la agronomía basada en la evidencia es la síntesis transparente, no sesgada, de la literatura, relevante, en algunos casos “gris”, publicada. Las revisiones sistemáticas se han

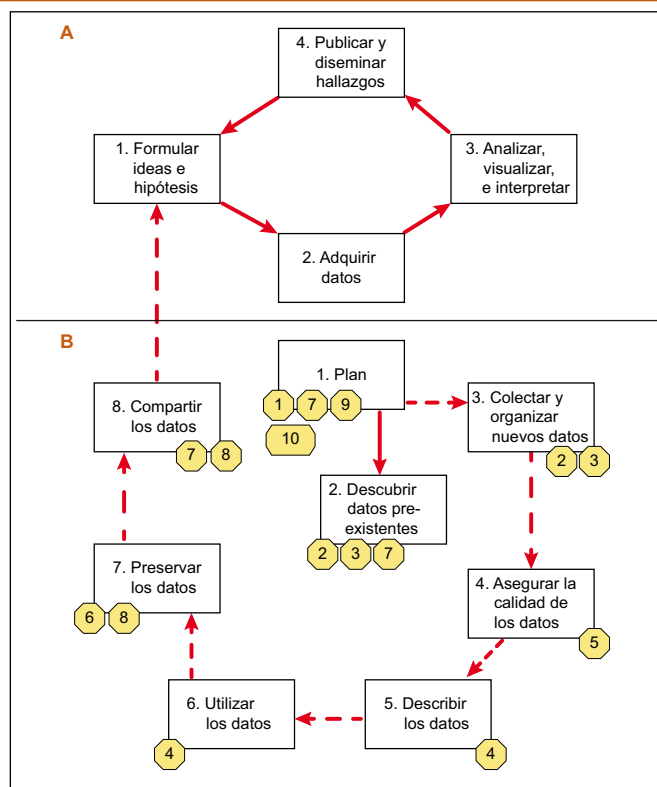


Figura 2. Ciclos de vida de la investigación (A) y de los datos (B). (Michener, 2015).

convertido en el estándar de calidad para dicha síntesis (CEE, 2013). Una revisión sistemática es una revisión muy estructurada donde los métodos de revisión reportados son lo suficientemente explícitos como para permitir que otros repitan la revisión y generen el mismo resultado. Usualmente involucran un equipo... idealmente en este caso, un agrónomo, un experto en metodología de revisiones y un bibliotecario. Las principales ventajas de las revisiones sistemáticas bien llevadas a cabo incluyen una disminución del riesgo de sesgo y una habilitación para realizar meta-análisis.

Un meta-análisis es un enfoque estadístico para combinar los resultados de múltiples estudios para mejorar las estimaciones de la magnitud de determinados efectos y la incertidumbre asociada con esas estimaciones. *Google Trends* muestra que las búsquedas para el término “revisión sistemática” han aumentado notablemente en la última década, lo que indica que estas revisiones están creciendo en influencia entre aquellos que buscan la síntesis de la comprensión científica contemporánea de un tema o pregunta. Las revisiones sistemáticas y los meta-análisis son herramientas importantes para la etapa de síntesis que conduzca a los productos de apoyo para la toma de decisiones agronómicas, pero tenemos trabajo que hacer antes de que dichas herramientas puedan alcanzar su potencial - más discusión sobre esto se presenta en la siguiente sección de manejo responsable de nutrientes.

Actualmente, muchos grupos trabajan para avanzar en el manejo responsable de datos y enfoques basados en evidencia. Estos grupos pueden ser un gran activo para ayudar a individuos u organizaciones a adoptar este tipo de enfoques. Una búsqueda en *Google* llevará

a una considerable cantidad de información y recursos proporcionados por cada uno. Algunos de estos grupos son:

- **Research Data Alliance (RDA)**: los miembros incluyen individuos, organizaciones, y países; es gratis; cubre todo tipo de datos.
- **Depósito de datos Dryad**: un repositorio digital conservado; los miembros incluyen revistas, sociedades científicas, instituciones de investigación, bibliotecas; Integra las presentaciones a revistas y datos.
- **CGIAR's Open Access and Open Data Initiative (OA/OD)**: lanzado en 2013, incluye los 15 centros de investigación; destinado a facilitar el cumplimiento de políticas de acceso abierto de las fuentes de financiación.
- **Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)**: un esfuerzo de alto nivel destinado a apoyar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (SDGs por sus siglas en inglés).
- **Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP)**: aborda la brecha de uso de datos con énfasis en modelos para el apoyo en la toma de decisiones basados en la ciencia y enfocados en la seguridad alimentaria.
- **DataOne**: proyecto financiado por la NSF comprometido con la participación de una comunidad amplia y diversa de usuarios, estudiantes y ciudadanos en la ciencia a través de esfuerzos que abarcan todo el ciclo de vida de los datos, a partir de la recopilación de los datos, su manejo, análisis y publicación.
- **ASA-CSSA-SSSA**: recientemente se estableció un Comité de Manejo Responsable de Datos para ayudar a definir el rol de las tres sociedades en las cuestiones relacionadas a los datos; cada vez más sus revistas están aceptando documentos sobre datos; La cantidad de revisiones sistemáticas está incrementando, al igual que el entrenamiento en el manejo de datos, los meta-análisis y las revisiones.

