

LA SIMULACION DE LA TEMPERATURA DEL SUELO Y EL CRECIMIENTO DE PASTOS UTILIZANDO EL MODELO PASTMOD ^a

Arnulfo González Meza ^b
Robert W. Hill ^c

RESUMEN

Las simulaciones de procesos biológicos en pastos es una actividad científica que ha venido avanzando. La generación de diversos modelos permite predecir el comportamiento de la capacidad productiva de los pastos en diversos escenarios. PASTMOD (Pasture Modeling) es un programa computacional creado para simular la productividad de los pastos en climas templados, basado en la predicción de temperaturas del suelo. El objetivo de este trabajo fue comparar las simulaciones de temperatura del suelo y crecimiento de pastos, generadas por PASTMOD con datos observados en condiciones de campo. Los resultados demostraron que las simulaciones de temperatura del suelo con PASTMOD estuvieron dentro de una variación de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ en comparación a los datos observados, y que las mejores predicciones se obtuvieron con las simulaciones a mayor profundidad de suelo. Las simulaciones de materia seca en Festuca Alta coincidieron en tendencia y magnitud con la información de campo, en tanto que para Ryegrass asociado con Trébol, las simulaciones fueron más sesgadas debido a los cambios temporales y espaciales de la combinación pasto-leguminosa.

PALABRAS CLAVE: Simulación, Modelo computacional, Crecimiento de pastos, Temperatura del Suelo.

Téc. Pecu. Méx. Vol 35. No. 2 (1997).

INTRODUCCION

En ambientes fríos, el crecimiento de los pastos y de cualquier planta en general es sensible a la temperatura, especialmente si esta se encuentra cerca de congelamiento. Cada planta o variedad tiene una temperatura mínima bajo la cual se detiene el crecimiento y una óptima en la cual el crecimiento se desarrollará al máximo. En estos ambientes, las temperaturas desde el final del otoño hasta al inicio de la primavera limitan el crecimiento de los pastos, mientras que las temperaturas de congelamiento del invierno pueden dañar el tejido de las plantas irreversiblemente (1). La respuesta más típica de los procesos fisiológicos tales como crecimiento, fotosíntesis y respiración, relacionada a temperatura, es un incremento acelerado desde 0°C , una sección lineal con un óptimo, seguido de una rápida caída (2).

La temperatura del suelo está influenciada por el balance de energía en él, y afecta todos los procesos físicos, químicos y biológicos; por ejemplo, el crecimiento de las partes aéreas y terrestres de los pastos está más correlacionado con temperatura del suelo que con la temperatura del aire. Es por esto que la mayoría de los modelos de simulación de las interrelaciones suelo-planta-atmósfera requieren de subrutinas para predecir la temperatura del suelo. Los modelos matemáticos de temperaturas del suelo con base física, requieren resolver la ecuación diferencial parcial que describe temperatura del suelo como una función de tiempo y profundidad (3).

Por otro lado, el crecimiento de las plantas se concentra alrededor de tres importantes áreas, tasa de crecimiento, duración del crecimiento y el nivel en el cual el estrés influye estos dos procesos. La simulación de la tasa de crecimiento requiere la partición de sustancias asimilables hacia los órganos de las plantas que crecen durante una fase fisiológica específica. Las deficiencias de nutrientes y agua en el suelo,

a Recibido para su publicación el 17 de Junio de 1997.

b Campo Experimental Zona Henequenera. CIRSE. INIFAP. Apdo Postal 13-B. Mérida, Yucatán.

Tel/fax (991) 30112.

E-Mail: AGONZALEZ@PIBIL.FINRED.COM.MX

c Biological and Irrigation Dept. State University, Logan, Utah. 84322. USA.

así como las temperaturas extremas originan el estrés, mientras que la duración del crecimiento es importante en la determinación de los rendimientos potenciales de los cultivos. En general, si la duración del ciclo es más larga, más elevado será el rendimiento del cultivo (4).

