
MARCO GLOBAL DE LAS MEJORES PRACTICAS DE MANEJO (MPM) DE LOS FERTILIZANTES

T.W. Bruulsema, C. Witt, F. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova

A nivel de unidad productiva, los sistemas de cultivos se manejan bajo múltiples objetivos. Las mejores prácticas de manejo (MPM) son aquellas prácticas que permiten alcanzar lo más cercanamente posible estos objetivos. El manejo de los fertilizantes es parte de un contexto agronómico más amplio de manejo de los sistemas de cultivos. Un marco conceptual es útil para describir como las MPM de los fertilizantes se ajustan y complementan con las prácticas del sistema agronómico.

En general, los objetivos del desarrollo sostenible dan igual énfasis a los aspectos económicos, sociales y ecológicos (Brundtland, 1987). Esta condición es esencial para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales y futuras. Sin embargo, a nivel de finca es difícil relacionar las prácticas específicas de manejo de los cultivos con estos tres aspectos generales. Desde el punto de vista práctico, cuatro objetivos de manejo son aplicables a nivel de campo en todos los sistemas de cultivo (Witt, 2003). Estos cuatro objetivos son: productividad, rentabilidad, sostenibilidad de los sistemas de cultivos y ambiente biológico y social favorable (PRSA). Las relaciones entre estos cuatro objetivos se presentan en la **Figura 1**.

Las MPM de los fertilizantes comprenden un subgrupo interconectado de MPM agronómicas. Para que una práctica que incluye el uso de fertilizantes sea considerada como la “mejor”, esta debe armonizar con otras prácticas agronómicas brindando una combinación óptima de los cuatro objetivos. Por lo tanto, el desarrollo, evaluación y refinamiento de las MPM a nivel de finca deben considerar los cuatro objetivos y la selección de los indicadores que reflejen el impacto combinado a nivel regional, nacional y global. El uso de los indicadores apropiados a diferentes escalas se discute abajo en la sección sobre indicadores de desempeño.

Objetivos del manejo de sistemas de cultivos

Productividad: La medición primaria de la productividad de los sistemas de cultivos es el rendimiento por unidad de área cultivada por unidad de tiempo. La productividad debe ser considerada en términos de todos los recursos o factores de producción involucrados. Probablemente se requieran de varios indicadores que describan la producción y la eficiencia en el uso de los insumos para evaluar adecuadamente la productividad.

Rentabilidad: La rentabilidad se determina por la diferencia entre el valor del producto (beneficio neto o ingreso) y el costo de producción. Su unidad primaria de medida es el

beneficio neto por unidad de área cultivada por unidad de tiempo. La ganancia en rentabilidad de una práctica de manejo específica es el incremento en el ingreso que esta genera deducidos sus costos marginales.



Figura 1. Ilustración del marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. Las MPM de los fertilizantes - aplicación de la fuente correcta, en la dosis, época y localización correctas - se integran con las MPM agronómicas adoptadas para alcanzar los objetivos de manejo del cultivo que buscan productividad, rentabilidad, sostenibilidad y salud ambiental. Es necesario disponer de un complemento balanceado de indicadores que reflejen la influencia de las MPM de fertilizantes sobre los cuatro objetivos de manejo del cultivo a nivel de finca y sobre los objetivos económicos, ecológicos y sociales para el desarrollo sostenible a escala más amplia con influencia en las políticas públicas regionales.

Sostenibilidad: La sostenibilidad, a nivel de los sistemas de cultivos, se refiere a la influencia del tiempo en los recursos involucrados. Un sistema de producción sostenible es aquel en el cual la calidad (o eficiencia) de los recursos naturales utilizados no disminuye con el transcurso del tiempo, de modo que “la producción no se reduce cuando no se incrementan los insumos” (Monteith, 1990).

Ambiente (biológico y social): Los sistemas de producción de cultivos tienen un amplio rango de efectos en los ecosistemas vecinos a través de la pérdida de material al agua y al aire. Los efectos específicos pueden limitarse en cierta forma a través de prácticas diseñadas para optimizar la eficiencia de uso de los recursos. Las opciones de manejo a nivel de finca, cuando funcionan en conjunto, también ejercen influencia en el ambiente social a través de la demanda laboral, condiciones de trabajo, cambios en los servicios ambientales, etc.

Objetivos del manejo de fertilizantes

Las MPM de los fertilizantes apoyan básicamente los cuatro objetivos identificados para el manejo de los sistemas de cultivos y se pueden describir apropiadamente como la selección de la fuente correcta para aplicarse en la dosis, época y localización correctas (Roberts, 2007). La fuente del fertilizante, dosis, época y localización son interdependientes y se encuentran también interconectadas con el conjunto de prácticas de manejo agronómicas aplicadas en los sistemas de cultivos como se observa en la **Figura 1**.

