

EVALUACIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO SOBRE EL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LA DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJO DE TRIGO¹

Evaluation of a predictive model of the effect of temperature and humidity on wheat straw decomposition¹

Víctor García de Cortázar G.^{2*}, Paola Silva C.², Edmundo Acevedo H.²

ABSTRACT

The objectives of this work were to evaluate wheat (*Triticum aestivum* L.) straw decomposition rates under different temperature and humidity levels in two locations, and to compare the actual measurements with predictions made with the crop growth simulator CropSyst. The decomposition rate was evaluated for three quantities of wheat straw (3; 6; and 9 t ha⁻¹) left on the soil surface and six temperature treatments (defined by the month at which the straw was placed on the field) in two field experiments carried out in Santiago (Metropolitan Region) and El Carmen (VIII Region), Chile. The experimental design was randomized complete blocks in a factorial arrangement with four replicates. In Santiago a third factor was added, irrigation water, with four levels defined by water depth applied via sprinkler. The decomposition rate was measured by the bag method. The same experiments were simulated with CropSyst and the results were compared with the experimental values. Temperature had a significant effect on decomposition rate with increases of more than 200% between extreme temperatures. The water treatments did not produce clear differences, even though there was a tendency to greater decomposition with higher water applications. The comparison of the experimental results with the simulations made with CropSyst, showed over- and under-estimations on the part of the model depending on the date. The differences between the model and field data varied between 0 and 37% with an average of 10%. However, r² values were over 0.92 and there were no significant differences with respect to an ideal slope of 1.

Key words: temperature, humidity, modeling, CropSyst, wheat straw.

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la descomposición de rastrojos de trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad en dos localidades, y comparar las mediciones efectuadas con las predicciones realizadas con el modelo de simulación de crecimiento de cultivos CropSyst. Se evaluó la tasa de descomposición de rastrojos de trigo dejados sobre la superficie del suelo, bajo tres dosis de paja (3; 6; y 9 t ha⁻¹) y seis tratamientos de temperatura (definidos por el mes en que se colocaron los rastrojos en terreno) en dos experimentos de campo realizados en Santiago (Región Metropolitana) y El Carmen (VIII Región), Chile. El diseño fue de bloques completamente al azar con estructura factorial y cuatro repeticiones. En Santiago se agregó un tercer factor, nivel hídrico, con cuatro niveles definidos por alturas de agua aplicadas mediante aspersión. La tasa de descomposición se estimó mediante el método de la bolsa. Los mismos tratamientos se simularon en el modelo CropSyst y se compararon sus resultados con las mediciones experimentales. La temperatura tuvo un efecto significativo en la tasa de descomposición con incrementos de más del 200% entre los extremos. Los tratamientos hídricos no produjeron diferencias tan claras, aunque hubo tendencia a mayor descomposición con tratamientos hídricos altos. La comparación de los resultados experimentales con las simulaciones hechas con CropSyst, mostró sobreestimaciones y subestimaciones por parte del modelo dependiendo de la fecha. Las diferencias entre modelo y mediciones oscilaron entre 0 y 37% con promedio de 10%. Sin embargo,

¹ Fecha de recepción: 1 de julio de 2002 (reenviado)

² Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Casilla 1004, Santiago, Chile.
e-mail: vgarcia@uchile.cl *: Autor para correspondencia

los valores de r^2 fueron superiores a 0,92 y no hubo diferencias significativas con respecto a una pendiente ideal de 1.

Palabras clave: temperatura, humedad, modelación, CropSyst, paja de trigo.

INTRODUCCION

Una consecuencia de la agricultura moderna es la producción de una gran cantidad de biomasa. Los índices de cosecha de las variedades actuales no superan el 50% (Evans 1993), por lo que la cantidad de residuos que queda en el campo es igual o mayor a la biomasa cosechada. En el cultivo de cereales esto significa dejar en el terreno varias toneladas de paja. En agricultura de cero labranza la presencia de rastrojos sobre el suelo puede dificultar el establecimiento y desarrollo del cultivo siguiente en la rotación, por lo cual, en Chile, la quema de rastrojos antes del próximo cultivo es un manejo habitual. Problemas de contaminación ambiental, pérdida de nutrientes, riesgo de incendio y riesgo de erosión por la presencia de suelo desnudo hacen, sin embargo, poco aconsejable esta práctica. Además, una cubierta orgánica facilita la infiltración de agua en el suelo, permite conservar mejor el agua de lluvia que infiltra, asegurando un mejor estado hídrico para los cultivos, es una fuente de liberación de nutrientes y disminuye la erosión hídrica y eólica. Por lo tanto, es aconsejable dejar el rastrojo sobre el suelo y evaluar alternativas de manejo de la paja distintas a la quema. Sin embargo, antes de plantear diferentes prácticas de manejo, es necesario conocer la dinámica de la descomposición de los rastrojos, y disponer de herramientas de predicción de la velocidad de descomposición en diferentes ambientes y manejos. Los modelos de simulación en computador constituyen una herramienta adecuada para estos fines siempre que hayan sido validados bajo las condiciones ambientales de la zona de interés.

El modelo CropSyst (Stöckle *et al.*, 1994) permite simular rotaciones de cultivos y evaluar rendimientos, uso de agua y nitrógeno, riesgo de erosión y otros procesos. Este modelo tiene un submodelo de descomposición de rastrojos, sobre el suelo o enterrados, que está basado en los trabajos de Bristow *et al.* (1986) y Stroo *et al.* (1989); este submodelo está representado esquemáticamente en la **Figura 1**.