La expansión del crecimiento se considera que es un proceso manejado principalmente por la temperatura del tejido vegetal. El crecimiento de la masa vegetal es la fuente necesaria para llenar y mantener el tejido expandido y también provee sustancias asimilables al sistema radicular para su crecimiento y mantenimiento. El crecimiento vegetal es influenciado primeramente por la interceptación de la radiación, la duración del crecimiento de un cultivo en particular es directamente proporcional a la temperatura, y esta duración se predice usando la suma de la temperatura del aire diaria. Para los pastos, donde el punto de crecimiento o meristemo apical está cerca de la superficie, la temperatura del suelo es más apropiada para predecir su desarrollo que la temperatura del aire. Parte de las anteriores condiciones fueron incluidas en un programa de simulación (PASTMOD) para predecir temperatura y balance hídrico en el suelo (5).

El objetivo de este trabajo fue simular la temperatura del suelo y el crecimiento de pastos usando el modelo PASTMOD, y verificar estas predicciones con datos de campo.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación incluyó trabajo de gabinete y campo. El trabajo de gabinete consistió en la simulación de la temperatura del suelo y crecimiento de los pastos con el programa PASTMOD. PASTMOD consta de tres principales componentes: temperatura del suelo, crecimiento de pastos, y balance de agua. El modelo usa intervalos diarios y requiere como variables de entrada lo

siguiente: valores diarios de temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa máxima y mínima, precipitación y/o láminas de riego, radiación solar y velocidad de viento. Las condiciones iniciales del cultivo requeridas son: valores de índice de área foliar, pesos de crecimiento, número de cortes, y/o periodos y duración del pastoreo. También se requieren las condiciones iniciales de temperatura y humedad en el suelo para las diferentes profundidades, conductancia del aire, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, fracción de arcilla en el suelo, y la latitud del sitio. Detalles sobre la estructura y funcionamiento del modelo son descritos en trabajos recientes (5).

El trabajo de campo consistió en la toma de datos colectados durante 1995 en el pasto Festuca Alta (*Festuca Arundinacea* L.). La pradera se localizó en la estación experimental "Greenville" de la Universidad Estatal de Utah (Utah State University) en Logan, Utah. El otro pasto en estudio fue el Ryegrass (*Lolium perenne* L.), sembrado en combinación con trébol (*Trifolium repens*), en un rancho particular de Fairview, Idaho. Estas localidades fueron escogidas debido a que la pradera con Festuca Alta ofreció una buena oportunidad para evaluar el crecimiento de pasto bajo cosecha mecánica en condiciones controladas, en tanto que la pradera de Ryegrass y Trébol representó una situación real en términos de manejo de pastos y animales.

En la pradera con Festuca Alta (Greenville), el manejo incluyó tres aplicaciones de fertilizante durante la temporada (abril, julio y septiembre). En abril y julio, se aplicó nitrato de amonio (33.5% N) y 25-5-0 en septiembre en dosis de 100 kg/ha en cada aplicación. La pradera se regó con un sistema de aspersión con laterales móviles de 100 m de longitud.

El estudio de campo en Ryegrass fue conducido en una pradera de 40.5 ha bajo

un sistema de pastoreo intensivo. El pasto fue plantado en 1992 e irrigado con un sistema de aspersión con ruedas metálicas (Wheel line). Se fertilizó con 74.1 Kg/ha de nitrógeno en mayo y agosto. La localidad estuvo rodeada por áreas de alfalfa, potreros y granos en todas direcciones. El sistema de pastoreo en esta localidad consistió en la rotación de cada potrero por 24 horas con un hato lechero de 135 vacas, seguido por otro de 100 becerros, los cuales pastaron otras 24 horas. El pastoreo se inició alrededor de la tercera semana de abril y concluyó a finales de noviembre. El tamaño de los potreros fue de aproximadamente 0.82 ha y fueron delimitados por un cerco eléctrico de 9000 volts. Ningún daño aparente por plagas fue detectado en ambos sitios de estudio.

Para coleccionar la información climatológica que sirvió para las simulaciones con PASTMOD, se usaron estaciones electrónicas automatizadas. Las estaciones fueron escaneadas con una frecuencia de 20 segundos. Las variables que se midieron fueron: temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa máxima y mínima (a una altura de 1.80 m), precipitación, radiación solar, velocidad y dirección dominante del viento y temperatura del suelo.

