

AVANCES Y TENDENCIAS EN LAS TÉCNICAS DE FERTILIZACIÓN (Parte II)*

Como consecuencia de consideraciones de varios tipos existe interés sin precedentes en mejorar la eficiencia de los fertilizantes. El colocar el fertilizante en el lugar adecuado de la zona radicular es tan importante como aplicar la cantidad correcta de nutrientes. Esta es la segunda parte de una serie de tres artículos que discuten las nuevas tendencias en técnicas de fertilización de cultivos desarrolladas en los últimos años.

CONDICIONES DE SUELO Y CULTIVO QUE DICTAN EL USO DE TÉCNICAS NUEVAS O MEJORADAS DE FERTILIZACIÓN

Disponibilidad posicional de los fertilizantes aplicados al voleo

Las aplicaciones de fertilizantes a la superficie del suelo pueden ser poco efectivas, especialmente si la precipitación y/o el riego son inadecuados para moverlos a zonas más profundas, con mayor humedad dentro de la zona radicular. Esta es una consideración importante en el manejo de nutrientes con limitada movilidad como P, K y otros nutrientes.

Sin embargo, el mantener el nitrógeno móvil en o cerca de la superficie también puede ser un problema ya que apreciables cantidades de este nutriente deben estar disponibles todo el tiempo para el satisfactorio crecimiento del cultivo. Por supuesto la aplicación al voleo de N es efectiva cuando existe suficiente humedad para mover el N a suficiente profundidad dentro de la zona radicular.

En general el problema de indisponibilidad posicional es más serio en regiones que se caracterizan por tener baja precipitación durante el ciclo de crecimiento del cultivo o en años cuando la precipitación es menor que la normal.

Volatilización de amonio

Pueden haber serias pérdidas por volatilización de amonio de fertilizantes que contienen o forman amonio cuando se dejan sin incorporar en la superficie del suelo. La magnitud de estas pérdidas está influenciada por varios factores que incluyen pH, temperatura, capacidad de intercambio catiónico, textura, humedad del suelo así como precipitación.

Conversión de nutrientes aplicados a formas menos disponibles

La práctica de aplicar fertilizantes al voleo y luego incorporarlos expone a los nutrientes aplicados a volúmenes grandes de suelo. En muchos suelos, esta conducción puede producir el cambio de nutrientes solubles, especialmente el P y algo de K, a formas menos disponibles. La eficiencia de los fertilizantes puede reducirse apreciablemente en suelos con propiedades químicas caracterizadas por pH bajo, cantidades grandes de óxidos de hierro y aluminio, alto contenido de arcillas, etc., que favorecen las reacciones que reducen la disponibilidad de P, K y otros nutrientes.

Es crítico el confinar el fertilizante a una zona muy restringida o banda en suelos con alta capacidad de transformar nutrientes solubles a formas no disponibles. Esto es especialmente cierto cuando se usan dosis bajas

* Beaton, J. Presidente del Instituto de la Potasa y el Fósforo Canadá "PPIC". Saskatoon, Canadá.

de fertilizantes en suelos infértiles. Para obtener eficiencia máxima de los nutrientes generalmente se llega a un compromiso entre el volumen de suelo fertilizado y la uniformidad de distribución dentro de la zona radicular, de modo que se optimiza la oportunidad del contacto raíz-fertilizante y se minimiza la fijación de nutrientes (Randall y Hoef, 1988).

Materia orgánica y/o inmovilización microbiana

Como resultado del cambio a los sistemas de labranza cero o labranza reducida en Norte América, en Argentina y Brasil generalmente se siembran los cultivos en presencia de relativamente altas cantidades de residuos cerca o en la superficie del suelo. La descomposición microbiana de estos residuos acumulados puede inmovilizar nutrientes minerales, particularmente N y S, resultando en deficiencias que se presentan temprano en el ciclo de crecimiento y/o en todo el ciclo del cultivo.

La paja de cereales es frecuentemente baja en N, P y S y los microorganismos que descomponen este material compiten con los cultivos por estos y otros nutrientes esenciales. La inmovilización de N se evita cuando los residuos son altos en N, (1.25-1.50% de N).

Temperaturas bajas del suelo

El desarrollo y actividad de las raíces se restringe a bajas temperaturas y la difusión de nutrientes como P y K, hacia las raíces de las plantas, también se reduce en estas condiciones. Se conoce bien que las aplicaciones de arranque de P y K son particularmente efectivas cuando el suelo tiene bajas temperaturas y a menudo producen incrementos grandes de rendimiento, aun cuando el contenido de estos nutrientes en el suelo sea medio o alto (Beaton, 1985; Murphy, 1984 a, b). Las posibilidades de que el P, K, N y S, aplicados como fertilizantes de arranque, tengan efectos beneficiosos son muy altos en los sistemas de labranza cero o labranza reducida, debido a las bajas temperaturas prevalentes al inicio del ciclo de crecimiento.