La materia seca de los rastrojos sobre el suelo se incrementa por aportes de los cultivos en la rotación, y es reducida por procesos de descomposición y/o extracción (quemadas, pastoreo). En el trabajo la extracción fue considerada cero. La tasa de descomposición depende de la relación carbono/nitrógeno del material (que en el modelo se representa por una constante de tiempo, de Wit y Goudriaan, (1978)), de la temperatura y contenido de humedad (**Figura 1**). La constante de tiempo representa el tiempo necesario para que la materia seca se reduzca a un 37% del valor original bajo condiciones óptimas (30°C y máximo contenido de agua en el rastrojo). Cuando las condiciones de temperatura y/o humedad no son las óptimas, se debe corregir la tasa de descomposición. Para esto se calcula un factor de corrección por temperatura, $f(T)$, y otro de corrección por contenido de agua del rastrojo, $f(W)$. Ambos factores tienen un rango entre 0 (no hay descomposición) y 1 (máxima tasa de descomposición). El método de cálculo de ambos factores aparece en el Anexo 1. La temperatura del rastrojo se supone igual a la temperatura media del aire medida en abrigo meteorológico, y la humedad del rastrojo se determina mediante el balance hídrico de la cubierta de residuos (Bristow *et al.*, 1986). Cuando existe limitación simultánea por agua y temperatura, esto es cuando tanto $f(W)$ y $f(T)$ son menores a 1, se utiliza el valor más bajo de ambos índices (Stroo *et al.*, 1989).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la descomposición de rastrojos de trigo picados y dejados sobre el terreno bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad, en dos localidades, Región Metropolitana y VIII Región de Chile, y comparar con las predicciones realizadas por el modelo de simulación de crecimiento de cultivos CropSyst (Stöckle *et al.*, 1994).

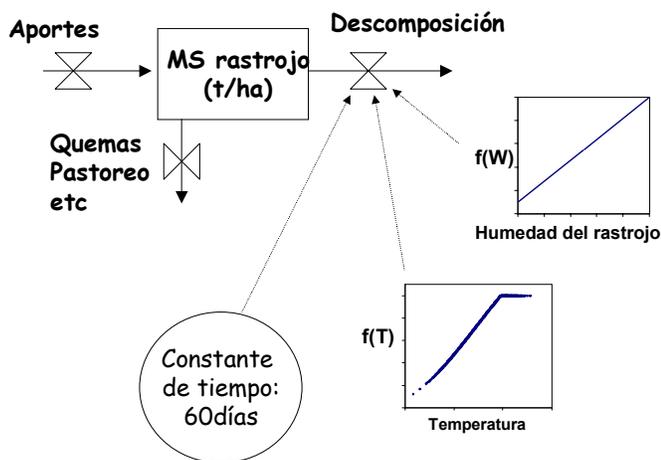
MATERIALES Y MÉTODOS

Experimentos de campo

Durante la temporada 2000/01 se realizaron dos experimentos de campo: uno ubicado en la Estación Experimental Antumapu, Universidad de Chile, Santiago, Región Metropolitana (33°33' lat. Sur; 70°37' long. Oeste) y otro en el Fundo La Esperanza, El Carmen, VIII Región (36°58' lat. Sur; 71°56' long. Oeste).

Figura 1. Esquema del submodelo descomposición de rastrojos dentro del modelo CropSyst. La tasa de descomposición es función de temperatura ($f(T)$), humedad ($f(W)$) y de la relación C/N de los residuos expresada a través de una constante de tiempo.

Figure 1. Flow diagram of the submodel residue decomposition in the CropSyst model. The decomposition rate is a function of temperature ($f(T)$), water content ($f(W)$) and the C/N relation of the residues expressed as a time constant.



Estación Experimental Antumapu

Sobre la superficie del suelo se aplicaron tres tratamientos de cantidad de rastrojos de trigo (*Triticum aestivum* L.), equivalentes a 3; 6; y 9 t ha^{-1} , en parcelas de 12,5 x 2 m, a los que se impusieron cuatro tratamientos hídricos determinados por un gradiente de precipitaciones generado mediante aspersion, y seis tratamientos de temperatura determinados por la fecha en que se ubicó el rastrojo en el campo (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre). El rastrojo se picó y se distribuyó uniformemente sobre la superficie de las parcelas sin incorporación al suelo.

