

Intensidad de cultivo, rotaciones y tecnología de fertilización para la producción sustentable de trigo

Una experiencia norteamericana

Terry L. Roberts ¹ y Adrian M. Johnston ²

¹ *Presidente Potash & Phosphate Institute* y ² *Presidente Potash & Phosphate Institute of Canada*

troberts@ppi-ppic.org

Presentado en el 7º. Congreso Internacional de Trigo. Mar del Plata (Buenos Aires, Argentina). 27 Noviembre-2 Diciembre 2005.

Introducción

Norteamérica lidera la producción mundial de cultivos bajo siembra directa (SD). Actualmente, el área bajo SD es de 25 millones de ha en EE.UU. y de 13 millones de ha en Canadá, el 41% del total de las 95 millones de ha bajo SD en el mundo (Tabla 1). A su vez, Norteamérica es una de los mayores productores y exportadores de trigo en el mundo (FAO, 2005). Los Estados Unidos es el tercer mayor productor y el líder en exportaciones, con una producción anual promedio de 60 millones de toneladas (t), exportando unas 30 millones de t. Canadá es el sexto productor de trigo del mundo, con una producción anual promedio de 26 millones de t, y el tercero en exportación con, al menos, 18 millones de t.

Tabla 1. Area bajo siembra directa, 2004/05.

País	Area bajo SD (millones de ha)
EE.UU.	25.3
Brasil	23.6
Argentina	16.0
Canadá	13.4
Australia	9.0
Paraguay	1.7
India	1.9
Bolivia	0.6
Sudáfrica	0.3
España	0.3
Venezuela	0.3
Uruguay	0.3
Francia	0.2
Chile	0.1
Colombia	0.1
China	0.1
Otras (estimado)	1.5
Total	94.6

Fuente: J. Hassell, Conservation Technology Information Center, comunicación personal.

La región norte de las Grandes Planicies norteamericanas tiene un área total de 125 millones de ha, con al menos 52 millones de ha en producción de cultivos (Padbury et al., 2002). El trigo es el cultivo dominante, seguido por la cebada y la avena, dentro de los cereales. El cultivo de maíz domina únicamente en las regiones del sur, donde las condiciones climáticas permiten su producción. La canola es la principal oleaginosa en la región, cultivada principalmente en las Praderas Canadienses. Los cultivos de legumbres, como la arveja y lentejas, están creciendo como alternativa de diversificación, pero aún representan una pequeña proporción de todos los cultivos.

Las condiciones ambientales al norte de las Grandes Planicies, suelen describirse como severas, con inviernos fríos y veranos cálidos. Sin embargo, la principal limitante para la producción es la cantidad y distribución de las precipitaciones. Las precipitaciones anuales varían mayormente entre 300 y 500 mm, con 165 a 300 mm durante la estación de crecimiento de Abril-Julio (Padbury et al., 2002). El periodo libre de heladas varía entre 83 y 157 días, representando la principal diversidad para la producción potencial de cultivos. Los suelos permanecen congelados durante 4 a 6 meses al año, minimizándose la actividad biológica, la liberación de nutrientes y la descomposición de los residuos.

Los productores de las Praderas Canadienses y región norte de las Grandes Planicies fueron pioneros en la producción de trigo bajo sistemas de labranza reducida comenzando sus experimentaciones con SD a principios de los `70. Hoy en día, la labranza cero o SD es usada por un tercio de los productores trigueros en EE.UU. y en, al menos, la mitad del área triguera en Canadá. La mayoría de los productores trigueros que usan SD tienden a diversificar la rotación de cultivos para maximizar la eficiencia de producción.

El control de la erosión es una de las principales fuerzas impulsoras en la adopción de la SD en muchas partes del mundo. Si bien el control de la erosión es además importante en la región triguera norte de Grandes Planicies, la adopción de la SD fue también impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia de uso de agua (Brandt, 1992; Lafond et al., 1992; Peterson et al., 2001). El clima semiárido de las Praderas Canadienses es ideal para producir trigos de alto valor proteico, pero las condiciones limitantes de humedad hicieron que los sistemas en SD sean especialmente atractivos y económicos (Zentner et al., 2002). Casi toda la producción de trigo canadiense se genera en las Praderas.

Las Praderas Canadienses tienen cerca de 30 millones de ha de tierras cultivadas, divididas en cinco grandes zonas según clima y suelo (Figura 1). La zona de suelos marrones tiene alrededor del 21% de tierras cultivables, la zona de suelos marrones oscuros un 22% y el resto se ubica en las zonas más húmedas de suelos negros y grises. La precipitación media anual varía desde 300 a 400 mm en los suelos marrones/oscuros y de 425 a 475 mm en los negros y grises.