Supresión de enfermedades

Existe una fuerte posibilidad de que exista una apreciable interacción fertilizante x enfermedades que inflencie los rendimientos del cultivo (Beaton, 1985). En el occidente del Canadá, el P aplicado con la semilla de trigo de primavera fue uno de los principales factores en la virtual eliminación de la pudrición de la raíz causada por *Pythium* spp. El mismo tratamiento de fertilizantes ha suprimido la pudrición común de la raíz (*Cochliobolus sativus*) en trigo de primavera.

El aplicar en banda fertilizantes que contiene Cl, como el KCl, antes o a la siembra del trigo, ha ayudado en la supresión de la pudrición radicular del trigo de invierno en Oregon. La aplicación al voleo de fuentes de Cl también han reducido el estrés causado por la pudrición de la raíz en este cultivo.

La aplicación de KCl al voleo o en banda profunda, es efectiva en el control de enfermedades foliares de cereales de primavera en Dakota del Sur (Fixen, 1987). La aplicación al voleo es más versátil que la aplicación con la semilla porque las dosis requeridas para control de la enfermedad (80 kg de KCl/ha) no se pueden aplicar en contacto directo con la semilla.

Competencia de malezas

Algunas malezas germinan muy cerca de la superficie del suelo y las aplicaciones superficiales de N pueden estimular su germinación y crecimiento inicial (Beaton, 1985). En algunos casos, las malezas responden más que el cultivo a la aplicación al voleo de N. En ausencia de un adecuado control de malezas, las malezas más agresivas pueden competir y crecer mejor que el cultivo.

Las aplicaciones al voleo de P pueden promover el crecimiento de malezas a expensas de los rendimientos del cultivo mientras que el P aplicado en banda o con la semilla favorece el cultivo y deprime la competencia de malezas (Todd, 1979).

El restringir acceso de las malezas al fertilizante aplicado, por medio de ajustes en la localización del fertilizante, es una estrategia que merece consideración. Solamente el manejo de fertilizantes puede ser suficiente para controlar malezas cuando la infestación es ligera.

Los cambios en los sistemas de labranza pueden también requerir cambios en las técnicas de aplicación de los fertilizantes. Algunas malezas son más numerosas y competitivas en sistemas de labranza reducida y los fertilizantes deben aplicarse en forma que no promuevan más su crecimiento (Beaton, 1985).

Denitrificación

Se conoce que este mecanismo de pérdida de N del suelo puede ser un problema en regiones de clima cálido y abundantes precipitaciones y en suelos con alto contenido de materia orgánica.

La eficiencia de las formas amoniacales de N pueden mejorarse apreciablemente utilizando algunos de los métodos de aplicación de fertilizantes como los que se

describen a continuación:

- Banda angosta a 5 cm de profundidad con 46 cm de separación.
- Aplicar gránulos muy grandes de fertilizantes sólidos que pesen entre 1 ó 2 g.
- Aplicar 2,5 g de fertilizantes de tamaño regular en áreas localizadas (bolsas) a una profundidad de 5 a 6 cm y en el punto central de un cuadrado de 46 por 46 cm.

Los inhibidores de nitrificación como el disulfito de Carbono y el Tritiocarbamato también han mejorado las respuestas de las aplicaciones de N en la estación lluviosa, época en la cual existen sustanciales pérdidas por denitrificación (Malhi & Nyborg, 1982).

La labranza del suelo influencia las pérdidas potenciales por denitrificación debido al mayor contenido de agua y C orgánico en la superficie de los suelos con labranza cero que en los suelos de labranza convencional (Beaton, 1985; Murphy, 1984, a,b). La población de los organismos denitrificadores puede ser mayor en la superficie en los suelos con labranza cero.

Es necesario prestar atención a la adecuada localización del N en los sistemas de labranza reducida, no solamente para minimizar las pérdidas por denitrificación sino también para reducir las pérdidas por inmovilización y el crecimiento de malezas.

Interacciones de nutrientes en las bandas ubicadas bajo la superficie

Se ha encontrado que la localización del N, especialmente las formas amoniacales aplicado conjuntamente con el P en una banda común incrementa la eficiencia del fertilizante fosfatado y en consecuencia incrementa los rendimientos. Algunas de las posibles explicaciones de esta interacción incluyen: incremento de la densidad radicular, efectos metabólicos derivados de la mejor nutrición con N y que afectan favorablemente la absorción de P y cambios en la solubilidad de P.