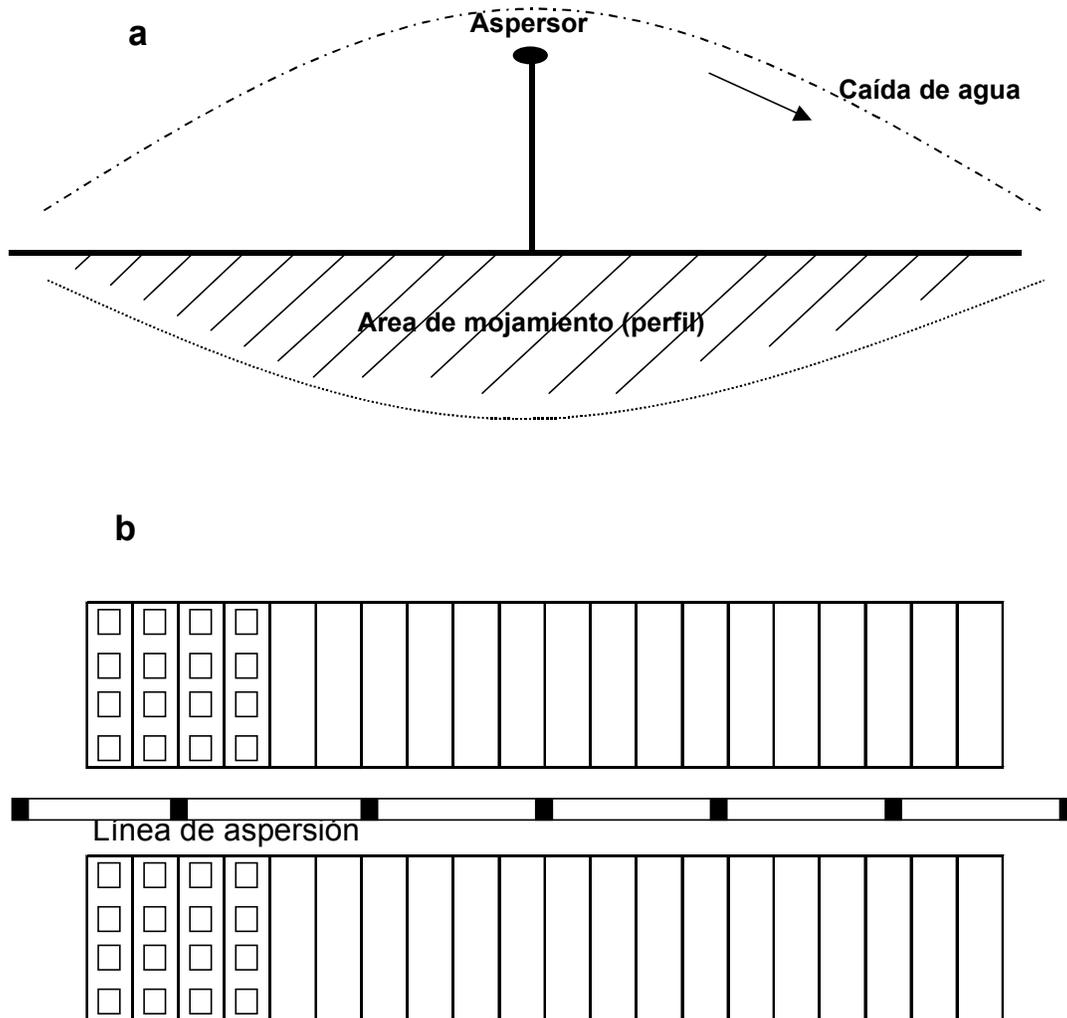
El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 4 x 6 con cuatro repeticiones. Se realizó ANDEVA y separación de medias mediante la prueba de Duncan.

En un extremo de las parcelas se colocó una línea de aspersion similar a la utilizada por Hanks *et al.* (1976), lo que permitió obtener los tratamientos hídricos de acuerdo a la distancia a la línea de aspersion (**Figura 2**). Considerando al tratamiento más húmedo como 100%, a medida que se alejaban de la línea de aspersion los otros tratamientos recibieron precipitaciones de 80, 50 y 20% respectivamente. La lluvia fue muy alta en el año 2000 (505 mm en el período mayo-octubre) y redujo la diferencia real entre tratamientos, ya que las parcelas no fueron protegidas de la precipitación. Para los rastrojos colocados en mayo la cantidad total de agua recibida (lluvia más riegos) en los tres primeros meses varió entre 645 mm para el más seco y 1158 mm para el más húmedo. Los rastrojos colocados sobre el terreno en octubre recibieron en los primeros tres meses 50 y 296 mm, respectivamente. Se aplicaron 21 riegos en el período junio 2000 a marzo 2001. En cada riego se midió la cantidad de agua aplicada mediante pluviómetros.

Para medir la descomposición del rastrojo se utilizó el método de la bolsa (Wiegert y Evans, 1964; Brown y Dickey, 1970; Douglas *et al*, 1980). Se colocaron cuatro bolsas de malla (2 mm de apertura) de polietileno de 30 x 22 cm en cada parcela. Las bolsas contenían un peso de paja equivalente, por unidad de superficie, al tratamiento correspondiente. Estas bolsas se mezclaron con la paja de la parcela y se extrajeron 1, 2, 3 y 6 meses después de colocadas. El material fue secado en estufa a 70°C por 48 h y pesado.

Figura 2. a) Gradiente de precipitación para generar los tratamientos hídricos en función de la distancia a la línea de aspersión. b) Esquema de distribución de las parcelas en función del sistema de riego. Las cantidades de rastrojo fueron dispuestas en forma perpendicular a la línea de aspersión.

Figure 2. a) Precipitation gradient generating the water treatments as a function of distance to the sprinkler line. b) Field distribution of experimental plots with respect to the irrigation system. The amounts of residue were located perpendicular to the sprinkler line.



Diariamente se obtuvo la información meteorológica de temperatura máxima, mínima, precipitación y radiación global, desde el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación La Platina (CRI), ubicada a 700 m del ensayo.

Fundo La Esperanza

Se establecieron tres tratamientos de cantidad de rastrojo de trigo (3; 6; y 9 t·ha⁻¹) en parcelas de 4 x 3 m y seis tratamientos de temperatura determinados por la fecha en que se ubicó el rastrojo en el campo (junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre). El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 4 x 6 con cuatro repeticiones. No se realizaron tratamientos hídricos.

La evaluación de descomposición se hizo en la misma forma como se realizó en la Estación Experimental Antumapu. Diariamente se obtuvo la información meteorológica de temperatura máxima, mínima y precipitación desde una estación meteorológica automática ubicada en el pueblo de El Carmen aproximadamente a 5 km del ensayo.

Simulación en computador

Para cada tratamiento y localidad descritos en la sección anterior se hizo una simulación de la descomposición de los rastrojos sobre el suelo con el modelo CropSyst versión 3.00.04 (Stöckle *et al.*, 1994). Para este trabajo se simuló cada experimento como un barbecho cubierto con diferentes niveles de rastrojo de trigo sometido a las características meteorológicas de la temporada 2000/01. Como datos de entrada se utilizaron los registros meteorológicos del CRI La Platina (Región Metropolitana) y de la estación automática instalada en El Carmen (VIII Región), respectivamente. Los datos diarios de ambas estaciones ingresados al modelo fueron: temperatura máxima y mínima de cobertura a 1,5 m en °C, y precipitación en mm. En el caso de La Platina se incluyó además la radiación global diaria (MJ m⁻² d⁻¹).