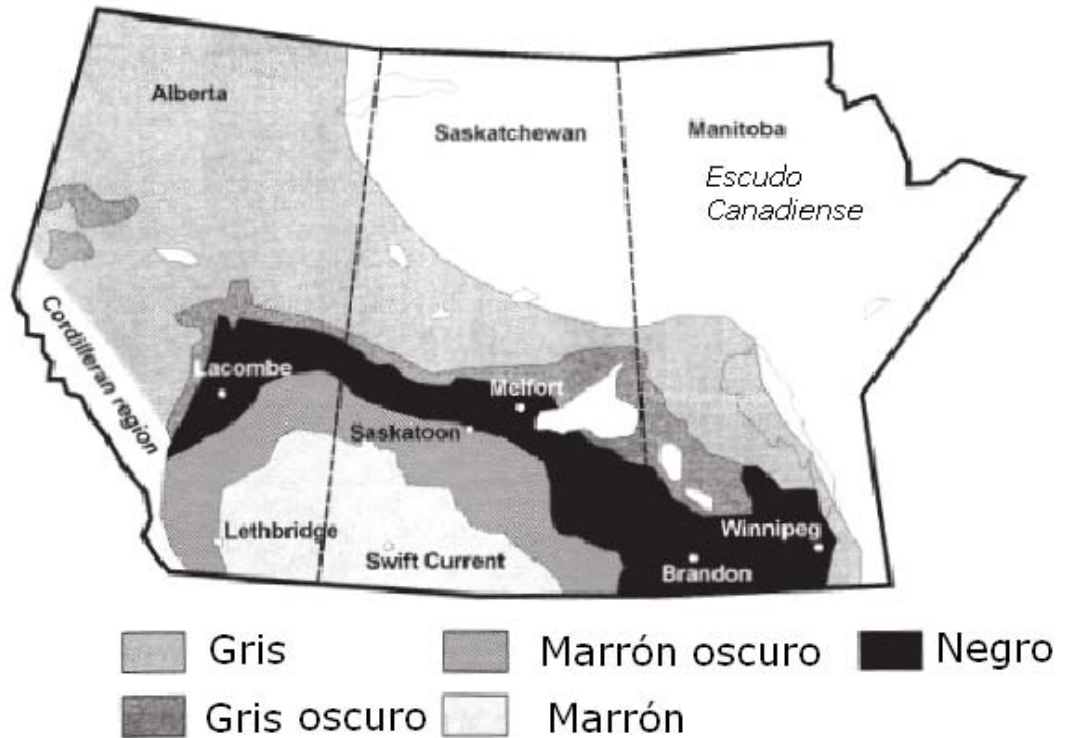


Figura 1. Zonificación de suelos en las Praderas canadienses.

El trigo de primavera es el principal cultivo en todas las zonas. Históricamente, los productores seleccionaban rotaciones que incluían una alta proporción de trigo y barbecho de verano (T-B), pero el barbecho ha estado en franca caída desde la mitad de los años `70 (Campbell et al., 1990; 2002), mientras que el área bajo SD y labranza reducida fue aumentando (Figura 2). La frecuencia de barbecho está en relación directa con la humedad disponible del suelo y varía entre 1 cada 2 años en la zona de suelos marrones a 1 cada 4 años en la zona de suelos negros. Sin embargo, al aumentar la retención de humedad en suelos bajo sistemas de SD, los productores han podido diversificar sus rotaciones e incrementar la intensidad de la producción (Tabla 2). Los productores pueden ahora incorporar cereales (trigo de invierno y primavera, trigos duros, cebada), oleaginosas (canola, lino, mostaza, girasol), legumbres (haba, lentejas, garbanzo) y forrajeras dentro de sus rotaciones. El trigo sigue siendo dominante en la rotación, pero la mejora en la conservación del agua con la SD le dio a los productores mayor flexibilidad en sus sistemas de producción de cultivos, y tanto leguminosas como legumbres son comúnmente parte de la rotación basada en trigo (Millar et al., 2001; Campbell et al., 2002; Millar et al., 2002; Johnston et al., 2002).

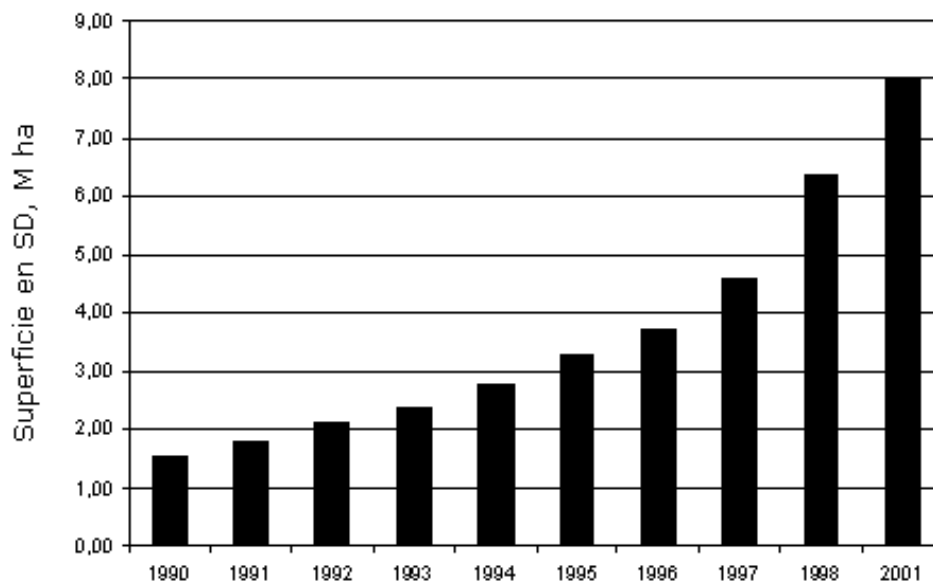


Figura 2. Superficie en siembra directa (SD) en las Praderas Canadienses (B. McClinton, Saskatchewan Soil Conservation Association, comunicación personal).

Tabla 2. Tendencias en la intensidad de cultivos en las Praderas Canadienses (Campbell et al., 2002).