Como un ejemplo de la actividad de la ASA-CSSA-SSSA en la agronomía basada en evidencia, en la reunión anual 2015 en Minneapolis, se llevaron a cabo los siguientes simposios y talleres (presentaciones disponibles en: <https://www.acsmeetings.org>).

- Meta-análisis para condiciones de pequeños productores.
- AgMIP y Socios.
- ¿Cuáles son los costos/limitaciones asociados con el intercambio de datos?
- Meta-análisis en la investigación agrícola.
- Yendo de los grandes datos a las decisiones agronómicas.
- Bases de datos de mejoramiento genético de cultivos.

- Beneficios y barreras para el intercambio de datos.
- Taller “Meta-análisis para la síntesis de evidencia en agricultura”.
- Taller “Manejo de datos y trucos de análisis que no te enseñan en el posgrado”.

Además, se celebró una sesión plenaria de las cuatro sociedades (ASA-CSSA-SSSA junto con la *Entomological Society of America*) titulada “Obteniendo más de los datos - Ciencia para soluciones sostenibles” que contó con oradores internacionalmente reconocidos. Este plenario demostró un desafío a estas sociedades en relación con los enfoques basados en la evidencia. Hubo 7200 asistentes reunidos por las cuatro sociedades, pero menos de 300 asistieron a esta reunión – este tema aún no está en el primer plano para muchos miembros de las Sociedades. Aunque muchos individuos o grupos enfocados en un tema de investigación de interés específico la ven como una actividad de fortalecimiento y “cocinándose”, en este mundo de constante competencia por el tiempo y la atención, rara vez parece pasar al primer plano donde obtenga la atención necesaria para que se produzca la adopción.

La agronomía no es ciertamente la primera disciplina o industria que cobra consciencia del valor de los enfoques basados en la evidencia y tenemos mucho que aprender de aquellas disciplinas que están muy por delante de nosotros. Una de estas disciplinas es la medicina clínica. La *Cochrane Collaborative* fue lanzada en 1993 en un Coloquio en Oxford, Inglaterra, con 70 participantes de nueve países. Hoy en día, tiene 37 000 contribuyentes activos en 130 países y ha completado y puesto a disposición en su sitio web más de 6600 revisiones sistemáticas que abordan cuestiones críticas para los profesionales de la salud en ambientes clínicos. Es una historia notable de éxito, que podría ser reproducida en la agronomía.

Manejo responsable de nutrientes basado en evidencia

Entonces, ¿dónde estamos en la fertilidad de suelos y el manejo responsable de nutrientes en cuanto al manejo de datos y la agronomía basada en evidencia? ¿Es relevante? ¿Hay oportunidad para su adopción?

Comencemos por evaluar la naturaleza de nuestra disciplina y cómo se aplica en el campo. Aunque contamos con mecanismos científicos bien desarrollados en relación con los nutrientes en los suelos, los sistemas de cultivo y los agro-ecosistemas (Barber, 1995), somos, en la práctica, más empíricos que mecanicistas. Nuestro paradigma para el éxito es medir, generar datos, y reaccionar a los datos recolectados, ya sea en un campo entero o con la mayor resolución espacial de los sistemas de precisión. Nuestras recomendaciones, ya sea a través de un sistema estático basado en análisis de suelos, guiados casi en tiempo real por modelos de simulación basados en el clima, o mediante sensores

activos dinámicos, están todas basadas en conjuntos de datos de calibración. El éxito de lo que sucede en el campo y el valor de lo que se produce desde el campo, se definen cada vez más cuantitativamente. De hecho, dependemos en gran medida de los datos. Es difícil imaginar un campo basado en la ciencia más dependiente de los datos que el de la fertilidad del suelo y el manejo responsable de nutrientes, tanto en su generación como en la aplicación de su ciencia.