Estudios conducidos en la Universidad del Estado de Colorado (Hanson & Westfall, 1983; Westfall & Hanson, 1984) sugieren las siguientes explicaciones de el porque existe mayor efectividad de P en presencia de NH_4 :

- El alto pH inicial, producido inmediatamente después de la aplicación de N, permite la formación de productos Ca-P, como fosfato dicálcico y fosfato octacálcico, que son ligeramente solubles pero altamente disponibles.

- Después, la producción de H^+ durante el proceso de nitrificación incrementa la solubilidad del P y el potencial del fosfato se mueve a la parte superior de las isoterms de fosfato favoreciendo la formación de fosfatos de hierro y aluminio.
- Este rápido descenso en pH permite que los productos solubles de P persistan, lo cual resulta en una mayor disponibilidad del elemento por período más largo de tiempo.

El retardar la nitrificación, con inhibidores del proceso como nitrapyrin, prolonga la existencia de estas formas solubles de P. Se ha observado también que el pH del suelo fue mayor con el tratamiento $\text{NO}_3 + \text{P}$ que el tratamiento $\text{NH}_4 + \text{P}$. Esto probablemente se debe a la liberación desigual de iones y cationes y a la absorción por las plantas.

En regiones del occidente del Canadá, se ha observado que la absorción de nutrientes, particularmente P, de las bandas profundas localizadas antes de la siembra, no es adecuada si la siembra se hace inmediatamente después de la fertilización (Harapiak & Beaton, 1986). La recuperación de P se restringe cuando se aplican, en banda profunda con 30 cm de separación, fuentes amoniacales de N en dosis de 100 kg/ha, inmediatamente antes de la siembra. En forma similar, las dosis altas de K aplicadas conjuntamente en las bandas N-P pueden interferir con la absorción de P. Estos problemas de disponibilidad pueden evitarse retardando la siembra por alrededor de tres semanas después de la aplicación de las bandas profundas, para permitir que estas se equilibren.

Se considera que las causas de la restricción en la absorción de P, de bandas profundas de N-P recién aplicadas, son la alta concentración de amonio libre y nitrito y el elevado pH que temporalmente existe en las zonas donde se colocan fertilizantes amoniacales. Estas condiciones impiden que las raíces penetren en esta área del suelo rica en nutrientes.

Aplicación fraccionada del Nitrógeno

Se conoce que las aplicaciones fraccionadas de N son beneficiosas en situaciones en las cuales se requiere apreciables cantidades de este nutriente y en las cuales las pérdidas del suelo, principalmente la lixiviación del nitrato, reducen la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados. Es también aconsejable el hacer aplicaciones fraccionadas de K cuando los suelos son arenosos, bajos en capacidad de intercambio catiónico o en áreas de alta precipitación.

Otra razón importante para fraccionar las aplicaciones de fertilizante es la de entregar nutrientes al cultivo

durante todo el ciclo de crecimiento. Esto es particularmente cierto en ciertos estados críticos de crecimiento de cultivos como maíz y cereales de grano pequeño. Por ejemplo, el maíz tiene 2 períodos intensos de absorción de nutrientes y los rendimientos altos de grano están relacionados con mantener tasas diarias de crecimiento ligeramente más altas, por períodos más largos de tiempo, durante estas 2 etapas de absorción de nutrientes (Beaton et al, 1985). La primera etapa ocurre durante el crecimiento vegetativo, (V12 a V18) cuando el tamaño de la mazorca y el número de óvulos (granos potenciales) se establecen y se acumulan las reservas fotosintéticas en el tallo y en las hojas. La segunda etapa ocurre durante el crecimiento reproductivo o etapa del llenado del grano, cuando el número final y tamaño de granos se determina.

La absorción de N y P se produce en dos períodos mientras que la absorción de K se produce solamente durante el crecimiento vegetativo y virtualmente se interrumpe después de que ha aparecido el 50% de la floración (Olness & Benoit, 1992). La tasa máxima de acumulación vegetativa ocurre simultáneamente para N y K.

Investigadores de la Universidad de Purdue han demostrado claramente que algunos híbridos de maíz absorben grandes cantidades de N después del apareamiento de la floración femenina y responden particularmente bien a la presencia de amonio en la nutrición, en la fase final del crecimiento (Tsai et al., 1984). Investigadores de Illinois (Below y Gentry, 1988) encontraron que algunos híbridos se comportan mejor cuando reciben N, tanto en forma de nitrato como en forma de amonio, antes que solamente nitrato. Olness y Benoit (1992) indican que los híbridos actuales parecen crecer mejor cuando la relación nitrato a amonio es 2-3:1. En experimentos en Colorado, se han obtenido incrementos de rendimiento que van de 800 a 1750 kg/ha al incrementar la cantidad de N disponible en forma de amonio por medio de inhibidores de la nitrificación (Olsen, 1986).