La temperatura del suelo fue monitoreada a 3, 10 y 30 cm de profundidad, con termocoples y termistors conectados a las estaciones climatológicas. Las simulaciones de temperatura del suelo, a 3 y 10 cm de profundidad usando PASTMOD, fueron comparadas con los datos de campo utilizando el error del cuadrado medio de la raíz (R_e) y el error medio absoluto (R_a). Los anteriores parámetros estadísticos son recomendados para apreciar el grado de predicción de los modelos de simulación y están definidos por las siguientes relaciones:

$$R_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i^o - X_i^s)^2}{N}}$$

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^N ABS(X_i^o - X_i^s)}{N}$$

donde N es el número de observaciones; X_i^o es la temperatura observada o medida en condiciones de campo y X_i^s es la temperatura simulada (5). Se analizó estadísticamente por medio de una prueba de significancia chi cuadrada (χ^2) la relación entre las temperaturas simuladas y observadas a 3 y 10 cm de profundidad en los dos pastos en estudio. Se tomó la diferencia entre los valores observados y simulados de temperatura, se elevaron al cuadrado esas diferencias, el resultado se dividió entre el valor simulado y se sumaron todos los cocientes para obtener el estadístico χ^2 .

La producción de forraje de los pastos fue obtenida en forma aleatoria utilizando un cuadrante de 0.25 m² (0.5 X 0.5), en donde cada sitio tuvo tres repeticiones. Las muestras de materia verde fueron secadas a 65 C por más de 48 horas para obtener la producción de materia seca. Los cortes se hicieron en forma manual y se llevaron a cabo cada dos semanas para determinar los cambios en la producción de materia seca en cortes secuenciales. Estos cambios fueron graficados contra el tiempo para obtener la curva de crecimiento y poder compararlos con las simulaciones de PASTMOD.

RESULTADOS

Temperatura del suelo

Las Figuras 1 y 2 muestran las temperaturas promedio diarias del suelo a 3, 10 y 30 cm de profundidad en los pastos Festuca Alta y Ryegrass, respectivamente. Los patrones de temperatura siguieron tendencias similares; se incrementaron durante la primavera, alcanzaron un máximo (alrededor de 20 C) en el verano y disminuyeron en el otoño. La temperatura del suelo a 3 cm de profundidad fue usualmente más alta que la temperatura a 10 y 30 cm en períodos de incremento de temperatura del suelo en la primavera y el verano. En contraste, en períodos de disminución de la temperatura del suelo, la temperatura a 30 cm fue más elevada que a 3 y 10 cm de profundidad.

Simulaciones.

Las Figuras 3 y 4 comparan las temperaturas del suelo medidas y simuladas, a 3 y 10 cm de profundidad para Festuca Alta y

Ryegrass. Los valores de R_e para Festuca Alta fueron 2.03 y 1.74 C a las respectivas profundidades de 3 y 10 cm, y valores de 1.66 y 1.50 C para R_a en las mismas profundidades. Los valores de R_e para Ryegrass fueron de 2.07 y 1.84 C y de 1.59 y 1.43 C para R_a , en profundidades de 3 y 10 cm, respectivamente.

El análisis estadístico por medio de la prueba de chi cuadrada demostró que no existió relación entre los valores observados y simulados de temperatura del suelo en ninguno de los dos pastos. La prueba de chi cuadrada mostró clara evidencia de que las tendencias son independientes, ya que la probabilidad de obtener un valor de X^2 mayor o igual al valor de tablas es muy remoto. El Cuadro 1 muestra los resultados de las pruebas de significancia.

La Figura 5 presenta los resultados de los valores simulados, comparados con los valores observados de producción de materia seca de Festuca Alta y la Figura 6 ofrece la misma comparación para Ryegrass.

FIGURA 1. TEMPERATURA DIARIA PROMEDIO DEL SUELO, A TRES PROFUNDIDADES. GREENVILLE, 1995.

