

## SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DE LOS RASTROJOS SOBRE EL SUELO EN CERO LABRANZA

V. García de Cortázar G.

Depto. de Ingeniería y Suelos, Fac. de Ciencias Agronómicas

Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago

### RESUMEN

El cultivo bajo cero labranza se caracteriza por dejar una gran cantidad de rastrojos sobre la superficie del suelo, mejorando el balance hídrico y nutricional de los cultivos en la rotación. A la vez, se pueden producir algunos problemas si la acumulación de residuos a través de varios años es excesiva. Este trabajo presenta un análisis de la evolución en el tiempo de rastrojos sobre el terreno, en rotaciones cereal-leguminosa a lo largo de 20 años y del impacto que tiene sobre balance hídrico y de nitrógeno en la rotación. Es un análisis teórico basado en el uso del modelo computacional, CropSyst que permite, entre otras cosas, simular el comportamiento de rotaciones de cultivos con o sin rastrojos sobre el terreno. Las simulaciones se hicieron para condiciones meteorológicas y de suelo de Santiago y Temuco, con cultivos de trigo y lupino, con fertilización nitrogenada para el cereal y sin fertilización para la leguminosa. Las simulaciones indicaron que es poco probable una acumulación de residuos superior a 8 ton ha<sup>-1</sup> estabilizándose a partir del cuarto año (al término del segundo ciclo de rotación). El dejar los rastrojos sobre el suelo produce incrementos en la disponibilidad de agua y nitrógeno para los cultivos siguientes en la rotación. Sin embargo, las magnitudes observadas no producen incrementos importantes en los rendimientos. El efecto benéfico de los residuos en conservar agua por reducción de la evaporación, es contrarrestado en parte, por un incremento en percolación profunda y lixiviación de nitrógeno.

### ABSTRACT

Zero-till agriculture leaves a great amount of crop residues over the soil, with better water and nutritional balance for the following crops in the rotation. Also, problems can be produced if the amount of residues is excessive. This paper presents an analysis of the evolution of aboveground residue accumulation over 20

years on a cereal-legume rotation, and of its impact on water and nitrogen balance of the rotation. Is a theoretical analysis based on the use of a crop modeling software, CropSyst that allows simulation of different crop rotations with and without aboveground residues. Simulations were done for meteorological and soil conditions of Santiago and Temuco. The rotation was wheat-lupin in two consecutive years. Wheat was fertilized with nitrogen and lupin received no fertilizer. Results showed that excessive residue accumulation, over 8 ton ha<sup>-1</sup> is not possible. Values stabilize around the fourth year, at the end of the second rotation cycle. Presence of residues increase water and nitrogen availability for the following crops in the rotation, but yields does not increase significantly. The reduction in soil evaporation increases soil water content but also increase percolation and nitrate leaching.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas se caracterizan por la gran cantidad de procesos que interactúan entre sí para determinar el rendimiento de los cultivos. Una forma de poder analizar la importancia de distintos procesos en la determinación del rendimiento de los cultivos es utilizar simuladores de cultivos. Estos son programas computacionales en los que se simulan los principales procesos que determinan el rendimiento mediante ecuaciones diferenciales (Thornley y Johnson, 2000). Existen numerosos simuladores que han sido desarrollados para estudiar sistemas agrícolas. En este trabajo se utilizó el modelo CropSyst (Stöckle *et al*, 1994) que incluye simulación de crecimiento de cultivos, bajo diferentes manejos (entre ellos cero labranza).

Uno de los principales problemas de los sistemas de cero labranza es el manejo de rastrojos que quedan sobre el suelo después de la cosecha. Si éstos no se eliminan o se manejan de forma de reducir su cantidad, pueden constituir un problema para el cultivo siguiente, ya sea por alelopatía o bien por reducción de la calidad de la siembra por exceso de material sobre el suelo. Por otra parte, la presencia de rastrojos sobre el suelo tiene efectos deseables mejorando el balance hídrico y nutricional del suelo.

En 1999 se inició un estudio conjunto entre la Universidad de Concepción y la Universidad de Chile, con el fin de identificar manejos de rastrojos y rotaciones culturales que permitan aumentar la productividad y sustentabilidad del secano de la precordillera de la VIII región. Una de las actividades de este proyecto fue el uso de modelación como complemento a la actividad de investigación, demostrándose que el modelo CropSyst podía utilizarse para describir la dinámica de los rastrojos sobre el suelo (García de Cortázar *et al*, 2002).

