

ROTACIONES ALTERNATIVAS DE CULTIVOS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE LAS GRANDES LLANURAS DE EE.UU.

Merle F. Vigil, Maysoon Mikha, David C. Nielsen, Joe Benjamin y Francisco Calderon
Estación Experimental de las Grandes Llanuras Centrales, Akron, Colorado, EE.UU
merle.vigil@ars.usda.gov

Ensayos de rotaciones a largo plazo en la región semiárida de las Grandes Llanuras de EE.UU. muestran que la intensificación y diversificación de la rotación mejora los resultados agronómicos y económicos e impacta positivamente en la calidad del suelo.

Introducción

La rotación tradicional de producción de cultivos en la región semiárida de las grandes llanuras centrales (RGLC) de los EE.UU. es trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.)- barbecho de verano (T-B) o un cultivo cada dos años. Este sistema no es sustentable en el largo plazo, conduciendo a la degradación del suelo y proveyendo un retorno mínimo sobre la inversión. Recientemente, mediante la utilización de siembra directa y sistemas de cultivos más intensivos hemos observado varias rotaciones alternativas como superiores a la rotación T-B.

Nuestros objetivos fueron evaluar varias rotaciones alternativas por rendimiento económico, cambios en la calidad del suelo, y retornos económicos. Los retornos económicos a la tierra, capital y trabajo de las siete secuencias de rotaciones alternativas (establecidas en 1991) fueron comparadas y se reportaron los efectos de la intensidad de las rotaciones sobre los cambios en la materia orgánica del suelo y en la estabilidad estructural. Específicamente, se evaluó cuanta más presión se podría ejercer sobre el sistema para eliminar el barbecho dentro de la rotación de cultivos.

Los rendimientos de los cultivos fueron determinados en cada una de las rotaciones, a lo largo de 11 años, comenzando 4 años después del establecimiento de las rotaciones (1994-2004). La información de los rendimientos de los cultivos fue utilizada para desarrollar las reglas básicas, teniendo en cuenta los rendimientos promedio de los cultivos en el largo plazo.

Materiales y Métodos

El experimento fue establecido en el año 1990 en la estación experimental de las Grandes Llanuras Centrales en Akron, Colorado. Descripciones detalladas del experimento se pueden encontrar en Anderson et al. (1999) y en Nielsen et al. (2002). Akron se encuentra a 1420 m sobre el nivel del mar (400 09 'N, 1030 09 O). La temperatura media anual es de 9.2 °C, pero el rango varía entre -40°C y 43°C. Las precipitaciones anuales para esta localidad promedian 420 mm, pero varían entre 240 y 670 mm. La mayor cantidad de la precipitación anual (82%) ocurre du-

rante la primavera y el verano. La precipitación de invierno es menor al 18% de la precipitación total. La demanda evaporativa representa de 6 a 8 veces la cantidad de precipitación anual. Estas condiciones climáticas ayudan a explicar cuan seco y difícil es cultivar en la RGLC. Las primeras dos repeticiones del experimento fueron establecidas en un suelo de Weld, franco limoso (Argiustol), y la última repetición se encuentra en el complejo Norca-Colby (Argiustol fino-limoso, mezclado con un Torriortent ustico). El experimento incluyó 16 rotaciones de cultivos fijas, de las cuales solo siete serán analizados en el presente trabajo. Las siete rotaciones seleccionadas fueron aquellas que a lo largo de los años de análisis han mostrado un rendimiento económico consistente, algunas de las cuales presentan beneficios en el mejoramiento de los suelos. Todas las fases en cada una de las rotaciones aparecen cada año, y todas las secuencias de rotaciones y fases presentaron tres repeticiones. Todos los cultivos fueron implantados bajo siembra directa, excepto por las parcelas de la rotación T-B que también fueron manejadas con labranza convencional (T-B-1c). Las malezas fueron controladas con herbicidas y diferentes prácticas en las parcelas bajo siembra directa y entre cultivos. Esto incluyó aplicaciones previas a la siembra de atrazina para maíz seguidas de aplicaciones al cultivo con 2,4-D y dicamba para brachiaria. Glifosato o paraquat fue utilizado para el control de malezas, antes de la siembra del cultivo o durante los periodos de barbecho. Los cultivos fueron fertilizados utilizando las recomendaciones de las universidades regionales basadas en los análisis de suelos. Los rendimientos en grano y biomasa fueron determinados en cada una de las parcelas experimentales. Para evaluar los efectos de la secuencia de cultivos sobre los rendimientos y resultados económicos, se considero correcto completar un ciclo de cuatro años de rotaciones antes de realizar cualquier comparación entre tratamientos. En este trabajo se evaluó la información recolectada desde 1994 hasta 2004. Todas las comparaciones entre rendimientos de rotaciones son comparadas con la rotación T-B-sd (siembra directa). Las comparaciones de rendimientos fueron realizadas entre las rotaciones: trigo-maíz-mijo-barbecho (T-Ma-Mi-B), trigo-maíz-barbecho (T-Ma-B), trigo-mijo-barbecho (T-Mi-B), trigo-maíz-girasol (*Helianthus annuus*