Zona-Suelos	Duración promedio de la rotación*					
	1976	1980	1985	1990	1995	1998
Marrones	1/1.1	1/1.1	1/1.3	1/1.3	1/1.3	1/1.6
Marrones oscuros	1/1.4	1/1.5	1/2.1	1/2.2	1/3	1/4
Negros y Grises	1/2.2	1/2.6	1/4.9	1/4.9	1/6.7	1/10

*Interpretación de la rotación: 1/1.1 un año de barbecho y 1.1 años con cultivo

Cambios en el suelo relacionados con el uso de labranza reducida

Las labranzas aceleran el proceso natural de degradación de los suelos, incrementando la tasa de erosión, salinización y acidificación, y disminuyendo la calidad y cantidad de materia orgánica (MO). La MO cae rápidamente con las labranzas, resultando muchas veces en pérdida de nutrientes para las plantas. Las labranzas también pueden romper la estructura del suelo, reduciendo la capacidad de almacenaje y la tasa de infiltración (Malhi et. al., 2001).

Con la labranza reducida, se acumula mayor cantidad de residuos en la superficie del suelo, minimizando la erosión eólica e hídrica y mejorando la calidad del suelo. Los residuos de los cultivos en superficie incrementan la infiltración del agua en el suelo, reducen las pérdidas por evaporación y las pérdidas de nutrientes por erosión, y producen un descenso en la temperatura superficial del suelo. Las temperaturas más frías reducirán la liberación de nutrientes de la MO del suelo y la difusión de nutrientes a las plantas, y

pueden afectar el crecimiento de las raíces. En ausencia de labranzas frecuentes, se reduce la mineralización y disminuye la liberación de nutrientes para las plantas, siendo muy importante la fertilización para producir altos rendimientos.

Al disminuir las labranzas, los residuos se acumulan en y sobre el suelo, eventualmente incrementando los residuos fácilmente descomponibles y la fracción activa de la MO. Inicialmente, cuando se adopta el sistema de SD, el incremento de carbono (C) por los residuos produce una inmovilización del nitrógeno (N) del suelo, ya que los microorganismos descomponedores deben usarlo para mantener la relación C:N durante el proceso de descomposición. Con el tiempo, el ciclado de MO llega a un nuevo equilibrio, incrementándose la fracción de N orgánico potencialmente mineralizable y resultando en más N de nitratos (N-NO₃⁻) y N de amonio (N-NH₄⁺) disponible para las plantas. Este periodo de transición puede durar varios años, durante el cual la aplicación de nutrientes en banda por debajo de la cobertura de residuos se vuelve muy importante.

La mayor cantidad del N disponible en el suelo está bajo la forma soluble de NO₃, pudiéndose lixiviar y moverse a través del perfil con el agua del suelo. El azufre de sulfatos (S-SO₄²⁻) también es soluble, y puede moverse en el perfil del suelo, aunque bajo condiciones de acidez algo de SO₄ puede absorberse a los coloides del suelo. El fósforo (P) y el potasio (K) tienden a ser inmóviles en el suelo, debido a que reaccionan con minerales de calcio (Ca) y de magnesio (Mg) y otros minerales del suelo, y debido también al tipo de carga del suelo (capacidad de intercambio catiónico, CIC). Sin labranzas y mezclado de suelo, los nutrientes inmóviles se pueden acumular en la superficie (0-5 cm). Es necesario un mejor entendimiento de cómo los nutrientes se mueven y reaccionan con el suelo para mejorar el manejo de la fertilización en sistemas de labranza reducida.

El pH del suelo bajo labranza reducida puede disminuir en la medida que se incrementan los niveles de C del suelo (MO). Los cambios serán proporcionales a los cambios en MO y al pH inicial. Por ejemplo, un 26% de aumento en el C del suelo resultó en un descenso de 0.5 unidades de pH en suelos Grises del Oeste de Canadá luego de 10 años en SD (Arshad et al., 1990). Los cambios en el pH del suelo impactan en la disponibilidad del P y algunos micronutrientes.

La estratificación de nutrientes es un tema central en el manejo de P y K en SD. Estos nutrientes tienden a acumularse en la superficie del suelo a la profundidad de aplicación. Esto se muestra claramente en la Figura 3, en un suelo Negro alcalino de Manitoba. Las muestras de suelos fueron extraídas al cuarto año de estudio, el P se aplicó siempre en la banda (58 kg P₂O₅/ha), y el K siempre al voleo (120 kg K₂O/ha). La falta de remoción durante los cuatro años, provocó una acumulación del P y K en la zona donde habían sido aplicados.

Observaciones similares se han encontrado en un suelo Marrón en Saskatchewan. Selles et al. (1999) encontraron que luego de 12 años existió una acumulación de P disponible en la parte superior (0-1 cm) del suelo, al pasar de labranza convencional con barbecho-trigo a sistemas de trigo continuo en SD. Sin embargo, este no fue el caso para barbecho-trigo bajo SD

o trigo continuo bajo labranza convencional. Este efecto específico del tratamiento se atribuyó a la acumulación superficial de residuos y la falta de descomposición bajo SD. La mayor concentración de P en la superficie no generó una mayor absorción de P por el trigo. Esto probablemente se debió a que se utilizó fertilizante arrancador con P ("starter") y a que la liberación de P desde la materia orgánica fue lenta debido a las bajas temperaturas en primavera.

Cuando las condiciones del suelo son secas, los nutrientes ubicados superficialmente pueden quedar posicionalmente no disponibles para las plantas. Este puede ser un problema común en los suelos de las Praderas donde la precipitación es limitada y los suelos son pobres en P. Sin embargo, puede ser corregido fácilmente utilizando fertilizantes arrancadores ubicados en la línea de siembra.