Los tratamientos con diferentes niveles de riego por aspersión se ingresaron al modelo como lluvia. Para los parámetros y ecuaciones de descomposición de los rastrojos se utilizaron los definidos para CropSyst por defecto (Anexo 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura a la que estuvo sometido el rastrojo de trigo tuvo un efecto estadísticamente significativo en la cantidad de rastrojo descompuesto, en el primer, segundo y tercer mes de descomposición. En el **Cuadro 1** se puede observar el efecto de la temperatura en la Estación Experimental Antumapu, que fluctuó entre 9,3 y 16,9°C, sobre la descomposición del rastrojo al cabo de 90 días. Se aprecia que la cantidad descompuesta se incrementó a medida que aumentó la temperatura media a la que fueron sometidos los rastrojos. El material colocado en mayo-junio, con la temperatura media más baja, presentó la menor tasa de descomposición. Por otra parte, el material colocado en septiembre, con temperatura media 7,6°C mayor, presentó entre 2 y 4 veces más descomposición según la biomasa inicial colocada.

Los tratamientos hídricos no mostraron diferencias significativas, a excepción de las aplicaciones de 9 t ha⁻¹ al segundo y tercer mes de descomposición, y limitadas a diferencias entre el tratamiento más seco y el resto de los tratamientos (**Cuadro 2**). En el segundo mes de descomposición existió una interacción ($P \leq 0,0002$) cantidad de agua por temperatura que fue independiente de la cantidad de rastrojo (**Figura 3**), observándose que las cantidades de agua correspondientes a los tres niveles más húmedos, provocaron una mayor descomposición del rastrojo de trigo a temperaturas más altas. Sin embargo, este efecto no fue proporcional a la cantidad de agua aplicada, y pareció más bien como el requerimiento de un mínimo de precipitación para favorecer la descomposición.

La baja sensibilidad de la descomposición a los tratamientos hídricos puede ser explicada en parte al analizar lo que predijo el modelo CropSyst. Al realizar la simulación no se obtuvieron diferencias entre los tratamientos hídricos. Al analizar la estructura de las ecuaciones, se encontró que el modelo responde más a eventos de lluvia que a cantidades de agua aplicada. En efecto, la retención de agua de lluvia por la paja es como máximo de 3 kg de agua por kilogramo de paja seca, por lo que en una aplicación de 9 t ha⁻¹, la máxima cantidad de agua retenida es 27.000 kg de agua ha⁻¹, equivalentes a una altura de agua de 2,7 mm. Esto tiene dos consecuencias: primero, que cualquier lluvia superior a esta cantidad no cambia el

contenido de agua de la paja, y segundo, que la paja se seca en uno o dos días con los niveles de evapotranspiración esperables en ambas zonas. Por lo tanto, el proceso de descomposición respondería al agua sólo el día de la lluvia y quizás el siguiente, y los diferentes niveles de agua que se aplicaron contribuyeron a cambiar el balance hídrico del suelo, pero no a cambiar las condiciones de descomposición del rastrojo superficial.

Cuadro 1. Descomposición de rastrojo de trigo después de 90 días de colocación en el terreno. Estación Experimental Antumapu.

Table 1. Wheat straw decomposition 90 days after placement on the field. Estación Experimental Antumapu.

Cantidad de rastrojo en peso fresco (t ha ⁻¹)	Fecha de colocación del rastrojo en el terreno	Temperatura promedio del período (°C)	Rastrojo descompuesto (t ha ⁻¹)	Pérdida de peso seco de rastrojo (%)
3,0	Mayo	9,6	0,18 a	6,7
	Junio	9,3	0,19 a	7,6
	Julio	11,2	0,46 b	18,8
	Agosto	13,1	0,48 c	19,2
	Septiembre	16,9	0,76 c	30,8
6,0	Mayo	9,6	1,03 a b	19,0
	Junio	9,3	0,55 a	10,9
	Julio	11,2	1,06 b	20,9
	Agosto	13,1	0,99 b	19,4
	Septiembre	16,9	1,65 c	32,1
9,0	Mayo	9,6	1,59 a b	19,9
	Junio	9,3	0,87 a	11,5
	Julio	11,2	1,51 b	19,8
	Agosto	13,1	1,57 b	20,7
	Septiembre	16,9	1,97 c	26,0%

Para cada nivel de rastrojo, valores con una misma letra no presentan diferencias al test de Duncan al 5%

Cuadro 2. Descomposición del rastrojo en el tercer mes en función de la precipitación en la Estación Experimental Antumapu. Los cuatro niveles hídricos se presentan con símbolos: nivel mínimo (+) hasta nivel máximo (++++) y el valor de riego aplicado expresado como porcentaje del máximo.

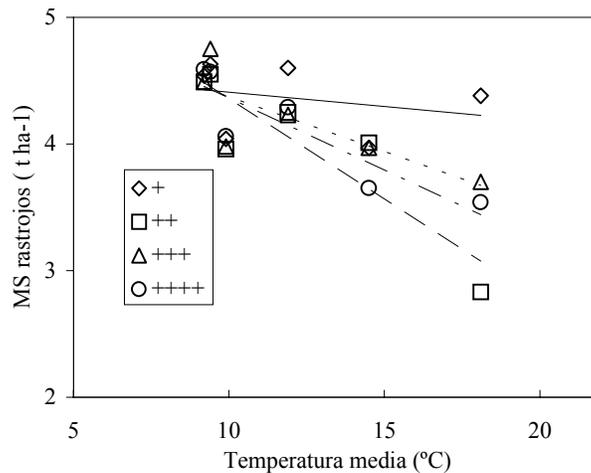
Table 2. Straw decomposition in the third month as a function of precipitation at Estación Experimental Antumapu. The four water levels are represented with symbols: minimum (+) to maximum (++++) and the average irrigation applied expressed as a percentage of maximum..