Este trabajo presenta resultados y discusión de simulaciones de 20 años con rotaciones que incluyen trigo y lupino en dos situaciones climáticas contrastantes (Santiago y Temuco) y bajo dos situaciones de manejo de residuos (quema y picado). El objetivo es evaluar, mediante simulación, el impacto que tiene

sobre rendimiento el dejar los rastrojos sobre el terreno en lugar de quemarlos. Se esperaba un mayor rendimiento bajo condiciones de picado por una mejora en el estado hídrico del suelo y por aportes nitrogenados de los residuos. Por otra parte interesaba evaluar la acumulación de residuos a través de los años, lo que podría dificultar las labores de siembra.

#### Datos climáticos

Se utilizaron datos meteorológicos diarios de 10 años obtenidos en Centros Regionales de Investigación (CRI) del INIA de La Platina (R.M.) y en el CRI Carillanca (IX Región). Los datos incluyen temperatura

**Cuadro 1 Datos meteorológicos de 10 años para CRI La Platina que fueron utilizados en las simulaciones. En la primera columna aparece identificado el año original de medición.**

Año	Precipitación anual (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Radiación global (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
1976	246	5,8	21,4	17,6
1980	432	7,2	21,5	15,8
1989	392	6,5	21,7	18,5
1990	224	6,1	21,7	17,8
1993	346	7,1	21,4	15,0
1995	241	7,4	21,7	16,2
1997	757	8,3	21,6	15,7
1998	115	7,7	21,7	16,3
1999	404	7,5	20,9	16,0
2000	556	7,4	21,1	15,9
Promedio	371	7,1	21,5	16,5
mínimo	115	5,8	20,9	15
máximo	757	8,3	21,7	18,5

**Cuadro 2 Datos meteorológicos de 10 años para CRI Carillanca que fueron utilizados en las simulaciones. En la primera columna aparece identificado el año original de medición.**

Año	Precipitación anual (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Radiación global (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
1988	1163	5,2	17,5	12,6
1989	1195	5,3	18	11,7
1990	1264	5,5	17,4	11,0
1992	1775	5,7	16,4	9,6
1993	1569	5,8	17,0	10,6
1994	1226	6,2	17,5	11,1
1995	1371	5,2	17,3	11,2
1996	907	5,4	17,3	9,6
1997	1570	6,3	17,6	9,0
1998	619	5,1	18,3	10,3
Promedio	1266	5,6	17,4	10,7
mínimo	619	5,1	16,4	9,0
máximo	1775	6,3	18,3	12,6

mínima y máxima diaria, radiación global y precipitación. En ambas localidades los datos incluyeron años secos y años húmedos de modo de generar un amplio espectro de situaciones meteorológicas. Los cuadros 1 y 2 muestran los valores medios anuales de los parámetros utilizados en la simulación.

#### Suelos

Para las simulaciones se usaron suelos genéricos basados en información real (Comisión Nacional de Riego, 1981, Beinroth *et al*, 1985 y Oscar Seguel 2002 comunicación personal). En Santiago, se utilizó un suelo franco arenoso de 0,70 m de profundidad (Suelo1). Para las simulaciones en la IX Región se utilizó dos suelos de diferente profundidad, un trumao franco arenoso de 0,70 m de profundidad (Suelo2) y un trumao franco arenoso de 1,4 m de profundidad (Suelo3). Las características de los perfiles que se utilizaron en las simulaciones aparecen en el cuadro 3.

**Cuadro 1 Características de los perfiles de suelo utilizados en las simulaciones**

Suelo	Profundidad (cm)	Textura	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	Capacidad de campo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Punto de marchitez permanente (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	%MO
1	0-70	Franco arenosa	1,46	0,226	0,121	2%
2	0-70	Franco arenosa	0,7	0,490	0,260	8%
3	0-140	Franco arenosa	0,7	0,49	0,26	8%

#### Cultivos

Se hicieron simulaciones de crecimiento de trigo y lupino. Los archivos de características de cada especie se construyeron, en el caso del trigo, a partir de información de del Pozo 1988 y de ensayos de variedades en la Estación Experimental Antumapu de la Universidad de Chile (E. Acevedo, comunicación personal). Para el caso del lupino se utilizó como base las características de crecimiento de lupino blanco (*Lupinus albus* L.) del modelo APSIM (APSRU, 2001) y trabajos de López-Bellido *et al*, 2000. En el cuadro 4 aparecen las principales características de los cultivos utilizados en las simulaciones.