Aunque el N y el S son móviles en el suelo, las labranzas pueden alterar su distribución en el perfil del suelo. Un estudio hecho en Manitota en un suelo franco arenoso fino, mostró un mayor contenido de $N-NO_3^-$ en SD a la profundidad de 0-7.5 cm, presumiblemente debido a la liberación desde los residuos orgánicos retenidos en la superficie del suelo, y a la retención de N residual por aplicación de fertilizantes bajo condiciones de sequía. Resultados similares se encontraron en un estudio en suelo arcillo-limoso a 0-2.5 cm. El $N-NO_3^-$ también se acumuló en la profundidad 60-120 cm del perfil en ambos sistemas de labranzas y tipos de suelo. Otros investigadores en las Praderas Canadienses no encontraron diferencias entre labranzas en $N-NO_3^-$ o en $S-SO_4$ a 0-60 cm de profundidad (Malhi et al., 1992).

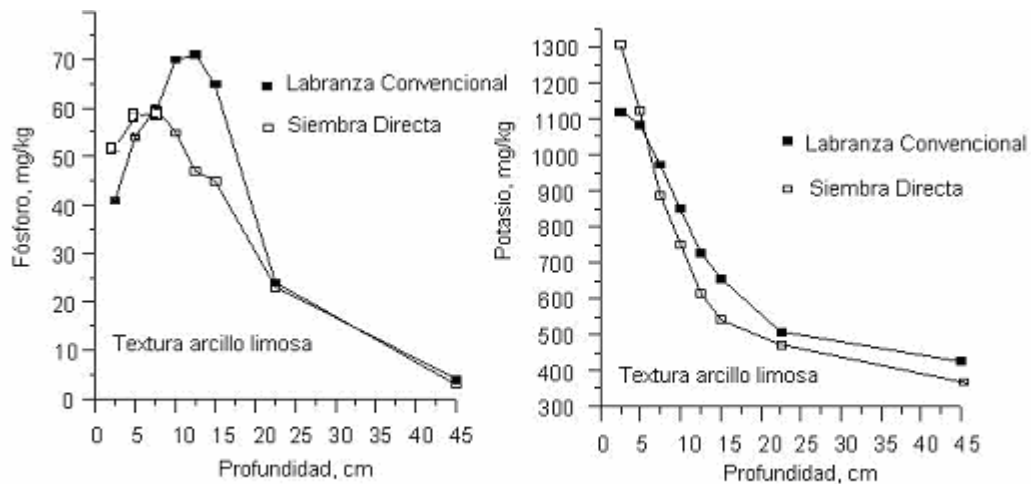


Figura 3. Efecto de la siembra directa y labranza convencional en la distribución del fósforo y el potasio en un suelo franco arcilloso de Manitoba (adaptado de Grant y Bailey, 1994).

Manejo de la fertilización

El manejo de la fertilización bajo SD requiere una especial atención a la ubicación del fertilizante para optimizar su eficiencia de uso por el cultivo (Johnston, 2002). Las características del suelo, clima, tipo de cultivo, y las

prácticas agronómicas, incluyendo el método de aplicación de fertilizante, impactan en la eficiencia de uso de un nutriente.

El N es el nutriente que frecuentemente más limita la producción en el mundo entero, seguido por el P y el K. La aplicación de N al voleo sobre el rastrojo en superficie no es el método más eficiente de aplicación, debido a las pérdidas potenciales de N por inmovilización en los residuos y por volatilización (Malhi y Nyborg, 1992). La aplicación del N en una banda es usualmente la más efectiva ya que minimiza las pérdidas de N por inmovilización, pero la aplicación de todo el fertilizante que requiere el cultivo a la siembra no deja de ser un desafío. En forma similar, la aplicación de P y K en banda ya sea junto o al costado de la semilla, minimiza la fijación por el suelo e incrementa la absorción temprana por el cultivo, especialmente cuando se aplica como arrancador.

En la Figura 4 se ilustra la efectividad del P como arrancador luego de 31 años en el sur de Saskatchewan en una rotación barbecho-trigo-trigo. La aplicación de 7 kg de P/ha, produjo en promedio 342 kg/ha más de grano de trigo sobre barbecho y 194 kg/ha más de grano de trigo luego de trigo. La variabilidad interanual de los rendimientos estuvo estrechamente relacionada a las condiciones climáticas durante la primavera y ocurrió a pesar de que el nivel de P disponible se duplicó durante los 31 años (Figura 5). Las mayores respuestas ocurrieron con suelos fríos y húmedos durante la primavera. El crecimiento de la raíz y el movimiento de P en el suelo y su absorción por las plantas son afectados con bajas temperaturas.