Principios científicos

Principios científicos específicos fundamentan las MPM para cultivos y fertilizantes, como grupo e individualmente. Estos principios son globales, pero también son aplicables a nivel práctico en la finca. La aplicación de estos principios científicos puede diferir ampliamente, dependiendo del sistema específico de cultivo que se encuentre bajo consideración. Los principios específicos relevantes a cada categoría de las MPM se presentan a continuación:

- Manejo del cultivo
 - Buscar medidas prácticas de validación.
 - Reconocer y adaptarse a los riesgos.
 - Definir indicadores de desempeño.
 - Asegurar la retroalimentación entre el nivel global y la práctica de campo.

 - Manejo del fertilizante
 - Ser consistente con mecanismos de procesos conocidos.
 - Reconocer las interacciones con otros factores del sistema de producción.
 - Reconocer interacciones entre la fuente del nutriente, dosis, época y localización.
 - Evitar efectos perjudiciales a las raíces, hojas y plántulas.
 - Reconocer los efectos en la calidad del cultivo como en el rendimiento.
 - Considerar los resultados económicos.

 - Fuente
 - Suministrar nutrientes en formas disponibles para las plantas.
 - Ajustarse a las propiedades físicas y químicas del suelo.
 - Reconocer sinergismos entre elementos y fuente de nutrientes.
 - Reconocer la compatibilidad de mezclas.
 - Reconocer los beneficios y sensibilidades a elementos asociados.
 - Controlar el efecto de los elementos no nutritivos.

 - Dosis
 - Utilizar métodos adecuados para determinar el suplemento de nutrientes del suelo.
-

-
- Determinar todas las formas de nutrientes nativos del suelo disponibles para el cultivo.
 - Evaluar la demanda de nutrientes del cultivo.
 - Predecir la eficiencia de uso del fertilizante.
 - Considerar los impactos en el recurso suelo.
 - Considerar el efecto económico de dosis específicas.
- Época
 - Evaluar la dinámica de absorción del cultivo.
 - Evaluar la dinámica de suplemento del nutriente por el suelo.
 - Reconocer el momento en que los factores climáticos influyen la pérdida de nutrientes.
 - Evaluar la logística de las operaciones de campo.
 - Localización
 - Reconocer la dinámica suelo-raíz.
 - Manejar la variabilidad espacial al interior del campo y entre fincas.
 - Ajustar las necesidades al sistema de labranza.
 - Limitar el transporte potencial de nutriente fuera del campo.

La cantidad de principios científicos aplicables a una situación específica a nivel de campo es considerable. La elección de las MPM apropiadas a nivel práctico requiere de la participación de individuos calificados, productores y técnicos, que entiendan estos principios y su aplicación. Más detalles acerca de estos principios se encuentran disponibles en IPNI (2008).

Indicadores de desempeño

Los indicadores del comportamiento del sistema necesitan reflejar la influencia de las MPM de fertilizantes sobre los cuatro objetivos de manejo de los sistemas agrícolas. La eficiencia de uso de los nutrientes (EUN, rendimiento o absorción del nutriente por unidad de nutriente aplicado) a menudo se considera como el principal indicador que evalúa el desempeño de la utilización de fertilizantes. Sin embargo, como se muestra en la **Figura 1**, este indicador se relaciona más directamente con la rentabilidad y productividad que con la sostenibilidad y salud ambiental. Existen otros indicadores de eficiencia de uso de nutrientes (Dobermann, 2007; Snyder y Bruulsema, 2007), que difieren en que tan bien se relacionan con los cuatro objetivos. Por ejemplo, uno de los más importantes indicadores de productividad para N es la eficiencia agronómica, es decir el incremento en rendimiento de grano por unidad de nutriente aplicado. Sin embargo, una baja eficiencia agronómica puede ser aceptable para nutrientes como P y K, para los cuales una medida diferente de la eficiencia - balance parcial de nutrientes - puede ser más relevante para evitar que se depriman o que se incrementen excesivamente los niveles de estos nutrientes en el suelo.

La lista parcial de indicadores se describe más detalladamente en la **Tabla 1**. El conjunto de indicadores de desempeño que describen el impacto completo de una combinación de

MPM de fertilizantes varía dependiendo de la escala en consideración. Todos los actores deben contribuir a la selección de indicadores para alcanzar el óptimo de los cuatro objetivos de manejo. El marco conceptual que proponemos es de gran utilidad para garantizar que el conjunto de indicadores elegidos provea una percepción equilibrada de los cuatro objetivos, en armonía con los objetivos de desarrollo sostenible.

Tabla 1. Indicadores de desempeño de las MPM de fertilizantes relacionados con los objetivos de manejo del cultivo.