#### Manejo simulado

En las dos localidades se simuló rotaciones de dos años trigo-lupino, con siembra de trigo el 15 de mayo del primer año y de lupino el 1 de agosto del segundo año de la rotación. El trigo fue fertilizado con

200 kg N ha<sup>-1</sup> en forma de úrea aplicado a la siembra para las simulaciones en Santiago y aplicado un tercio a la siembra y 2 tercios a la macolla para el caso de Temuco. El lupino no fue fertilizado.

**Cuadro 2. Características de los cultivos usados en las simulaciones**

Propiedad	Trigo1	Trigo2	Lupino
Localidad	R.M.	IX	R.M. y IX
Temperatura base	4,5°C	4,5 °C	0,0 °C
Σdías-grado Emergencia	85	112	200
Σdías-grado Máximo IAF	643	849	1225
Σdías-grado Inicio floración	686	906	1050
Σdías-grado Inicio llenado de grano	729	938	1550
Σdías-grado Madurez	1188	1274	2500
Coefficiente extinción para radiación global	0,5	0,5	0,45
Eficiencia de conversión de la radiación solar, g·MJ <sup>-1</sup>	3,0	3,0	1,4
kc a floración	1,05	1,05	1,0
Partición hoja-tallo	0,75	0,75	3,0
Área específica de hoja, m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>	19	19	28
Máximo IAF esperado	9,0	9,0	7,0
Índice de cosecha	0,35	0,35	0,4
Constante de tiempo para descomposición de residuos	120 días	120 días	60 días
Contenido de nitrógeno residuo	0,7%	0,7%	1%

En Santiago se hicieron simulaciones para condiciones de secano y de riego. El momento de riego fue definido por el momento en que se consumía el 50% de la humedad aprovechable a una profundidad de 0,6 m. En Temuco se simuló sólo condición de secano.

Para el manejo de residuos se simularon dos condiciones: quema en el mes de marzo de cada año y picado de rastrojo después de la cosecha .

#### **Variables analizadas**

Se analizó la variación en el tiempo de la biomasa de residuos presente sobre el suelo, balance hídrico del suelo, balance de nitrógeno del suelo, acumulación de materia seca de los cultivos y rendimientos.

## Resultados

Los residuos producidos por trigo y lupino fueron diferentes en cantidad y en velocidad de descomposición. La figura 1 muestra la variación en el tiempo de la materia seca de residuos en función de los días desde la cosecha. Se aprecia en la Fig. 1a que trigo a la cosecha deja el doble de residuos por unidad de superficie de suelo que lupino.

Al cabo de 1 año, todavía la cantidad de residuos de trigo es superior a la cantidad inicial de residuos de lupino. Por otra parte, debido a su menor relación C:N los residuos de lupino se descomponen mucho más rápido que los de trigo (Fig. 1b). Al cabo de 1 año queda aproximadamente un 20% de los residuos originales, mientras que en trigo, para el mismo período aún queda un 50%.

La figura 2 muestra la cantidad de residuos presentes al momento de la siembra de cada cultivo bajo dos situaciones de riego en Santiago. Como los residuos no se descomponen totalmente en un año, la cantidad de rastrojos presentes al momento de la siembra del cultivo siguiente es una combinación de residuos de más de una temporada. Bajo condiciones de riego, la cantidad media de residuos para el trigo (años impares) fue de  $7,3 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que para lupino (años pares) fue de  $8,2 \text{ t ha}^{-1}$ . En condiciones de secano, los valores fueron  $3,9$  y  $4,8 \text{ ton ha}^{-1}$  respectivamente. Se aprecia que la cantidad de residuos tiende a estabilizarse a partir del cuarto año en ambas condiciones. Para las simulaciones en Temuco la acumulación de residuo al momento de la siembra fue similar para los dos suelos utilizados:  $5,7 \text{ t ha}^{-1}$  para trigo y  $7,6 \text{ t ha}^{-1}$  para lupino. En promedio de todas las situaciones, la cantidad media de residuos a la siembra es de  $6,3 \text{ t ha}^{-1}$ . Considerando que cada año se produce un aporte de residuos de