Cantidad de rastrojo(t ha ⁻¹)	Tratamiento hídrico		Materia seca descompuesta (t ha ⁻¹)	Pérdida de peso seco de rastrojo (%)
3	+	(20%)	0,37 a	15,0
	++	(50%)	0,30 a	12,0
	+++	(80%)	0,46 a	18,4
	++++	(100%)	0,40 a	16,0
6	+	(20%)	0,98 a	19,2
	++	(50%)	0,90 a	17,6
	+++	(80%)	1,04 a	20,5
	++++	(100%)	1,06 a	20,9
9	+	(20%)	1,06 a	14,0
	++	(50%)	1,52 b	20,0
	+++	(80%)	1,47 b	19,3
	++++	(100%)	1,65 b	21,7%

Para cada nivel de rastrojo, valores con una misma letra no presentan diferencias al test de Duncan al 5%

Figura 3. Materia seca de residuos en función de temperatura media (eje abcisas) y nivel hídrico (cruces) medidos 60 días después de la colocación de la paja en el terreno. La interacción agua-temperatura fue significativa. Los datos corresponden a descomposiciones iniciadas cada mes, desde mayo a septiembre de 2000, lo que determinó diferentes temperaturas medias para la descomposición. Estación Experimental Antumapu.

Figure 3. Residue dry matter as a function of mean temperature (abscissa) and water level (crosses), measured 60 days after straw placement on the field. The interaction water-temperature was significant. The data correspond to decompositions initiated each month, from May to September 2000, which determined different mean temperatures for decomposition. Estación Experimental Antumapu.



A futuro los estudios de descomposición en función de la humedad deberían considerar frecuencias de lluvia junto con la cantidad de agua caída. A su vez, debería reestudiarse la subrutina de descomposición en el modelo CropSyst, ya que, al menos en los tratamientos de mayor cantidad de rastrojos, los resultados experimentales mostraron una tendencia a diferentes tasas de descomposición con las cantidades de agua aplicadas, lo que no está siendo simulado por el modelo.

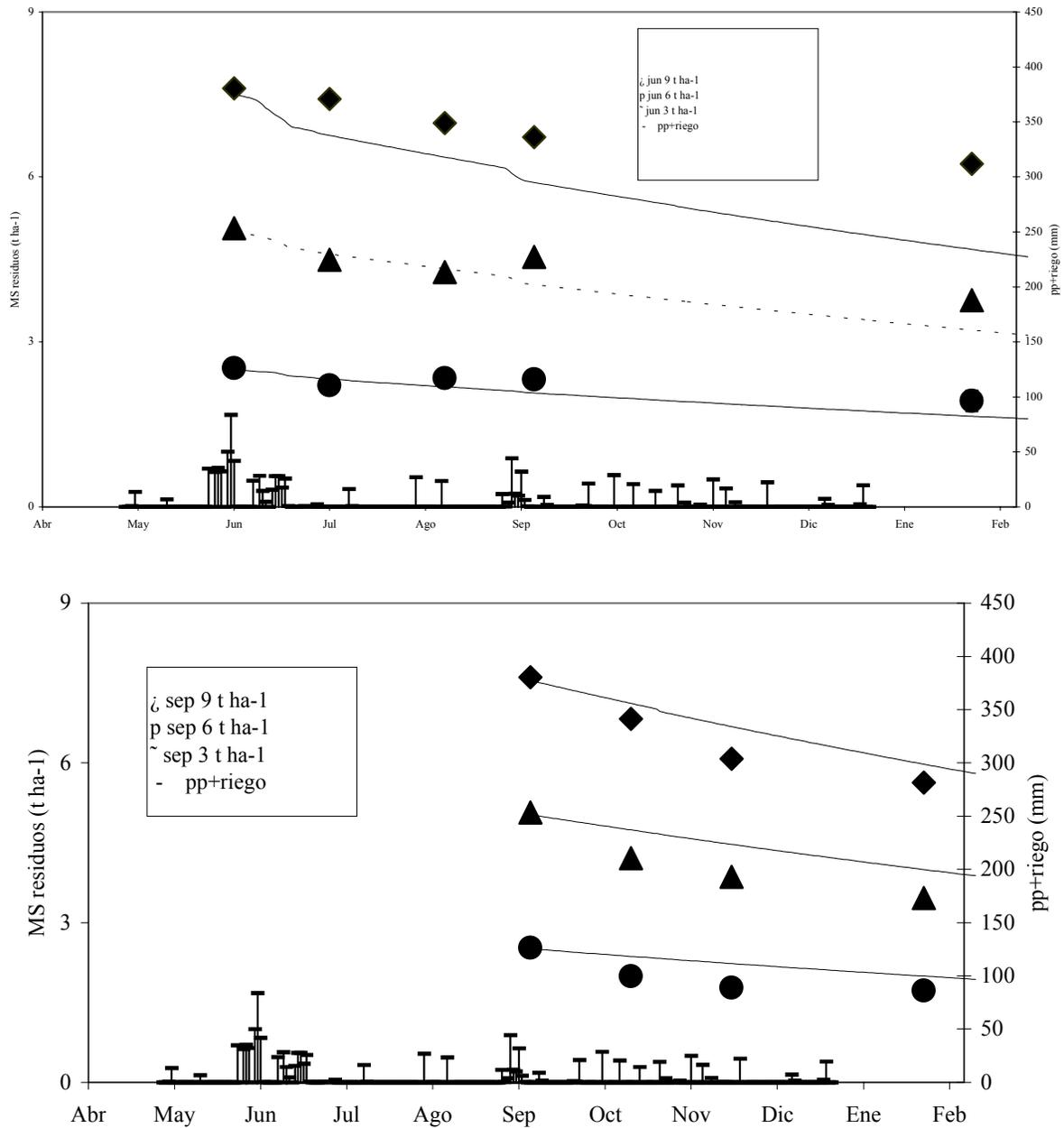
La **Figura 4** muestra los datos de materia seca de rastrojos para dos fechas de colocación (junio y septiembre). La simulación mediante CropSyst fue similar y tuvo las mismas tendencias que las observaciones reales de campo, con una tasa de descomposición inicial más alta que fue decayendo en el tiempo generando curvas de tipo exponencial. Se observó un buen ajuste entre la simulación de CropSyst y los datos reales para los tratamientos de 3 y 6 t ha⁻¹ en junio. Por el contrario, para el tratamiento de 9 t ha⁻¹ el modelo tendió a sobreestimar la descomposición del rastrojo. El problema de la sobreestimación de la descomposición ocurrió en todos los tratamientos en el mes de febrero. Cuando se colocaron rastrojos en septiembre se produjo un efecto contrario, y el modelo subestimó la descomposición respecto a lo que ocurrió con los datos reales. En todo caso, para ambas fechas la diferencia media entre realidad y simulación fue sólo de 10% (rango de 2 a 33%), valores similares a los encontrados por Stroo *et al.* (1989) en experimentos realizados en Washington y Texas, donde las diferencias entre modelo y realidad variaron entre 0 y 50%, con promedios de 8% de diferencia.