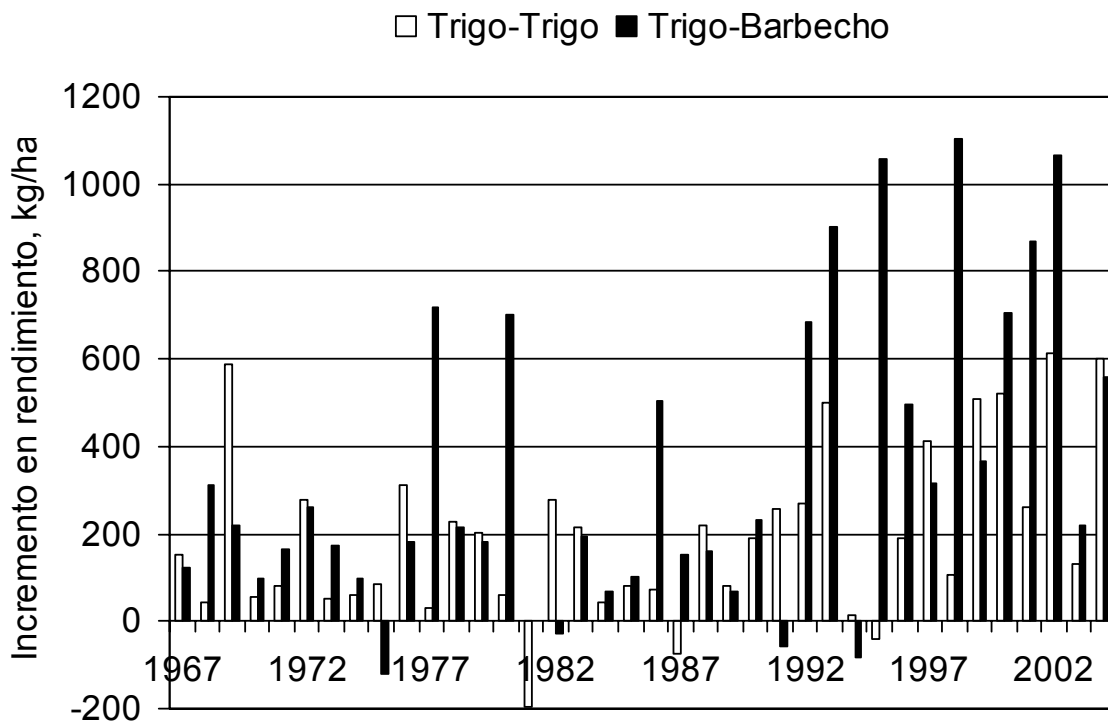


Figura 4. Incremento del rendimiento debido a la aplicación de fósforo (P) como arrancador en Saskatchewan, en una rotación barbecho-trigo-trigo,

1967-2004 (R.P. Zentner, Agriculture and Agri-Food Canada, personal communication).

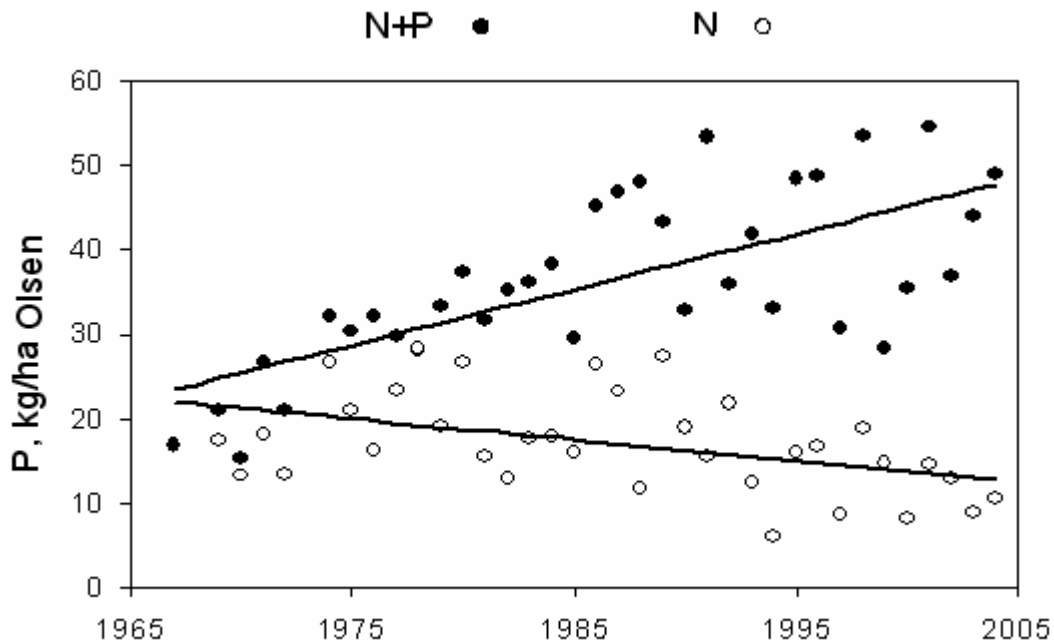


Figura 5. Influencia de la aplicación de fósforo (P) como arrancador en los niveles de P del suelo en una rotación barbecho-trigo-trigo en Saskatchewan, 1967-2004 (R.P. Zentner, Agriculture and Agri-Food Canada, personal communication).

Si bien la aplicación del P en la línea de siembra como arrancador no es perjudicial para el cultivo de trigo, no ocurre lo mismo con dosis altas de N y K. La ubicación de estos nutrientes en contacto directo con la semilla, a menudo reduce la germinación y demora la emergencia, resultando en un pobre stand de plantas y pérdidas de rendimiento. Las recomendaciones generales usadas sugieren que dosis de no más de 45 kg de N/ha como nitrato de amonio, o 22-28 kg de N/ha como urea, pueden ser aplicadas con la semilla en forma segura. Estas recomendaciones son adecuadas para aquellos equipos de siembra que ubican la semilla junto con el fertilizante, pero no para aquellos que producen una aplicación más irregular o dispersa del fertilizante y la semilla (neumáticas o por aire a presión), o para aquellos que ubican, con precisión, el fertilizante fuera del surco de siembra.

Existen muchos factores que inciden en la cantidad segura de fertilizante a aplicar con la semilla. Estos incluyen: espaciamento, utilización de la cama de siembra (UCS), textura, humedad, heterogeneidad del suelo, ubicación del fertilizante, abridor del surco de siembra, fuente de fertilizante y cultivo. La cantidad de fertilizante a aplicar sin problemas junto con la semilla disminuye en la medida que aumenta el distanciamiento entre hileras. Para surcos distanciados (cultivos de escarda), para una dosis dada, el fertilizante está más concentrado y está en mayor contacto con la semilla. Esto es más peligroso con N que con P. Investigaciones realizadas en Saskatchewan y Manitoba han

demostrado que no hubo diferencias en rendimiento de trigo para distanciamientos que variaron entre 10 y 30 cm, y que las mayores concentraciones de P junto con la semilla en surcos más anchos no tuvieron efecto sobre los rendimientos (Lafond et al., 1996).