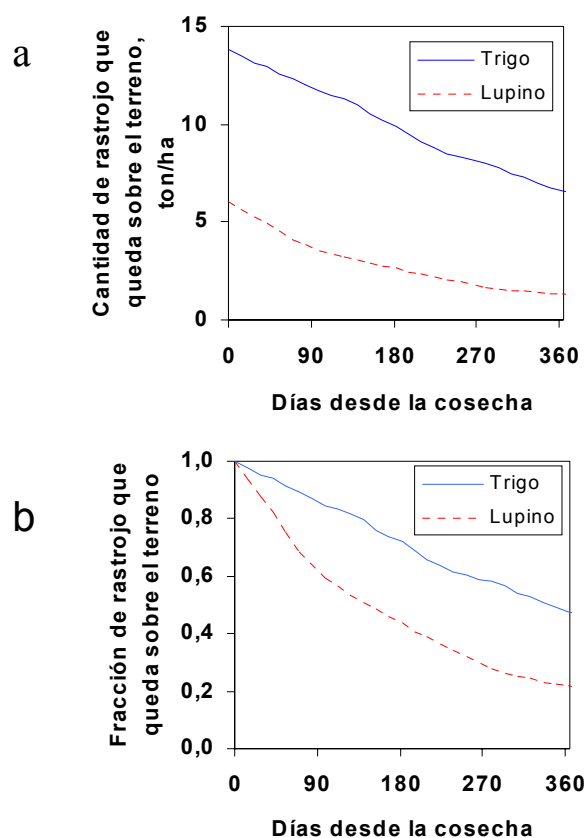


Figura 1. Variación de la cantidad de residuos que quedan sobre el terreno en función de tiempo sometido a procesos de descomposición. Simulación para Temuco. a) Materia seca total en función de días desde la cosecha. b) Valores relativos a la materia seca de residuos inicial en función de días desde la cosecha

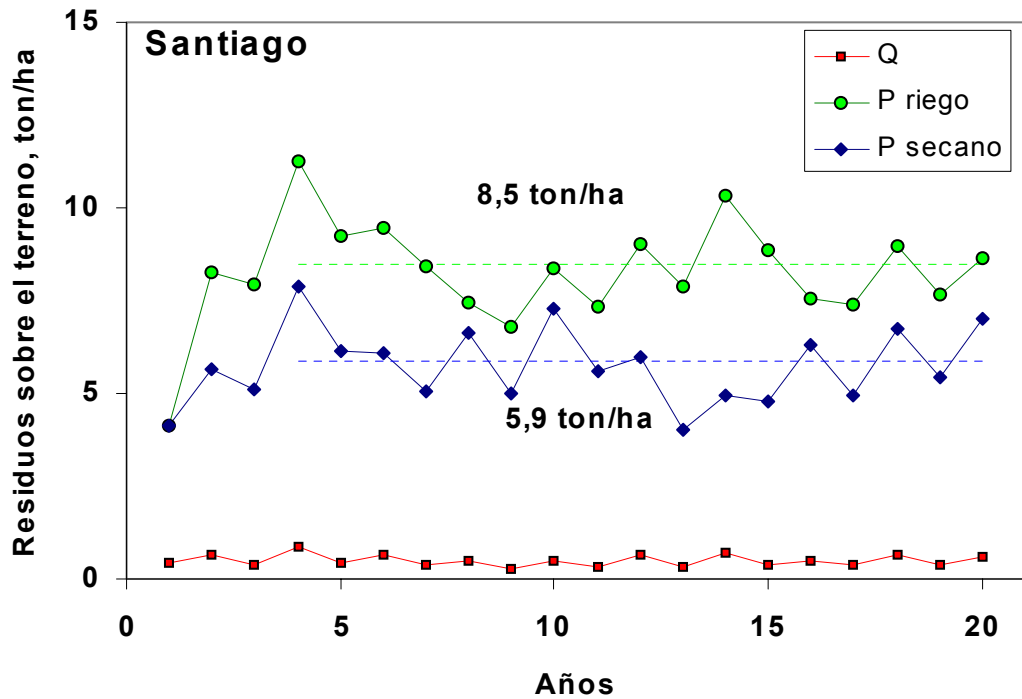


Figura 2 Cantidad de residuos al momento de siembra de cada cultivo en los 20 años de la simulación para Santiago y dos tratamientos de riego. Los años impares corresponden a presiembra trigo y los pares a presiembra lupino. (P= residuos picados, Q=residuos quemados).

aproximadamente  $7 \text{ t ha}^{-1}$ , lo que en 20 años equivale a un aporte total al sistema de  $140 \text{ t ha}^{-1}$ , se puede apreciar que los procesos de descomposición son lo suficientemente intensos para evitar que se produzca una acumulación excesiva de residuos.