Aunque como una disciplina, la fertilidad del suelo es realmente impulsada por los datos, tradicionalmente ha sido difícil conectar los datos con las recomendaciones de una manera abierta y transparente. Hice esta observación en 1992 y me referí a ella como el paradigma de la caja negra (Figura 3; Fixen, 1992). Los datos están en la caja, pero con muchos otros factores que se integran para generar una dosis o práctica recomendada específica. Esto puede resultar en confusión para el usuario final y otros científicos que pueden tener datos adicionales relevantes para la práctica. No es una aplicación de agronomía basada en evidencia.

Durante varios años, el IPNI (entonces llamado PPI Potash & Phosphate Institute) tenía una herramienta para la toma de decisiones llamada PKMAN (PPI, 1994), que usaba datos de calibración como insumo para el programa y mostraba claramente todas las suposiciones hechas al conectar los datos con la recomendación, siendo la mayoría fijadas por el usuario. Un problema importante para la aceptación de esta herramienta fue el acceso a los datos de calibración.

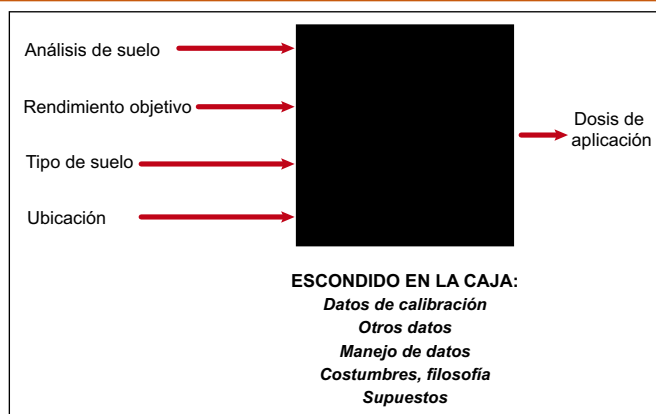


Figura 3. Un paradigma tradicional de recomendación de fertilización (Fixen, 1992).

El acceso abierto a datos de alta calidad de calibración de fertilización o análisis de suelos puede conducir a herramientas y sistemas para la toma de decisiones muy eficaces que pueden ser fácilmente actualizados a medida que se disponga de nuevos datos o se planteen nuevas preguntas relacionadas con el manejo de nutrientes. Un ejemplo es la plataforma “Mejores Decisiones de Fertilizantes para Sistemas de Cultivo” (BFDC, por sus siglas en inglés), desarrollado por un extenso consorcio de investigadores y usuarios en Australia (Figura 4, Speirs et al., 2014). Este repositorio de datos investigable contiene actualmente 6000 series de tratamientos experimentales que cubren N, P, K y S para múltiples cultivos. Representa un esfuerzo a nivel nacional basado en el trabajo y la financiación compartidos, y es un gran ejemplo de agronomía basada en la evidencia puesta a disposición a través de una herramienta de apoyo para la toma de decisiones. Se superaron los problemas de intercambio de datos y los beneficios para el manejo de nutrientes en Australia han sido sustanciales.

Figura 4. Plataforma on-line “Making Better Fertiliser Decisions for Cropping Systems in Australia” (Speirs et al., 2014).

Otro ejemplo donde datos compartidos y agregados entre numerosos investigadores han generado una herramienta de recomendación es “Nutrient Expert” (Pampolino et al., 2014). Desarrollado para productores en Asia, donde la información de análisis de suelos a nivel de predio no está normalmente disponible, el programa utiliza datos agregados sobre la absorción de nutrientes y el rendimiento, junto con información específica del predio, para generar una orientación en decisiones sobre la fuente, la dosis y el momento de aplicación de fertilizantes. La colaboración a nivel de datos fue un aspecto clave en este esfuerzo y ha generado una herramienta que proporciona recomendaciones sistemáticamente más rentables y eficientes que las alternativas existentes.

Hay urgencia en reconocer el valor de los datos relevantes de alta calidad para el manejo de nutrientes. Gran parte de los datos existentes hoy en día, que apoyan las prácticas recomendadas, fueron generados por investigadores que están hoy cerca del final o al final de sus carreras, carreras que han sido dedicadas al manejo de nutrientes basado en la ciencia. Sin embargo, los datos tienen su propio ciclo de vida que está puntualizado por etapas clave en el ciclo de vida del investigador los ha generado (Figura 5, Michener et al., 1997). Si estos conjuntos de datos no se conservan para su uso futuro, se perderá un recurso valioso que será costoso reproducir.