La UCS es una medida del espacio de suelo utilizado para aplicar el fertilizante (Roberts y Harapiak, 1997), y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% UCS = \text{ancho del surco de siembra} / \text{distanciamiento} \times 100$$

Los suelos de textura mas pesada toleran una mayor cantidad de N con la semilla porque la mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de almacenamiento de agua reducen la toxicidad del amoniaco, que es la principal causa de daño durante la germinación y emergencia. En la Tabla 3 se muestran las recomendaciones para Saskatchewan de la cantidad máxima de N-Urea a aplicar junto con la semilla sin producir daños, asumiendo una humedad de la cama de siembra de buena a excelente. Las dosis para otros fertilizantes con amonio pueden incrementarse en un 25%. El nitrato de amonio es menos perjudicial para la semilla que la urea, tiene un mayor índice salino que la urea pero no genera toxicidad por amoníaco. Con suelos con mayor CIC o buena humedad de siembra es posible tolerar mayores dosis de N. Las recomendaciones para Dakota del Norte sugieren que las dosis máximas de N a aplicar junto con la semilla varían entre 67 a 112 kg/ha con sembradoras de aire a presión (UCS de 60-100%), en suelos pesados.

Tabla 3. Dosis aproximadas de N-Urea (kg/ha) que no producen daño en aplicaciones junto con la semilla para trigo y otros cereales (Henry et al., 1995).

Textura del suelo	Banda # de 2,5 cm			Banda de 5 cm			Banda de 7,5 cm		
	Espaciamiento, cm			Espaciamiento, cm			Espaciamiento, cm		
	15	23	30	15	23	30	15	23	30
	SBU			SBU			SBU		
	17%	11%	8%	33%	22%	17%	50%	33%	25%
Gruesos (franco arenosos)	22	17	17	34	28	22	45	34	28
Medios (franco a franco arcilloso)	34	28	22	45	39	34	56	45	39
Pesados (arcilloso, muy arcillosos)	39	34	34	56	45	39	67	56	45

Se refiere al ancho de la banda de siembra que genera la cuchilla, zapata u otro implemento que se utilice.

Muchos productores del norte de las Grandes Planicies han adoptado el uso de máquinas sembradoras especiales que ubican el fertilizante en una banda separada de la semilla para evitar problemas de germinación y emergencia. Generalmente se usan abridores montados sobre sembradoras por aire a presión, los cuales proveen una banda de fertilizante distanciada a unos 3-4 cm al costado y 4-5 cm por debajo de la línea de la semilla. Evaluaciones a campo de estos abridores indican que todos trabajan muy bien mientras sean ajustados correctamente según el ángulo de la cuchilla o zapata y las condiciones de suelo (Johnston et al, 2001). Las fuentes sólidas (urea) o

gaseosas (amoníaco anhidro) de N son las principales para la región y han sido utilizadas exitosamente bajo SD (Johnston et al., 1997). El uso de amoníaco anhidro es mayor en las zonas húmedas, donde las dosis de N requeridas para optimizar los rendimientos de trigo son mayores.

El azufre (S) es el tercer nutriente deficiente en el norte de las Grandes Planicies, luego del N y el P. No solo es importante en la optimización de los rendimientos sino que es un componente importante de muchos aminoácidos y, por ende, afecta la calidad panadera del trigo. Las deficiencias de S abarcan un 30% de la superficie cultivada en las Praderas Canadienses y el análisis de S es frecuentemente poco confiable para predecir el nivel de S de un campo (Grant et al., 2004).

El análisis de suelo convencional que mide el S-SO₄, la forma disponible para las plantas, es problemático debido a la variabilidad propia del SO₄ en el campo y a la variabilidad de la mineralización del S orgánico, que representa generalmente el 95% del contenido de S total en el suelo. El análisis de S-SO₄ es más confiable para suelos sin respuesta a S, que contienen altas cantidades de S.

El S normalmente se aplica bajo la forma de S elemental o como SO₄. El S elemental debe ser previamente oxidado por los microorganismos antes de ser usado por las plantas. La tasa de ese proceso depende de las características que involucran a la actividad microbiana (temperatura, humedad, aireación y pH). La tasa de oxidación se incrementa con la temperatura del suelo y decrece con contenidos muy altos o muy bajos de humedad. La granulometría del S elemental es también importante, tamaños mas finos de partícula resultan en una mas rápida oxidación. La dispersión de las partículas de S es también un factor importante para aumentar la tasa de oxidación.

La aplicación del S elemental en primavera, cercana o al momento de siembra, no es recomendable para cultivos anuales, ya que las tasas de oxidación son muy lentas para satisfacer la demanda de S del cultivo. Las mezclas de S elemental con bentonita incrementan la dispersión de las partículas de S, incrementando la oxidación y la liberación de SO₄.

Comparado con las oleaginosas, el trigo tiene una baja demanda metabólica de S, sin embargo, los aumentos de rendimiento con fertilizaciones azufradas pueden ser importantes. Doyle y Cowell (1993) revisaron resultados de ensayos a campo conducidos en suelos deficientes de S en las regiones más húmedas de las Praderas Canadienses, e informaron incrementos de rendimiento en un rango del 10 al 90%, en suelos que nunca habían sido fertilizados con S y del 8 al 60%, en suelos con historia de fertilización con S (Tabla 4).

Tabla 4. Respuesta promedio del trigo a la aplicación de S en suelos de Alberta con (continua durante 20 años), y sin historia previa de aplicación de S (Doyle y Cowell, 1993).