El desarrollo y crecimiento óptimo del trigo depende mucho del adecuado suplemento de N en las siguientes etapas de crecimiento:

- al final del macollamiento,
- a inicio de la elongación del tallo y
- a la formación de la panoja para incrementar el peso el grano y el contenido de proteína.

La etapa entre el final del macollamiento y el inicio de la elongación del tallo es una etapa de crecimiento particularmente crítica ya que el número potencial de granos por panoja se determina durante este período. Es muy importante evitar estrés de N durante este intervalo de crecimiento y el fertilizante nitrogenado debe aplicarse al inicio del macollamiento si los contenidos de N en el suelo no son adecuados.

Bauer et al. (1988) reportaron la importancia de la fertilización nitrogenada en relación con las etapas de desarrollo del trigo y concluyeron que el N necesario para optimizar los rendimientos debe ajustarse al potencial de agua. Debido a que el componente agua puede cambiar durante el ciclo de crecimiento, con importantes implicaciones en el potencial de rendimiento, el suplemento de N debería ser concordante con estos cambios para obtener los mejores rendimientos.

Bock (1987) reportó que el incremento en el suplemento de N amoniacal para trigo puede resultar en incrementos de rendimiento significativos. Estudios en condiciones controladas indican que si bien los niveles de amonio no pueden ser muy altos debido al potencial de toxicidad, niveles de amonio más altos de lo normal están relacionados con mejores potenciales de rendimiento. Esto sugiere que las aplicaciones fraccionadas de N y el mantenimiento de amonio en la solución del suelo puede ser una opción viable de manejo y puede explicar algunas de las ventajas de las aplicaciones fraccionadas de N y de la aplicación de urea tarde en el ciclo de crecimiento, en trigo manejado intensivamente .

De esta discusión sobre las formas de absorción de nutrientes y los beneficios de la nutrición con amonio para el crecimiento de maíz y trigo es aparente, que se debe prestar más atención a las aplicaciones fraccionadas de N. También debe reconocerse el papel de los inhibidores de nitrificación. Todas estas prácticas también ayudan a proteger el ambiente.

Variabilidad de suelos y recomendaciones de fertilización

No se ha tomado en cuenta la variabilidad del suelo dentro de una finca en el desarrollo de las recomendaciones de fertilización. Los límites de los lotes dentro de una finca rara vez coinciden con los cambios en tipo de suelo y la mayoría de los lotes contienen varios suelos con diferente potencial de producción. En áreas de superficie irregular pueden haber diferencias grandes en el contenido de nutrientes y agua, dependiendo de la posición del sitio en la pendiente.

Las recomendaciones de fertilización promedio para un lote completo, antes que partes específicas del lote con diferentes tipos de suelo, pueden resultar en adecuada o excesiva aplicación de fertilizantes dependiendo de la naturaleza y de la productividad de los suelos. Se está haciendo obsoleto el manejar lotes grandes como una unidad individual, aun cuando parezcan ser uniformes. Se recomienda el ajustar las aplicaciones de fertilizantes y otros insumos a las diferencias de suelo y esta recomendación es actualmente aplicada por agricultores progresistas. Al hacer esto se reducen los costos, se incrementa la rentabilidad y se mantiene o mejora la calidad del suelo y el agua. Los avances en la tecnología de manejo de la fertilidad del suelo en lotes diferentes en una finca se discuten más adelante en este artículo.

Agricultura por tipo de suelo

La agricultura por tipo de suelo (APTS) es un concepto que está siendo investigado tratando de acomodar la variabilidad de nutrientes en el suelo dentro de los lotes en una finca. Existen dos métodos al momento. Estos son: El potencial del suelo y el método de la cuadrícula de nutrientes (Wollenhaupt y Buchholz, 1992).

En el método del potencial del suelo, se determina la variabilidad de nutrientes dentro de los límites del lote, basándose en un mapa de unidades de suelo y/o en combinación con fotografía aérea, como las fotografías de falso color infrarrojo. Con este método se asume que el contenido de nutrientes en el suelo puede ser adecuadamente determinado al tomar muestras compuestas dentro de un tipo particular de suelo o agrupando suelos similares y que los suelos tienen diferentes potenciales de rendimiento y por esta razón se pueden obtener significativas ganancias en manejo de nutrientes al fertilizar los suelos de acuerdo a su diferente potencial de rendimiento.