L.)- barbecho (T-Ma-G-B), trigo-girasol-barbecho (T-G-B), trigo-maíz-mijo (T-Ma-Mi), trigo-mijo (T-Mi), T-B-sd y T-B-lc. Para el análisis económico, fueron evaluadas las siguientes secuencias de cultivos, trigo-maíz-mijo-barbecho (T-Ma-Mi-B), trigo-maíz-barbecho (T-Ma-B), trigo-mijo-barbecho (T-Mi-B), trigo-maíz-mijo (T-Ma-Mi), trigo-mijo (T-Mi), T-B-sd y T-B-lc. Los costos de producción fueron tenidos en cuenta utilizando los precios promedio de commodities de 5 años y 10 años para calcular los retornos netos para los rendimientos promedio en el largo plazo. Todos los cálculos fueron basados en superficies de establecimientos de 65 ha. Se realizaron muestreos periódicos de suelo (0-10 cm) para monitorear los cambios en los parámetros de calidad de suelo, esto incluyó materia orgánica del suelo (MOS), materia orgánica particulada (MOP) y estabilidad de los agregados.

Resultados y Discusión

Los rendimientos del cultivo de trigo fueron significativamente afectados por la secuencia de cultivos en la rotación (Tabla 1). Los cultivos de maíz y mijo (en general) no fueron afectados por la rotación (Tabla 2). Debido a que el cultivo de trigo de invierno es muy dependiente de la cantidad de agua almacenada que se acumula durante los 14 meses del periodo barbecho de verano, se pudo observar una mejora en los rendimientos del cultivo de trigo en rotaciones que presentaron un barbecho de verano. Los cultivos de verano, maíz y mijo presentan un periodo corto de barbecho de invierno (9-10 meses) antes de su implantación. También, los rendimientos de los cultivos de maíz y mijo son más dependientes de las precipitaciones recibidas durante los meses de verano. Estos cultivos son particularmente sensitivos a las precipitaciones recibidas durante el periodo crítico de floración en los meses de Julio y Agosto. Estas diferencias en como el cultivo de trigo de invierno y los cultivos de verano son impactados por el barbecho de verano versus el barbecho de invierno podrían parcialmente explicar la importancia de la rotación sobre el trigo comparado con el maíz y el mijo.

Los mayores rendimientos de trigo fueron determinados en la rotación T-Ma-B y T-Ma-Mi-B. En 1994, hasta 1998 (los primeros 5 de los 11 años presentados), y en 2002 y 2003 las rotaciones T-Ma-Mi-B y T-Ma-B tuvieron un efecto positivo sobre los rendimientos de trigo (relativo a T-B-sd). En 1999, 2000 y 2001 esas mismas rotaciones produjeron una disminución del rendimiento de trigo (Tabla 1). El punto clave es que en la secuencia T-Ma-B y T-Ma-Mi-B, el trigo viene después del barbecho y, por lo tanto, el contenido de humedad del suelo debería ser similar al de la rotación T-B-sd.

Se realizaron evaluaciones de las precipitaciones recibidas durante el periodo de barbecho y la estación

de crecimiento de los cultivos, y no se encontró una relación razonable, o consistente, entre el incremento del rendimiento de trigo en T-Ma-B/T-Ma-Mi-B que pudiere ser explicado por el momento y la cantidad de precipitaciones recibidas. Parece ser posible que las secuencias T-Ma-B/T-Ma-Mi-B pueden almacenar una mayor cantidad de agua, respecto a las otras rotaciones con barbecho, pero porque el efecto ocurre en los primeros 5 años y por un total de 7 de los 11 años, y no en los otros años es un fenómeno poco claro. Un mayor número de análisis de la cantidad de agua almacenada en el momento pre-siembra podrían ayudar a explicar el efecto.