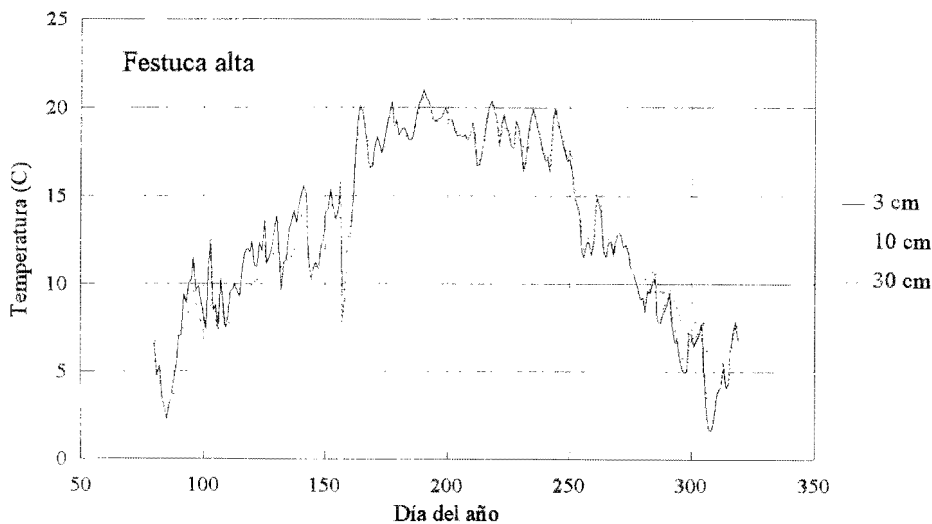
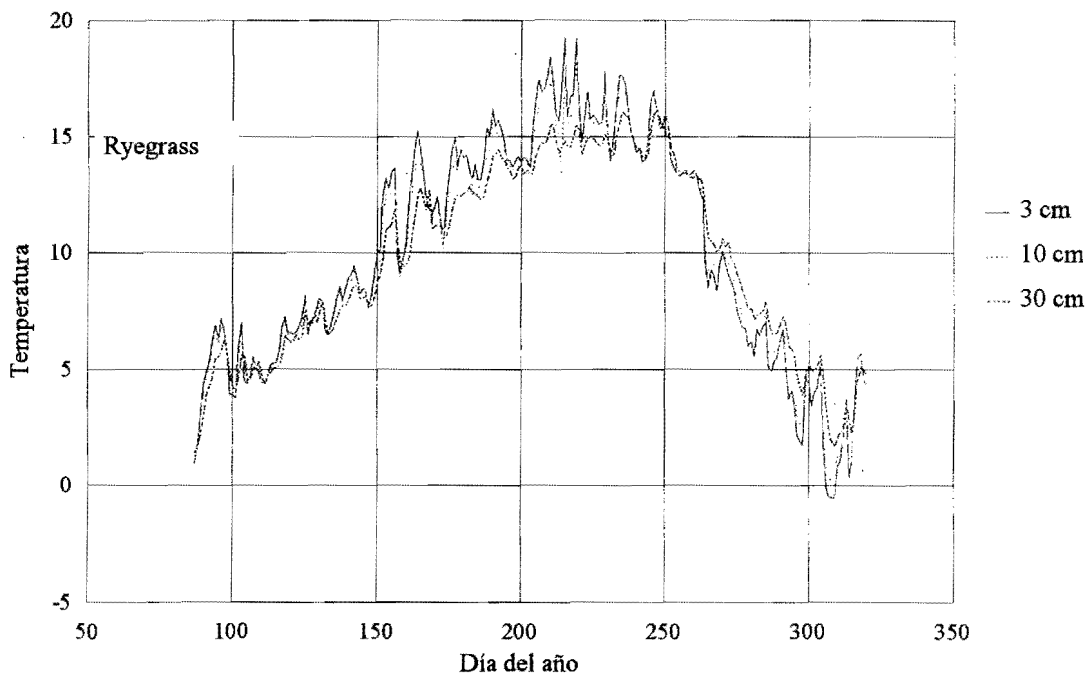


FIGURA 2. TEMPERATURA DIARIA PROMEDIO DEL SUELO A TRES PROFUNDIDADES. FAIRVIEW, 1995.