El método de la cuadrícula de nutrientes subdivide los lotes en pequeñas celdas bases o cuadrículas. El tamaño de las celdas es generalmente de 0.8 a 1.2 ha. Las muestras de suelo se toman dentro de la celda y se mezclan para el análisis. Recientemente se ha empezado a tomar las muestras de suelo dentro de un pequeño radio en el punto de intersección de las cuadrículas. Las muestras del suelo se analizan por los nutrientes disponibles y los resultados se incorporan a un mapa de manejo de nutrientes. Las dosis de fertilizante a aplicarse varían de acuerdo entonces al mapa de manejo de nutrientes.

Las dosis de fertilizantes pueden modificarse aun más teniendo en cuenta las diferencias en el potencial de rendimiento de los suelos.

Aun cuando la fertilización con los métodos APTS puede reducir los costos del fertilizante, el costo total de fertilizar por estos métodos puede ser de 4 a 7 dólares más alto que el sistema convencional de fertilizar con una sola dosis por lote. Los factores que contribuyen al más alto costo de los métodos APTS incluyen: equipo especial de aplicación más muestreo y análisis de suelos, manejo de datos y la construcción del mapa. Sin embargo, estos métodos tienen un buen potencial debido a los beneficios ambientales derivados del uso eficiente de N, y cuyo costo no se puede calcular fácilmente.

BIBLIOGRAFIA

- Bauer, A., A.L. Black, and A. B. Frank. 1988. Nitrogen fertilization in relation to spring wheat development stages. p. 129-136. In Proceedings Great Plains Fertility workshop. Volume 2. March 8-9, 1988. Denver, CO.
- Beaton, J.D. 1985. Fertilizer management and yield potential. p. 22-36. In Proceedings Fourth Annual Conservation Tillage Conference. Soil Conservation Society of America. February 26-27, 1985 Pullman, W.A.
- Below, F.E., and L. E. Gentry. 1988. Nitrogen source influences nutrient uptake. Better Crops with Plant Food 71 (2): 18-20.
- Bock, B.R. 1987. Increases in maximum yield of spring wheat by maintaining relatively high ammonium/nitrate ratios in soil. J. Fert. Issues 4: 68-72
- Fixen, P.E. 1987. Chloride fertilization: Recent research gives new answers. Crops and Soils (39) (6) 14-16.
- Hanson, R.L., and D.G. Westfall. 1983. Phosphorus solubility relationships of common N and P fertilizer injection zones. p. 50-52. In Abstracts of papers presented at the Western Phosphate Work Group, Western Soil and Water Research Committee.
- Harapiak, J.Y., and J.D. Beaton. 1986. Review: Phosphorus fertilizer considerations for maximum yields in the Great Plains. J. Fert. Issues 3: 113-123.
- Malhi, S.S., and M. Nyborg. 1982. An evaluation of carbon disulphide as a sulphur fertilizer and as a nitrification inhibitor. Plant Soil 65: 203-218.
- Murphy, L.S. 1984. Recent developments in fluid fertilizer application techniques. ANDA Fluid Fertilizers Seminar, October 25-26, 1984. Sao Paulo, Brazil.
- Murphy, L.S. 1984. Recent developments in fertilizer application techniques in the United States and Canada. p. 457-566. In E. Welte and I. Szabolcs (eds.) Fight against hunger through improved plant nutrition. 9th World Fertilizer Congress Proceedings, July 11-16, 1984. Budapest, Hungary.
- Randall, G.W., and R.G. Hoefl. 1988. Placement methods for improved efficiency of P. and K fertilizers:

-
- A review. *J. Prod. Agric.* 1: 70-78.
- Olness, A., and G.R. Benoit. 1992. Increasing the efficiency of fall-applied urea fertilizer by placing in big pellets or in nests. *Plant Soil* 52: 461-564.
- Olsen, S.R. 1986. The role of ammonium nutrition in higher yields. p. 6-15. In *Proceedings Great Plains Soil Fertility Workshop*. Volume 1. March 4-5. Denver, CO.
- Tsai, C.Y., D.M. Huber, D.V. Glover, and H. L. Warren. 1984. Relationship of N deposition to grain yield and N response of three maize hybrids. *Crop Sci.* 24: 277-281.

- Wollenhaupt, N.C., and D.D. Buchholz. 1992. Profitability of farming by soils. In *Proceedings Soil Specific Crop Management: A workshop on Research and Development Issues*. April 14-16, 1992. Minneapolis, MN.