Por supuesto, el manejo responsable de nutrientes basado en evidencia incluye la síntesis apropiada de la literatura científica utilizando herramientas como el meta-análisis. La evaluación de la literatura publicada sobre la fertilidad del suelo y el manejo de nutrientes en relación con su potencial para contribuir a meta-análisis revela un reto importante para ciertos temas o preguntas. En los últimos años, se han publicado varias revisiones útiles con meta-análisis. Algunos ejemplos incluyen:

- *Decock (2014). Mitigating Nitrous Oxide Emissions from Corn Cropping Systems in the Midwestern U.S.*
- *Linguist et al. (2013). Enhanced Efficiency N Fertilizers for Rice Systems: Meta-analysis of Yield and N Uptake.*
- *Tremblay et al. (2012). Corn Response to N is Influenced by Soil Texture and Weather.*
- *Valkama et al. (2009). Phosphorus Fertilization: A Meta-analysis of 80 Years of Research in Finland.*

Sin embargo, los autores que intentan realizar tales análisis observan que muchos artículos tienden a enfocarse en un efecto de tratamiento en un sitio con información inadecuada sobre métodos, sitios o condiciones para situar adecuadamente el estudio en el contexto de otros estudios. Esto limita el refinamiento de la práctica o el comportamiento del producto para las condiciones específicas de un predio. La lección aquí es que el proceso editorial para las publicaciones que sirven a las necesidades científicas del manejo de nutrientes debe ser más consciente de las necesidades del meta-análisis.

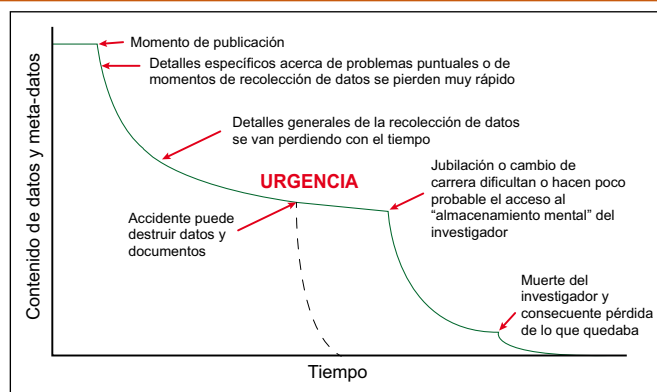


Figura 5. Degradación normal del contenido de información asociada con datos y metadatos a través del tiempo. (Michener et al., 1997).

El rol de las Fuentes de Financiamiento y el Fondo de Investigación 4R

La experiencia nos está mostrando que un medio eficaz para promover enfoques basados en la evidencia es a través de fuentes de financiamiento que lo requieran. Una fuente de financiamiento de ese tipo es el *Fondo de Investigación 4R*, creado en 2013 por la industria norteamericana de fertilizantes, con promesas iniciales de 7 millones de dólares en un periodo de cinco años (<http://www.nutrientstewardship.com/funding>). El Fondo fue instituido para ayudar a crear una conexión transparente entre las prácticas 4R del Manejo Responsable de Nutrientes y datos que muestran el impacto en indicadores y medidas de sostenibilidad. En este caso, los datos de interés van más allá del desarrollo de las mejores prácticas para incluir datos sobre la efectividad de esas prácticas en la promoción de la sostenibilidad.

Se consideró que la transparencia era esencial para el Fondo y los proyectos apoyados. Dado que la principal fuente de financiación es la industria de fertilizantes y que las partes interesadas en el manejo de nutrientes son un grupo diverso con una amplia gama de prioridades, se previó un escrutinio cuidadoso de los protocolos y resultados del Fondo. Para ayudar a proporcionar la transparencia necesaria, uno de los requisitos para la financiación fue la disposición a enviar datos y artículos a un repositorio de datos e información de acceso abierto. Ese repositorio está siendo construido en la Universidad de Purdue y proporcionará un hogar permanente para los resultados del proyecto y eventualmente para otras investigaciones relacionadas con las 4R. Es un rol único para el cual el Fondo está bien adaptado y proporcionará un medio para vincular el Fondo con proyectos a nivel estatal / provincial.

Los primeros proyectos se iniciaron en 2014 y actualmente hay 18 en los Estados Unidos y Canadá. Además de estos 18 proyectos, la primera fase del programa financió cinco revisiones de la literatura con meta-análisis para ayudar a identificar los impactos conocidos y para identificar brechas de datos. Las propuestas de proyectos y los informes de progreso están disponibles on-line en http://research.ipni.net/toc/category/4r_research_fund. La segunda fase del Fondo se lanzó en 2016 y se guía por estas revisiones y talleres de trabajo.