La presencia de residuos asegura una conservación del agua del suelo durante el período de barbecho, mejorando las características hídricas de la cama de semilla para el cultivo siguiente en la rotación. Para Santiago, la presencia de residuos incrementó el contenido de agua al momento de la siembra en 54% de  $0,13$  a  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  en los primeros 5 cm de suelo. Para Temuco las diferencias fueron de sólo un 8% de  $0,47$  a  $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Esta menor diferencia se explica por la mayor frecuencia de lluvias en la zona, que limita las diferencias entre condiciones de manejo. Al considerar el total de perfil de suelo la presencia de residuos incrementó en 10% el contenido de agua al momento de la siembra en Santiago y 3% en Temuco.

Con respecto al balance hídrico del suelo en toda la temporada de los cultivos, el efecto de la presencia de rastrojo picado es en primer término reducir la evaporación de agua desde la superficie del suelo. El Cuadro 3 muestra que bajo condiciones de residuo quemado un 53% de la evapotranspiración corresponde a evaporación, mientras que en condiciones de suelo cubierto de residuos este valor baja a 33% promedio para todas las situaciones. Además bajo condiciones de riego, la presencia de residuos permite reducir en 32% la cantidad de agua a aplicar.

**Cuadro 3 Componentes de balance hídrico anual. Promedio de 20 años.**

Lugar	Condición de riego/suelo	Manejo de residuos	Lluvia	Riego	Transpiración	Evaporación	Percolación profunda
Santiago	Riego	Quema	372	275	284	253	104
		Picado	372	187	292	71	187
	Secano	Quema	372	0	115	175	78
		Picado	372	0	152	89	126
Temuco	Trumao delgado	Quema	1279	0	286	318	643
		Picado	1279	0	291	175	778
	Trumao profundo	Quema	1279	0	293	318	627
		Picado	1279	0	294	175	765

La reducción de evaporación produce un mejor estado hídrico del suelo y de las plantas, lo que aumenta en un 32% la transpiración para Santiago en secano. Sin embargo para riego y para Temuco donde la posibilidad de déficit hídrico es menor, no se observaron aumentos importantes en la transpiración. Un efecto negativo de la presencia de residuos con respecto al balance hídrico es que produce aumentos en la percolación profunda. En efecto, el aumento del contenido hídrico del suelo, producto de la menor evaporación, facilita la posibilidad de percolación en cada lluvia. El Cuadro 3 muestra un aumento medio de 66 mm en la percolación profunda en Santiago y de 137 mm en Temuco al comparar las simulaciones con residuos picado con respecto a las simulaciones con residuo quemado.

La presencia de residuos sobre el suelo aumenta la mineralización de nitrógeno, aportando en promedio 36 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para todas las simulaciones (Cuadro 4). La cantidad total de N mineralizada fue mayor en Temuco por el mayor contenido de materia orgánica del suelo (Cuadro 3). La fijación simbiótica (asociada al lupino) aportó en promedio 74 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sumando los aportes de nitrógeno de fertilización, mineralización y fijación simbiótica, la oferta anual de N en Santiago en condición de quema es de 209 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y de 253 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para cobertura con residuos. En el caso de Temuco, los valores correspondientes son 404 y 443 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

**Cuadro 4 Componentes de balance de nitrógeno anual en kg de nitrógeno por hectárea. Promedio de 20 años.**

Lugar	Condición de riego/suelo	Manejo de residuos	Fertilización	Mineralización	Lixiviación	Absorción	Fijación simbiótica
Santiago	Riego	Quema	100	46	8	99	109
		Picado	100	86	19	127	99
	Secano	Quema	100	36	8	93	27
		Picado	100	69	15	117	52
Temuco	Trumao delgado	Quema	100	228	96	210	75
		Picado	100	265	122	214	78
Temuco	Trumao profundo	Quema	100	232	73	227	73
		Picado	100	267	103	226	75

Debido a la mayor percolación profunda en los cultivos con residuo picado, se produce también una mayor lixiviación de nitrógeno, especialmente con suelo delgado (Cuadro 4). En la situación más extrema (Temuco, suelo delgado) las pérdidas representan  $122 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  equivalente a 27% de la oferta.