Localidad	Control	Fertilizado ¹	Respuesta	No. ensayos
	- - - - kg/ha - - - -		%	
	<i>Sin aplicación previa de S</i>			
Suelos grises bosques ²	1422	1619	14	12

Breton ³		949	1830	93	10
U of A ⁴		2482	2731	10	8
<i>20 años de aplicación de S</i>					
Breton	1	774	1178	52	5
	2	2059	2225	8	5
	3	1690	2737	62	5
	4	2523	3641	44	5
U of A	1	3379	3659	8	4
	2	1999	2023	1	4

¹ Aplicación de 15 kg de S/ha como sulfato de sodio.

² Contenido promedio de S total= 123 mg/kg

³ Contenido promedio de S total= 100 mg/kg

⁴ Contenido promedio de S total= 600 mg/kg

La fertilización azufrada es generalmente más eficiente cuando se aplica con cantidades adecuadas de otros nutrientes. Por ejemplo, la aplicación de 22 kg de S/ha en suelos Grises produjo un incremento del 10% relativo al control en comparación del 30% de incremento cuando se aplicó en conjunto con N y P (Tabla 5). La aplicación sola de N y P produjo un incremento del 7%. Ya sea con S u otros nutrientes, la fertilización balanceada es indispensable para la producción de trigo.

Tabla 5. Efecto de la fertilización con N, P y S en el rendimiento de trigo en Alberta (Doyle y Cowell 1993).

Tratamiento	N	P	S	Rendimiento
	----- kg/ha -----			
1	0	0	0	2310
2	0	0	22	2550
3	18	10	0	2480
4	18	10	22	3020

Los nutrientes deben ser aplicados en cantidades adecuadas y en proporciones balanceadas, de acuerdo a las necesidades del cultivo y la disponibilidad del suelo. En la Tabla 6 se comparan rendimientos de trigo en rotación trigo-barbecho con una rotación de tres años barbecho-trigo-trigo y con trigo continuo en un suelo marrón oscuro en el sur de Alberta, fertilizado con bajas dosis de N y P (Campbell et al., 1990). Los mayores rendimientos de trigo se obtuvieron con trigo sobre barbecho cuando se fertilizó con N y P. Si bien los rendimientos decayeron para trigo sobre trigo, en todos los casos los mayores rendimientos se dieron con fertilización con N y P.

Tabla 6. Efecto de la fertilización con N y P en el rendimiento de trigo luego de barbecho y luego de rastrojo de trigo en un suelo marrón oscuro del sur de Alberta (Campbell et al., 1990).

Dosis de fertilizante		Rendimientos promedio de 13 años (kg/ha)			
----- (kg/ha) -----		Trigo sobre barbecho		Trigo sobre rastrojo	
N	P	B-T [#]	B-T-T	B-T-T	T continuo

0	0	2775	2332	1203	1156
0	20	2802	2641	1176	1284
45	0	2722	2460	1519	1505
45	20	3031	2654	1908	1747

B indica barbecho y T indica trigo. El **T** (negritas) indica el cultivo cuyo rendimiento se reporta.

En el ejemplo de la Tabla 6, no hizo falta K para balancear los requerimientos nutricionales del cultivo, ya que los suelos del sur de Alberta son ricos en este nutriente. En realidad, la mayoría de los suelos del norte de las Grandes Planicies se encuentran bien provistos de K para el cultivo de trigo, y normalmente no es esperable encontrar respuestas a la fertilización con K. Adicionalmente, la mayoría del K absorbido por el trigo es retenida en el rastrojo y en SD, al dejar el rastrojo en el suelo, poco K se exporta en grano, resultando entonces en una menor necesidad de fertilización potásica. Sin embargo, algunos suelos del norte de las Grandes Planicies con contenidos altos de K responden a la aplicación de cloruro de potasio (KCl).

La respuesta del trigo a la aplicación de KCl puede ser parcialmente atribuida a la difusión restringida del K hacia las raíces de las plantas en suelos fríos en la primavera temprana, pero también al cloro (Cl) contenido en el fertilizante potásico. En muchos estudios realizados en la región del norte de las Grandes Planicies se han reportado respuestas a la fertilización con Cl (Fixen, 1993; Lamond et al., 1999; Grant et al., 1991); sin embargo, la magnitud y la frecuencia de las respuestas varían de acuerdo al cultivar y están a menudo relacionadas con la presión de enfermedades.

Conclusiones

El entendimiento del comportamiento de los nutrientes en el suelo y sus implicancias en el manejo de la fertilidad es importante a fin de maximizar la eficiencia del uso de los nutrientes y la producción de trigo en sistemas bajo SD. El muestreo y análisis de suelos es una de las mejores herramientas disponibles para estimar el nivel de nutrientes en el suelo y hacer recomendaciones de fertilización adecuadas. Para ser más efectivo, el muestreo y análisis de suelos debe ser utilizado en forma adecuada, reconociendo la variabilidad natural que existe en los lotes. El muestreo intensivo de suelos y/o el manejo de nutrientes en zonas de suelos, utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (GIS) para mapear y evaluar datos de análisis de suelos, son herramientas útiles que pueden ayudar a los productores en el manejo nutricional de trigo.

Referencias

- Arshad, M.A., Schnitzer, M., Angers, D.A., y Ripmeester, J.A. 1990. Effects of till vs. no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 22:595-599.
- Brandt, S.A. 1992. Zero vs. conventional tillage and their effects on crop yield and soil moisture. *Can. J. Plant Sci.* 72: 679-688.
- Campbell, C.A., Janzen, H.H., y Bowren, K.E. 1990. Crop rotation studies on the Canadian Prairies. Research Branch, Agriculture Canada. Publication 1841/E.