14/20

CUADRO 1

PRUEBA DE SIGNIFICANCIA CHI CUADRADA PARA LAS TEMPERATURAS DEL SUELO OBSERVADAS Y SIMULADAS A DOS DIFERENTES PROFUNDIDADES

PASTO	PROFUNDIDAD DE LA TEMP. DEL SUELO (CM)	GRADOS DE LIBERTAD	X ²
Alta festuca	3	230	65.9 ns ¹
Alta festuca	10	230	41.1 ns
Ryegrass perenne	3	231	43.4 ns
Ryegrass perenne	10	231	48.2 ns

¹ ns denota no significancia entre valores observados y simulados (p<0.001)

FIGURA 3. TEMPERATURA DIARIA DEL SUELO OBSERVADA Y SIMULADA A DOS DIFERENTES PROFUNDIDADES. GREENVILLE, 1995.

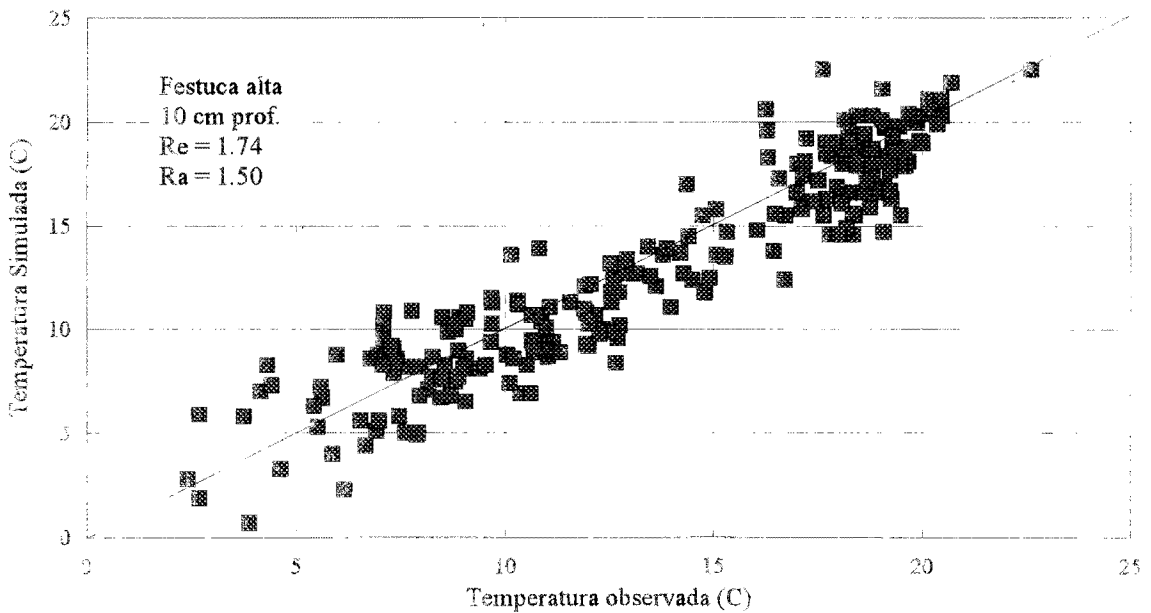
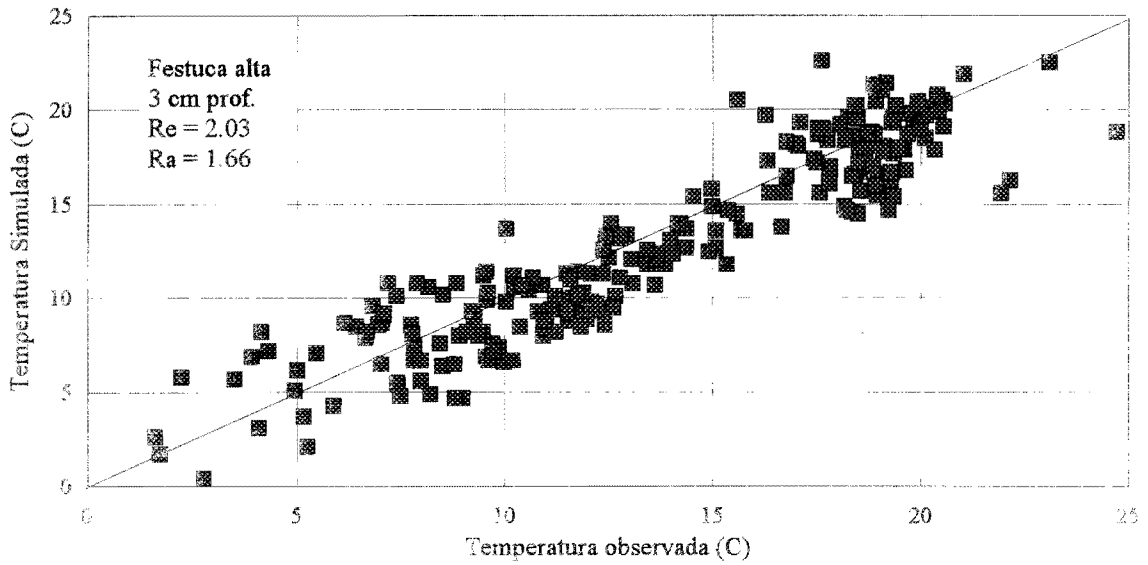