En términos de absorción de N por los cultivos (incluyendo N fijado), la presencia de residuos se asocia a un aumento de  $19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  con respecto a la situación con quema.

Finalmente, el Cuadro 5 muestra los rendimientos obtenidos en las simulaciones. Existe un efecto positivo del picado de residuos que en promedio es de  $1,5 \text{ qq} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  tanto para trigo como para el lupino.

**Cuadro 5 Rendimientos simulados promedio de 20 años de rotación trigo-lupino en dos localidades y con dos sistemas de manejo de residuos.**

Lugar	Condición de riego	Suelo	Trigo		Lupino	
			Quema	Picado	Quema	Picado
Santiago	Riego		47	49	27	28
	Secano		31	35	4	8
Temuco	Secano	Trumao delgado	62	62	29	30
		Trumao profundo	63	63	30	30

## DISCUSIÓN

A pesar de no disponer de información detallada como para validar las predicciones del modelo, los resultados no aparecen como erróneos. Los valores de rendimiento obtenidos en las simulaciones están cercanos a los valores obtenidos por del Pozo, 1988, López-Bellido *et al*, 2000, e información colectada en los ensayos del proyecto que dio origen a este trabajo.

Un análisis de sensibilidad realizado sobre los parámetros detallados en el Cuadro 2, indicó que el modelo era muy sensible al parámetro 'partición tallo-hoja' y 'área específica de hojas'. Estos dos parámetros controlan la tasa de crecimiento del índice de área foliar, con fuerte impacto en los valores predichos. Los valores asignados para trigo en el archivo genérico de CropSyst eran muy grandes y generaban trigos que no superaban IAF de 4 en las mejores condiciones. Analizando curvas de crecimiento de trigo (García de Cortázar y Acevedo, 1979) se definieron los valores presentados en el Cuadro 2. Esto mejoró la calidad de las predicciones de IAF, aunque con tendencia a generar valores muy altos de IAF para las siembras en Temuco (valores no mostrados). Sin embargo, para un coeficiente de extinción de 0,5 (Cuadro 2) valores superiores a 6,0 no cambian la tasa fotosintética en más de 5%, por lo que esta sobreestimación no tendría un efecto importante.

El efecto más importante de la presencia de residuos sobre el terreno fue de reducir la proporción de agua que es evaporada desde la superficie del suelo (Cuadro 3). Sin embargo, este aspecto beneficioso es contrarrestado en parte por una mayor percolación profunda y lixiviación de nitrógeno (Cuadro 3 y Cuadro 4). La mayor parte de la percolación ocurrió en otoño e invierno cuando el suelo se encuentra cerca de capacidad de campo en cada evento de lluvia lo que produce alta probabilidad de percolación. Los valores de lixiviación de N en promedio equivalen a 0,12 kg de N mm<sup>-1</sup> percolado. Valores medidos en cultivos de maíz con labranza tradicional, altas dosis de fertilizante y altas tasas de riego muestran valores entre 0,16 a 0,51 kg de N mm<sup>-1</sup> (Rao *et al*, 1981, Tanji, *et al*, 1981). Por otra parte Meek *et al*, 1995 en rotaciones cereal-leguminosa con diferentes métodos de labranza determinaron pérdidas de N por lixiviación que oscilaron entre 0,07 kgN mm<sup>-1</sup> para cero labranza a 0,22 kgN mm<sup>-1</sup> para labranza tradicional. Por lo tanto el orden de magnitud de la lixiviación de nitrógeno aparece como razonable.

Las diferencias de rendimiento de trigo entre tratamiento con quema y residuo picado (Cuadro 5), fueron similares a las obtenidas por Pannkuk *et al*, 1998 cuando compararon la producción de trigo bajo cero labranza con similar manejo de residuos en seco del Noroeste de USA. Los mismos autores encontraron para esa situación un buen ajuste entre las predicciones de CropSyst y los rendimientos reales.