En el Fundo La Esperanza y para el rastrojo colocado en julio, se observó un buen ajuste del modelo con respecto a los datos experimentales en todos los tratamientos (**Figura 5**). En el rastrojo colocado en septiembre, el modelo tendió a sobreestimar la descomposición, similar a lo observado en la Estación Experimental Antumapu para la fecha de junio (**Figura 4**), y especialmente en el tratamiento de 9 t ha⁻¹. La diferencia media entre simulación y realidad fue de 10% (rango de 0 a 37%), similar a lo obtenido en la Estación Experimental Antumapu.

Al comparar todos los datos de todas las fechas se obtuvieron coeficientes de determinación superiores a 0,92 (**Figura 6**). Se aprecia que para las mediciones realizadas en la Estación Experimental Antumapu la pendiente fue cercana a 1, valor que corresponde a la situación ideal. No existieron diferencias significativas entre la pendiente observada y el valor ideal para ambas localidades. Analla (1998) recomendó el uso del cuadrado medio del error (CME) de la regresión como un mejor evaluador de la calidad de una validación. Para los datos obtenidos en la Estación Experimental Antumapu este valor fue de sólo 0,24 t ha⁻¹ (6% de la media), mientras que para las mediciones en el Fundo La Esperanza el valor fue de 0,29 t ha⁻¹ (7% de la media).

Figura 4. Comparación de valores medidos (símbolos) y simulados con CropSyst (líneas continuas) para dos fechas de colocación de rastrojos en Estación Experimental Antumapu: junio (superior) y septiembre (inferior). Las barras indican las alturas de agua que ingresaron al sistema por lluvia (pp) o por riego. El error estándar promedio de las observaciones en terreno fue de $0,13 \text{ t ha}^{-1}$.

Figure 4. Comparison of measured values (symbols) and simulations with CropSyst (solid lines) for two dates of residue placement in Estación Experimental Antumapu: June (upper) and September (lower). The bars indicate the height of water entering the system as rainfall (pp) or irrigation. Average standard error for the field measurements was 0.13 t ha^{-1} .



Esta es la primera vez que se valida CropSyst en relación a la descomposición de rastrojos (Stöckle, C.O. 2001. Washington State University, comunicación personal) por lo que no se pueden discutir estos resultados con respecto a otros trabajos. En todo caso, validaciones de CropSyst respecto a rendimiento, evapotranspiración, humedad del suelo en rotaciones trigo-barbecho con y sin residuos, presentan valores de CME de 7 a 17% respecto de la media (Pannkuk *et al.*, 1998) y pendientes cercanas a 1, similares a lo observado en este trabajo para la descomposición de rastrojos. La **Figura 6** muestra además, que en general, para las mediciones en la Estación Experimental Antumapu las sobre y subestimaciones se compensaron, mientras que para las mediciones en el Fundo La Esperanza, el modelo tendió a sobreestimar la descomposición en 9%. Finalmente, se aprecia que las diferencias tendieron a amplificarse con aplicaciones de alta cantidad de rastrojos.

A pesar de existir tendencias a subestimar y/o sobreestimar valores, CropSyst permitió obtener una aproximación adecuada del comportamiento promedio de rastrojos para ambas localidades. Las diferencias encontradas se están discutiendo con los autores del modelo y a futuro se podrá incrementar la precisión de las predicciones.

CONCLUSIONES

La temperatura ambiente durante el proceso de descomposición del rastrojo de trigo es un factor significativo en la magnitud del proceso.

La cantidad de agua aplicada durante la descomposición no es un factor crítico; más importante es la frecuencia de mojamiento de los rastrojos.

El modelo CropSyst simula en forma realista el comportamiento promedio del proceso de descomposición de rastrojos en la Estación Experimental Antumapu y tiene una ligera subestimación en el Fundo La Esperanza.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento del proyecto FONDEF D99 I 1081

Figura 5. Comparación de valores medidos (símbolos) y simulados con CropSyst (líneas continuas) para dos fechas de colocación de rastrojos en Fundo La Esperanza: julio (superior) y septiembre (inferior). Las barras indican las alturas de agua que ingresaron al sistema por lluvia (pp). El error promedio de las observaciones en terreno fue de $0,23 \text{ t ha}^{-1}$.
Figure 5. Comparison of measured values (symbols) and simulated values with CropSyst (solid lines) for two dates of residue placement in Fundo La Esperanza: July (upper) and September (lower). The bars indicate the height of water entering the system as rainfall (pp). Average standard error of the field measurements was 0.23 t ha^{-1} .