Consideraciones finales

La agronomía basada en evidencia tiene mucho que ofrecer a la fertilidad de suelos y el manejo de nutrientes como un medio para identificar y cubrir eficientemente brechas reales de datos.

- ¿Por qué una agronomía basada en evidencia?
 - Porque la ciencia debe volverse **rápida, ágil y confiable** para satisfacer los desafíos de la seguridad alimentaria sostenible.
- ¿Qué es?
 - Es considerar a los **datos** como un **producto primario de la ciencia** que crece en valor con accesibilidad y tiempo.
 - Es considerar cada nuevo aporte de investigación como una **continuación del proceso de descubrimiento**, no solo como un evento independiente.
- ¿Cómo la adoptamos?
 - **Compartiendo y publicando** conjuntos de **datos de calidad** con **metadatos** esenciales, y reconociendo profesionalmente contribuciones de datos.
 - **Entrenándonos** y entrenando a nuestros estudiantes en el **manejo responsable de datos**, las **revisiones sistemáticas** y el **meta-análisis**.

Bibliografía

- Barber, S.A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability: a Mechanistic Approach. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Collaboration for Environmental Evidence (CEE). 2013. Guidelines for Systematic Review and Evidence Synthesis in Environmental Management. Version 4.2. Environmental Evidence: www.environmentalevidence.org/Documents/Guidelines/Guidelines4.2.pdf
- Decock, C. 2014. Mitigating Nitrous Oxide Emissions from Corn Cropping Systems in the Midwestern U.S.: Potential and Data Gaps. [dx.doi.org/10.1021/es4055324](https://doi.org/10.1021/es4055324). Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 4247–4256.
- Fixen, P.E. 1992. Personalizing Soil Test Interpretation. In Proceedings of the Soils Fertilizer and Agricultural Pesticides Short Course and Exposition. U of Minnesota Extension Service, St. Paul, MN. pp 20-30.
- Isaacson, B. 2015. To Feed Humankind, We Need the Farms of the Future Today. Newsweek, October 22.
- Lazer, D., R. Kennedy, G. King, y A. Vespignani. 2014. The Parable of Google Flu: Traps in Big Data Analysis. Science 343:1203-1205.
- Linquist, B.A., L. Liu, C. van Kessel, y K.J. van Groenigen. 2013. Enhanced Efficiency Nitrogen Fertilizers for Rice Systems: Meta-analysis of Yield and Nitrogen Uptake. Field Crops Research 154:246-254.
- Lockers, R., y S. Janssen. 2014. Putting Food Security Research in Practice at Wageningen UR. Proceedings of Exploiting Global Knowledge for Food-security through Cooperation, Co-creation and Sharing of Information. ICRI, Athens. April 3, 2014.
- Michener, W.K. 2015. Ten Simple Rules for Creating a Good Data Management Plan. PLoS Computational Biology 11(10): e1004525. doi: 10.1371/journal.pcbi.1004525.
- Michener, W.K., J.W. Brunt, J.J. Helly, T.B. Kirchner, y S.G. Stafford. 1997. Nongeospatial Metadata for the Ecological Sciences. Ecological Applications 7(1):330-342.
- Pampolino, M.F., C. Witt, J.M. Pasuquin, A.M. Johnston, y M.J. Fisher. 2014. Development and Evaluation of Nutrient Expert® Decision Support Tool for Cereal Crops. Better Crops – South Asia 2014:4-6.
- Piwovar, H.A., y T.J. Vision. 2013. Data Reuse and the Open Data Citation Advantage. PeerJ 1: e175; doi: 10.7717/peerj.175.
- Potash & Phosphate Institute (PPI). 1994. PKMAN: A Tool for Personalizing P and K Management. Version 1.0. Potash & Phosphate Institute, Norcross, GA.
- Speirs, S., M. Conyers, D. Reuter, K. Peverill, C. Dyson, G. Watmuff, y R. Norton. 2014. Development of and Australian Soil Test Calibration Database. Better Crops 98(3):16-17.
- Tremblay, N., Y.M. Bouroubi, C. Bélec, R.W. Mullen, N.R. Kitchen, W.E. Thomason, S. Ebelhar, D.B. Mengel, W.R. Raun, D.D. Francis, E.D. Vories, y I. Ortiz-Monasterio. 2012. Corn Response to Nitrogen is Influenced by Soil Texture and Weather. Agron. J. 104:1658-1671.
- Valkama, E., R. Uusitalo, K. Ylivainio, P. Virkajärvi, y E. Turtola. 2009. Phosphorus fertilization: A Meta-analysis of 80 Years of Research in Finland. Agriculture, Ecosystems and Environment. 130:75-85.