- Campbell, C.A., Zentner, R.P., Gameda, S., Blomert, B. y Wall, D.D. 2002. Production of annual crops on the Canadian prairies: trends during 1976-1998. *Can. J. Soil Sci.* 82:45-57.
- Doyle, P.J. y Cowell, L.E. 1993. Sulphur. Chapter 6, pg. 202-250. *In* Impact of Macronutrients on Crop Responses and Environmental Sustainability on the Canadian Prairies. D.A. Rennie, C.A. Campbell and T.L. Roberts (eds). Published by the Canadian Society of Soil Science, Ottawa, Ontario.
- FAO 2005. Agricultural data FAOSTAT. Statistical database, Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://faostat.fao.org/>
- Fixen, P.E. 1993. Crop responses to chloride. *Adv. Agron.* 50: 107-150.
- Grant, C.A. y Bailey, L.D. 1994. The effect of tillage and KCl addition on pH, conductance, NO₃-N, P, K and Cl distribution in the soil profile. *Can. J. Soil Sci.* 74:307-314.
- Grant, C.A., McLaren, D.L., y Johnston, A.M. 2001. Spring wheat cultivar response to potassium chloride fertilization. *Better Crops* 85(4):20-23.
- Grant, C. A., Johnston, A. M., y Clayton, G. W. 2004. Sulphur fertilizer and tillage management of canola and wheat in western Canada. *Can. J. Plant Sci.* 84: 453-462.
- Henry, L., Harapiak, J., Ukrainetz, H., y Green, B. 1995. Revised guidelines for safe rates of fertilizer applied with the seed. *Farm Facts*. Saskatchewan Agriculture and Food. ISSN 0840-9447 SCR1194.
- Johnston, A.M. 2002. Fertility issues and long-term no-till. *Proceedings of Alberta Reduced Tillage Linkages*
- Johnston, A.M., Lafond, G.P., Harapiak, J.T., y Head, W.K. 1997. No-till spring wheat and canola response to side banded anhydrous ammonia at seeding. *J. Prodn. Agric.* 10: 452-458.
- Johnston, A.M., Lafond, G.P., Hultgreen, G.E., y Hnatowich, G.L. 2001. Spring wheat and canola response to nitrogen placement with no-till side band openers. *Can. J. Plant Sci.* 81: 179-186.
- Johnston, A.M., Tanaka, D.L., Miller, P.R., Brandt, S.A., Nielsen, D.C., Lafond, G.P. y Riveland, N.R. 2002. Oilseed Crops for Semiarid Cropping Systems in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94: 231-240.
- Lafond, G.P., Domitruk, D., Bailey, K.L., y Derksen, D.A. 1996. Effects of row spacing, seeding rate and seed-placed phosphorus on wheat and barley in the Canadian prairies. *Better Crops* 80(4): 20-22.
- Lafond, G.P., Loepky, H., y Derksen, D.A. 1992. The effects of tillage systems and crop rotations on soil water conservation, seedling establishment and crop yield. *Can. J. Plant Sci.* 72: 103-116.
- Lamond, R., Martin, V., Maxwell, T., Bowden, R., y Duncan, S. 1999. Chloride fertilization on winter wheat. *Better Crops* 83(4): 21-23.
- Malhi, S.S. y Nyborg, M. 1992. Placement of urea fertilizer under zero and conventional tillage for barley. *Soil Tillage Res.* 23, 193-197.
- Malhi, S.S., McAndrew, D.W., y Carter, M.R. 1992. Effect of tillage and N fertilization of a Solonchic soil on barley production and some soil properties. *Soil Tillage Res.* 22:95-107.
- Malhi, S.S., Grant, C.A., Johnston, A.M., y Gill, K.S. 2001. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. *Soil and Till. Res.* 60: 101-122.
- Miller, P.R., McConkey, B.G., Clayton, G.W., Brandt, S.A., Staricka, J.A., Johnston, A.M., Lafond, G.P., Schatz, B.G., Baltensperger, D.D., y Neill, K.E. 2002. Pulse Crop Adaptation in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94: 261-272.
- Miller, P.R., McDonald, C.L., Derksen, D.A., y Waddington, J. 2001. The adaptation of seven broadleaf crops to the dry semiarid prairie. *Can. J. Plant Sci.* 81:29-43.

- Padbury, G., Waltman, S., Caprio, J., Coen, G., McGinn, S., Mortensen, D., Nielsen, G. y Sinclair, R. 2002. Agroecosystems and land resources of the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94: 251-261.
- Peterson, G.A., Westfall, D.G., Peairs, F.B., Sherrod, L., Poss, D., Gangloff, W., Larson, K., Thompson, D.L., Ahuja, L.R., Koch, M.D., y Walker, C.B. 2001. Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin, TB01-2. Colorado State Univ. Exp. Stn., Fort Collins.
- Roberts, T.L. y Harapiak, J.T. 1997. Fertilizer management in direct seeding systems. *Better Crops* 81(2):18-20.
- Selles, F., McConkey, B.G., y Campbell, C.A. 1999. Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous- and fallow-wheat cropping systems in the semiarid Canadian prairies. *Soil and Tillage Res.* 51:47-59
- Zentner, R.P., Wall, D.D., Nagy, C.N., Smith, E.G., Young, D.L., Miller, P.R., Campbell, C.A., McConkey, B.G., Brandt, S.A., Lafond, G.P., Johnston, A.M., y Derksen, D.A. 2002. Economics of Crop Diversification and Soil Tillage Opportunities in the Canadian Prairies. *Agron. J.* 94: 216-230.