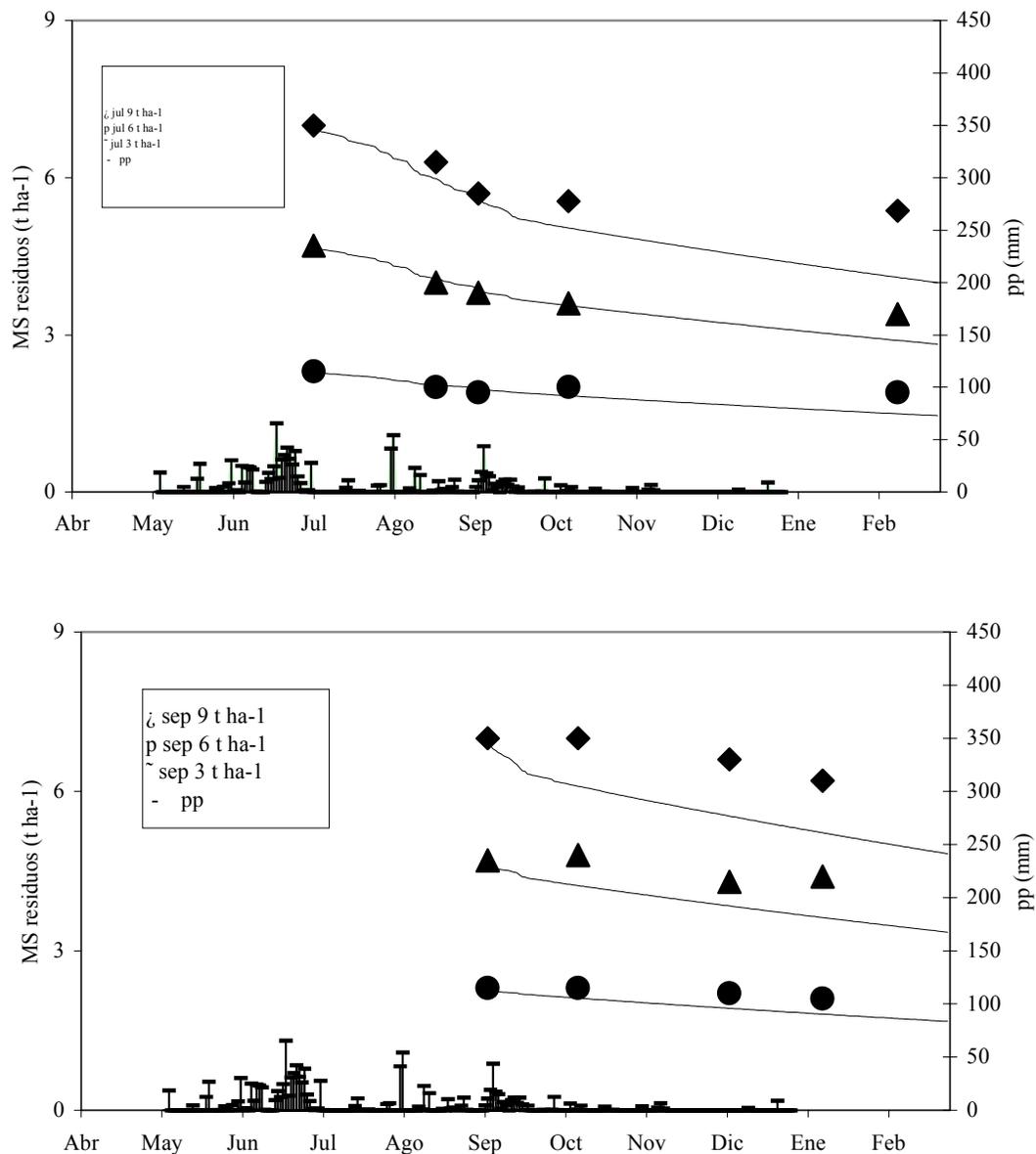
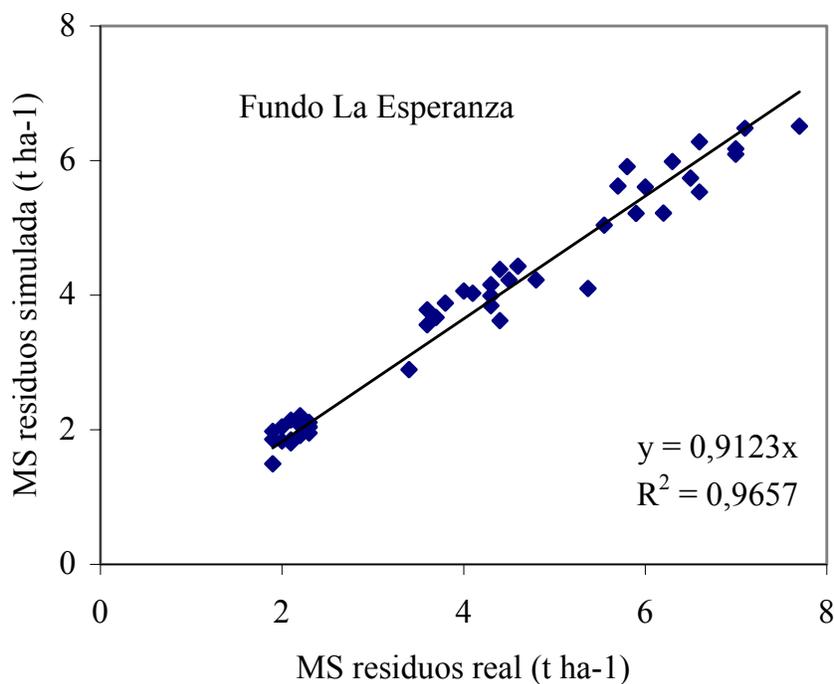
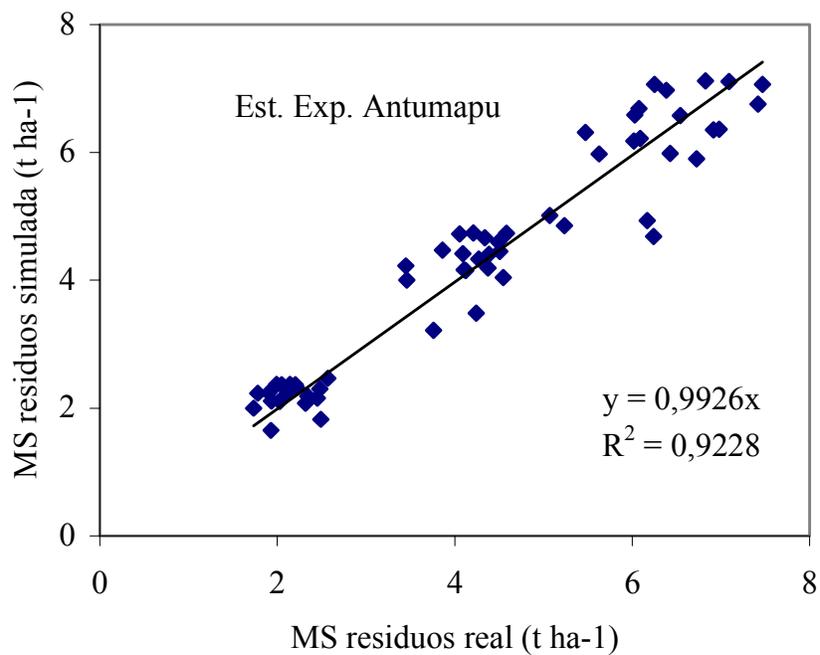