Para el caso del lupino, Heenan *et al*, 2000 encontraron que los rendimientos de lupino eran 7% mayores en tratamientos de quema con respecto a dejar los residuos en el terreno. Esto es opuesto a lo obtenido en este trabajo (Cuadro 5), pero se puede explicar porque CropSyst no simula la posibilidad de ataque

por la mancha café, que aumenta en los casos de presencia de residuos sobre el terreno (Heenan *et al*, 2000 y resultados en publicación del proyecto que dio origen a este trabajo).

## CONCLUSIONES

No existe riesgo de acumulación excesiva de rastrojos con los manejos simulados en este trabajo.

El dejar los rastrojos sobre el suelo produce incrementos en la disponibilidad de agua y nitrógeno para los cultivos siguientes en la rotación. Sin embargo, las magnitudes observadas no producen aumentos importantes en los rendimientos.

El efecto beneficioso de los residuos en conservar agua por reducción de la evaporación, es contrarrestado en parte, por el aumento en percolación profunda y lixiviación de nitrógeno que se produce.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece muy especialmente la contribución de los investigadores Dr. Edmundo Acevedo y Sra. Paola Silva.

## LITERATURA CITADA

- APSRU 2001. The APSIM Lupin Model. [http://apsim-help.tag.csiro.au/APSIM\\_docs/modules/lupin\\_pseudo.html](http://apsim-help.tag.csiro.au/APSIM_docs/modules/lupin_pseudo.html). (26 de marzo 2001).
- Beinroth, F.H., W. Luzio, F. Maldonado, H. Swaran. 1985. Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part II: Tourguide for Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.
- Comisión Nacional de Riego. 1981. Estudio Agrológico del Proyecto Maipo. Agrolog Chile Ltda., Santiago. 4v. 802p.
- del Pozo, A. 1988. El rol de la temperatura y radiación solar en el crecimiento y la producción del trigo primaveral, con diferentes épocas de siembra. Agricultura Técnica (Chile) 48:242-251
- García de Cortazar, V., Acevedo, E. 1979. Aspectos de fisiología de cultivos en trigo. Boletín Técnico Facultad de Agronomía, Universidad de Chile 44:27-34.

- García de Cortázar, V., P. Silva, E. Acevedo. 2002. Evaluación de modelo predictivo sobre el efecto de la temperatura y humedad en la descomposición de rastrojo de trigo. Agricultura Técnica (Chile). En prensa.
- Heenan, D.P., A.C. Taylor, K.Y. Chan, W.J. McGhie, D. Collins, W.J. Lill. 2000. The impact of long-term rotation, tillage and stubble management on lupin (*Lupinus angustifolius*) productivity. Field Crops Research 67:11-23.
- López-Bellido, L., M. Fuentes, and J. E. Castillo. 2000. Growth and yield of white lupin under mediterranean conditions: Effect of plant density. Agronomy Journal 92: 200-205.
- Meek, B.D., D.L. Carter, D.T. Westermann, J.L. Wright, R.E. Peckenpaugh, 1995. Nitrate leaching under furrow irrigation as affected by crop sequence and tillage. Soil Science Society of America Journal 59:204-210
- Pannkuk, C.D, C.O. Stöckle, R.I. Papendick. 1998. Evaluating Cropsyst Simulations of wheat management in a wheat-fallow region of the US Pacific Northwest. Agricultural Systems 57:121-134.
- Rao, P.S.C., J.M. Davidson, R.E. Jessup. 1981. Simulation of nitrogen behaviour in the root zone of cropped land areas receiving organic wastes. In 'Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems'. M.J. Frissel, J.A. van Veen (eds). PUDOC, Wageningen. p. 81-95.
- Stöckle, C. O., S. Martin and G. S. Campbell. 1994. CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. Agricultural Systems 46:335-359
- Tanji, K.K., M. Mehran, S.K. Gupta. 1981. Water and nitrogen fluxes in the root zone of irrigated maize. In. 'Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems'. M.J. Frissel, J.A. van Veen (eds). PUDOC, Wageningen. p. 51-66
- Thornley, J.M. y I.R. Johnson. 2000. Plant and crop modelling. A mathematical approach to plant and crop physiology. The Blackburn Press, Caldwell, New Jersey, USA. 669p.