Objetivo de manejo	Indicador funcional	Descripción
Productividad	Rendimiento	Cantidad de cultivo cosechado por unidad de área por unidad de tiempo.
	Calidad	Cantidad de componentes del cultivo (azúcar, proteínas, minerales, etc.) u otros atributos que agregan valor al producto cosechado.
	Eficiencia de uso de nutrientes	Rendimiento o absorción de nutrientes por unidad de nutriente aplicado
	Eficiencia de uso del agua	Rendimiento por unidad de agua aplicada o disponible. Relevante para los sistemas de producción irrigados de secano.
	Eficiencia de uso de mano de obra	La demanda y el suministro de mano de obra están críticamente relacionados con el número y época de las operaciones de campo
	Eficiencia de uso de la energía	Rendimiento del cultivo por unidad de energía consumida.
Rentabilidad	Beneficio neto	Refleja el volumen y el valor del cultivo producido, por unidad de tiempo, relativo a todos los costos de producción. Su limitación es la incapacidad para manejar las externalidades a las que no se han atribuido valor económico.
	Retorno de inversión	Similar al beneficio neto, considerando el capital de inversión y las amortizaciones.
Sostenibilidad de los sistemas de cultivos	Adopción	Proporción de productos que utilizan MPM específicas. A menudo fácilmente medible, pero es importante tener en cuenta el contexto.
	Productividad del suelo	Refleja cambios en los niveles de fertilidad, materia orgánica y otros indicadores de calidad del suelo.
	Estabilidad del rendimiento	Persistencia de los rendimientos de los cultivos frente a las variaciones de clima, plagas y enfermedades.
	Ingresos a nivel de finca	Mejoras en la forma de ganarse el sustento
	Condiciones de trabajo	Calidad de vida

Ambiente biológico y social	Calidad del agua y del aire	Concentraciones y carga de nutrientes en cuerpos de agua de las cuencas agrícolas. Existe limitada habilidad para monitorear a escala de campo. El monitoreo a nivel de cuenca, escala regional y global es un servicio público importante.
	Servicios ambientales	Difíciles de cuantificar. Es importante identificarlos. Pueden incluir la dependencia del cultivo de depredadores y polinizadores naturales. Relacionado con la recreación, caza, pesca, etc.
	Biodiversidad	Difícil de cuantificar, puede ser descriptiva.
	Erosión del suelo	Grado de cobertura del suelo por cultivos en crecimiento activo y con residuos de cultivos anteriores.
	Pérdida de nutrientes	Pérdida específica de nutrientes al agua o aire. Hay muchas vías de pérdida y por esta razón son difíciles de cuantificar a nivel de finca.
	Balace de nutrientes	Medida total de ingreso y egreso de nutrientes, a nivel de la superficie del suelo o de toda la finca. El requerimiento de utilización de nutrientes a menudo se relaciona con el incremento en la remoción de nutrientes en los productos cosechados a medida que los rendimientos del cultivo se incrementan.

Conclusión

Las MPM de los fertilizantes son aquellas que apoyan en forma exitosa el cumplimiento de los cuatro objetivos del manejo de los sistemas de cultivo: productividad, rentabilidad, sostenibilidad, y salud ambiental. Un robusto conjunto de principios científicos que guían el desarrollo y la implementación de las MPM de los fertilizantes han surgido como resultado de una larga historia de investigación agronómica y de fertilidad de suelos. Aquellos principios, vistos como parte del marco global, muestran que el conjunto de las MPM más apropiado puede solamente identificarse a nivel local, donde se conoce el contexto completo de cada práctica. El marco global para las MPM también reconoce la necesidad de utilizar un complemento balanceado de indicadores que describan con precisión los beneficios y riesgos del uso de los fertilizantes en el contexto del desarrollo sostenible.

Bibliografía

Brundtland, G.H. 1987. Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. pp. 1-28. In Fertilizer Best Management Practices. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March. Brussels, Belgium.

IPNI, 2008. A global framework for best management practices for fertilizer use. IPNI Concept Paper #1. Norcross, GA.

Monteith, J.L. 1990. Can sustainability be quantified? *Indian J. Dryland Agric. Res. Dev.* 5:1-5.

Roberts, T.L. 2007. Right product, right rate, right time, and right place...the foundation of best management practices for fertilizer. pp. 29-32. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March. Brussels, Belgium.

Snyder, C.S. y T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. International Plant Nutrition Institute. Reference # 07076.

Witt, C. 2003. Fertilizer use efficiencies in irrigated rice in Asia. *Proceedings of the IFA Regional Conference for Asia and the Pacific, Cheju Island, Republic of Korea, 6-8 October 2003*. [online]. Disponible en www.fertilizer.org (last update 2003; accessed 27 Sept. 2005). Paris: International Fertilizer Association.

Reconocimiento

Los autores reconocen y agradecen al Dr. Paul Fixen quien contribuyó a la generación del concepto del marco global y también agradecen su posterior aporte al proceso de desarrollo del concepto.