Figura 6. Comparación de peso de rastrojos medidos y simulados para todas las fechas de medición en ambas localidades. Las regresiones se ajustaron a un modelo lineal con intercepto igual a cero. Un ajuste ideal corresponde a una pendiente de 1.
Figure 6. Comparison of measured and simulated residue weight for all dates at both locations. Regressions were adjusted to a linear model with intercept equal to zero. An ideal fit would have a slope of 1.



LITERATURA CITADA

- Analla, M. 1998. Model validation through the linear regression fit to actual versus predicted values. *Agric. Syst.* 57:115-119.
- Bristow, R.L., G.S. Campbell, R.I. Papendick, and L.F. Elliot. 1986. Simulation of heat and moisture transfer through a surface residue - soil system. *Agric. For. Meteorol.* 36:193-214
- Brown, P.L., and D. D. Dickey. 1970. Losses of straw residue under simulated field conditions. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.* 34:118-121
- de Wit, C.T., and J. Goudriaan. 1978. Simulation of ecological processes. 175 p. PUDOC, Wageningen, The Netherlands.
- Douglas, C.L., R.R. Allmaras, P.E. Rasmussen, R.E. Ramig, and N.C. Roager. 1980. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 44:833-837.
- Evans, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation and yield. 500 p. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain.
- Hanks, R.J., J. Keller, V.P. Rasmussen, and G.D. Wilson. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:426-429.
- Pannkuk, C.D., C.O. Stöckle, and R.I. Papendick. 1998. Evaluating CropSyst simulations of wheat management in a wheat-fallow region of the U.S. Pacific Northwest. *Agric. Syst.* 57:121-134.
- Stöckle, C.O., S. Martin, and G.S. Campbell. 1994. CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Agric. Syst.* 46:335-359
- Stroo, H., K. Bristow, L. Elliot, R. Papendick, and G. Campbell. 1989. Predicting rates of wheat residue decomposition. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 53:91-99
- Wiegert, R.G., and F.C. Evans. 1964. Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in Southeastern Michigan. *Ecology* 45:49-63.

ANEXO 1

Parámetros y ecuaciones utilizadas en las simulaciones

Constante de tiempo, CT = 60 días

$$\text{Factor temperatura, } f(T) = 1,32 \frac{2(\text{tmed} + a)^2 (\text{topt} + a)^2 - (\text{tmed} + a)^4}{(\text{topt} + a)^4}$$

Donde: tmed = temperatura media diaria, °C; topt = temperatura óptima para descomposición, 30°C; y a = constante empírica, 6,1°C.

Factor humedad: f(W), si WC > = WCopt entonces f(W) = 1,0

$$\text{si } WC < WC_{\text{opt}} \text{ entonces } f(W) = \frac{WC}{WC_{\text{opt}}}$$

donde: WC es el contenido de agua de los rastrojos, $\text{kg}_{\text{agua}} \text{kg}^{-1}_{\text{rastrojo}}$; WC_{opt} es el contenido máximo de agua de los rastrojos, 3 kg kg^{-1}

$$f(W,T) = \text{mínimo}(f(W), f(T))$$

tasa de descomposición de rastrojos (dR/dt , $\text{t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) se calcula mediante:

$$\frac{dR}{dt} = -R \frac{f(W,T)}{CT} e^{-\frac{f(W,T)}{CT}}$$

donde: R es la biomasa de rastrojos presente en un momento dado, t ha^{-1} . Los otros símbolos están definidos más arriba