En algunos casos, estas rotaciones parecen incrementar significativamente los rendimientos del cultivo de trigo por encima de los determinados en la secuencia T-B-sd, este efecto ocurre en el 64% de los casos. Otras rotaciones (T-S-B, T-Ma-S-B, T-Mi, T-Ma-Mi) siempre reducen los rendimientos del trigo. En estas 4 rotaciones, el efecto fue observado en investigaciones previas como resultado de una menor agua almacenada en el perfil. El cultivo de girasol es eficiente en extraer agua del suelo a niveles que son menores respecto a otros cultivos, y el cultivo continuo no permite que se produzca la recarga del perfil de suelo.

Para las secuencias T-Ma-B y T-Ma-Mi-B se sospecha que la ventaja de los rendimientos del cultivo de trigo es una suerte de "efecto de la rotación". Quizás, no contar con el cultivo de trigo durante 2 o 3 años (un largo plazo de tiempo sin malezas, insectos y enfermedades del trigo) ayuda al cultivo de trigo para presentar buenos rendimientos en las rotaciones T-Ma-B y T-Ma-Mi-B. Existe evidencia que el cultivo de maíz sirve como un mejor hospedante para la infección de las micorrizas, respecto a otros cultivos que se producen en la misma rotación. Uno podría especular que el cultivo de maíz podría incrementar los niveles de inoculo de micorrizas en el suelo. El incremento del inoculo podría beneficiar el subsecuente cultivo de trigo vía una infección micorrítica más completa. A este punto, no se conoce realmente cual es la causa de una mejora en los rendimientos de trigo en las rotaciones que presentan cultivo de maíz.

Los rendimientos promedio desde 1994 a 2004 fueron utilizados para desarrollar las siguientes "Reglas básicas" en cuanto a los rendimientos de los cultivos:

- Mijo después de Maíz (sin o con barbecho en la rotación) promedio de 1910 kg ha⁻¹.
- Mijo después de Trigo (sin o con barbecho en la rotación) promedio de 2190 kg ha⁻¹.
- Maíz después de Trigo con barbecho en la rotación, promedio de 2950 kg ha⁻¹.
- Maíz en rotación continua, promedio de 2570 kg ha⁻¹.
- Trigo después de barbecho con maíz en la rotación, promedio de 3030 kg ha⁻¹.

- Trigo después de barbecho con mijo, promedio de 2760 kg ha⁻¹.
- Trigo en rotación continua después de mijo, promedio de 1550 kg ha⁻¹.

A partir de estas reglas, se generaron retornos económicos de las informaciones de las rotaciones. Las rotaciones que produjeron el mayor retorno económico a la tierra, el capital y el trabajo fueron T-Mi, T-Mi-B y T-Ma-Mi-B (Tabla 2). Las rotaciones menos favorables fueron T-B-lc, T-B-sd, T-Ma-B y T-Ma-Mi.

Es interesante observar que las rotaciones con cultivo continuo terminaron en ambas categorías, resultado económico favorable y no favorable.

Utilizando la "regla básica" listada más arriba, se desarrolló una rotación teórica de trigo-mijo-maíz-mijo-barbecho (T-Mi-Ma-Mi-B, 4 cultivos en 5 años). Utilizando esta rotación teórica se calculó un retorno neto de u\$s 6670, basado en los precios promedio de los 10 últimos años para superficies agrícolas de 65 has. Los retornos netos fueron de u\$s 10297, basados en los precios promedios de los últimos 5

Tabla 1. Porcentaje de incremento/disminución de los rendimientos de trigo influenciados por la secuencias de rotaciones de cultivos agrícolas (1994-2001), en 9 rotaciones en el USDA-ARS- RGLC, Akron, Colorado relativo a la rotación trigo-barbecho en siembra directa (T-B-sd).

Rotación	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	11 años promedio
T-Ma-Mi-B	+8	+18	+11	+3	+40	-3	-11	-6	+9	+8	-25	+5
T-Ma-B	-6	+19	+3	+13	+24	-3	+2	-7	-3	+8	-15	+4
T-Mi-B	-8	+1	+7	-2	-2	-9	-7	-11	-8	+11	-5	-3
T-Ma-S-B	-6	+28	+2	-15	-37	-12	-54	-28	-4	-6	-25	-21
T-S-B	-21	-6	-37	-23	-40	-45	-29	-32	-27	-5	+18	-22
T-Ma-Mi	-22	-18	-66	-40	-56	-64	-47	-45	-60	-1	-97	-47
T-Mi	-51	-34	-66	-512	-46	-68	-49	-37	-71	-1	-85	-51
T-B-sd	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
T-B-lc	-13	-17	-26	-38	-4	-25	-28	-11	-19	-12	-60	-23
P>F	0.008	0.004	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0001



Próximamente disponible

Manual del Cultivo de Soja

Autores:

Héctor Baigorri, Marcelo Carmona, Ignacio A. Ciampitti, Daniel Igarzabal, Fernando O. Garcia, Juan C. Papa y colaboradores

Editores:

Fernando O. Garcia, Ignacio A. Ciampitti, y Héctor Baigorri

Capítulos:

- Como crece y se desarrolla el cultivo
- Manejo del cultivo
- La Nutrición del cultivo
- Identificación y manejo de las malezas
- Identificación y manejo de las enfermedades
- Reconocimiento y manejo práctico de plagas

Para mayor información:

www.ipni.net/lasc



años para maíz, trigo y mijo. Estos valores de retorno económico se encuentran dentro de los u\$s 60 de retorno calculados para la rotación T-Mi. La gran ventaja de la rotación teórica es la gran diversidad comparado con esta última rotación (T-Mi). El riesgo se puede distribuir sobre más cultivos, respecto solo al cultivo de trigo o mijo.

Se determinaron mejoras en el carbono orgánico del suelo, y en la estabilidad estructural en la superficie, primeros 10 cm del suelo. Las mejores rotaciones para mejorar o mantener la calidad del suelo fueron T-Ma-Mi>T-Ma-Mi-B>T-Ma-B>T-B-sd>T-B-lc. La mayor producción de biomasa con la mayor intensidad de cultivo combinada con la siembra directa podría ser la explicación a las mejoras en los parámetros de calidad del suelo. Incrementos estadísticamente significativos en la estabilidad de los agregados, y en la materia orgánica del suelo (MOS) y materia orgánica particulada (MOP) han sido determinados con incrementos en la intensidad de cultivos en las parcelas experimentales. También, se documentaron incrementos estadísticos significativos en la disponibilidad de fósforo (P), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe) con incrementos en la intensidad de cultivos. Estos incrementos en la disponibilidad de nutrientes están asociados a reducciones en el pH del suelo, que son resultado de las aplicaciones continuas de fertilizante amoniacal en las parcelas manejadas bajo siembra directa.

Conclusiones

El incremento en la intensidad de rotación desde un cultivo en dos años a 2 cultivos en 3 años o 3 cultivos en 4 años mejora los retornos económicos para los productores de la RGLC. No todas las rotaciones que son las mejores para el suelo fueron las mejores en resultados económicos para los productores. El cultivo de trigo responde fuertemente a la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo durante los periodos de barbecho de verano. Los mayores rendimientos de trigo se presentaron en las rotaciones con barbecho de verano. Sin embargo, un periodo de barbecho largo es costoso para manejar y esto reduce el retorno económico en las rotaciones T-B-sd y T-B-lc. Los mayores retornos económicos fueron encontrados con las secuencias de cultivos de T-Mi, T-Mi-B y T-Ma-Mi-B.

Referencias Bibliográficas

- Anderson R.L. Bowman R.A., Nielsen D.C., Vigil M.F., Aiken R.M. y J.G. Benjamin. 1999. Alternative crop rotations for the Central Great Plains J. Prod. Agric. 12:95-99.
- Nielsen D.C., Vigil M.F., Anderson R.L., Bowman R.A. y J.G. Benjamin. 2002. Cropping system influence on planting water content and yield of winter wheat. Agron. J. 94:962-967.

Tabla 2. Rendimientos promedio de 10 años (1994-2004) y retornos netos para maíz, mijo y trigo en siete rotaciones alternativas de cultivos en Akron, Colorado. Los precios de los commodities utilizados para realizar los cálculos son promedio de los últimos 5 años (2003-2008) de: Abril maíz a u\$s 86.86/ton; Enero trigo a u\$s 150.24/ton y Noviembre mijo a u\$s 122.58/ton. Los valores en paréntesis son retornos basados en los precios promedios de 10 años de u\$s 101.25 Enero trigo, u\$s 65.78 Abril maíz y u\$s 95.34 Noviembre mijo (1994-2004).

Rotación	Maíz	Mijo	Trigo	Retorno (U\$S) para 65 ha de superficie agrícola
	----- kg/ha -----			u\$S /campo
T-Ma-Mi-B	3012	1905	2960	9513 (6210)
T-Ma-B	2887		3090	8837 (4960)
T-Mi-B		2186	2757	10303 (6650)
T-Ma-Mi	2573	1906	1547	8173 (5133)
T-Mi		2130	1480	10356 (6840)
T-B-sd			2892	8544 (5540)
T-B-lc			2018	4180 (2650)
P>F	0.54	0.35	0.0001***	

*** P>F Diferencias estadísticas significativas. Valores menores a 0.05 son considerados estadísticamente significativos.