FIGURA 4. TEMPERATURA DIARIA DEL SUELO OBSERVADA Y SIMULADA A DOS DIFERENTES PROFUNDIDADES FAIRVIEW, 1995.

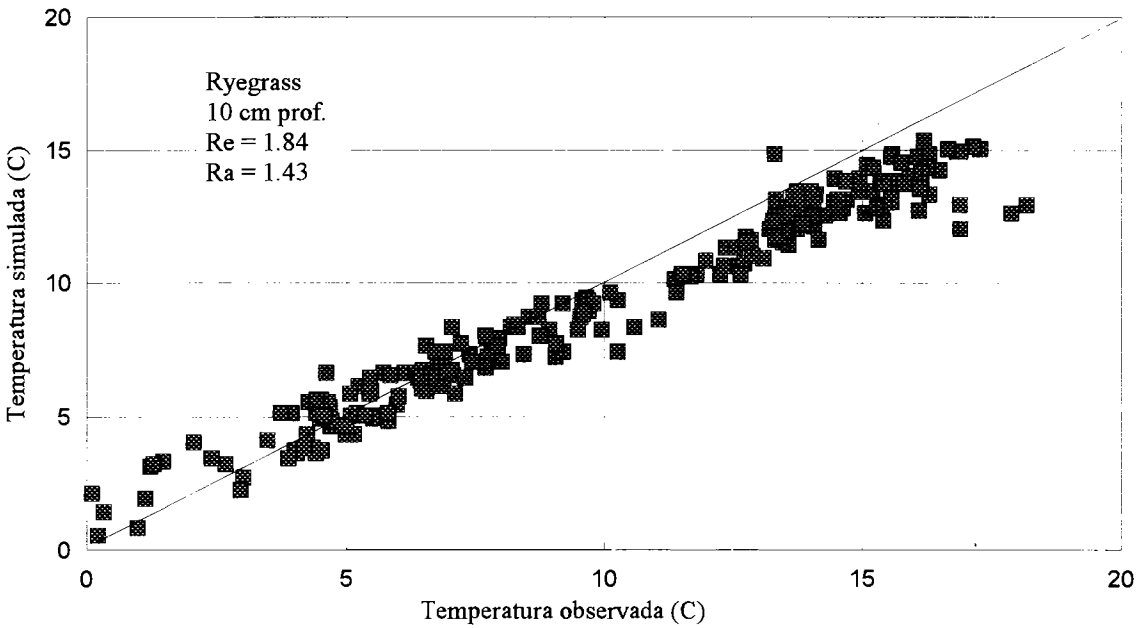
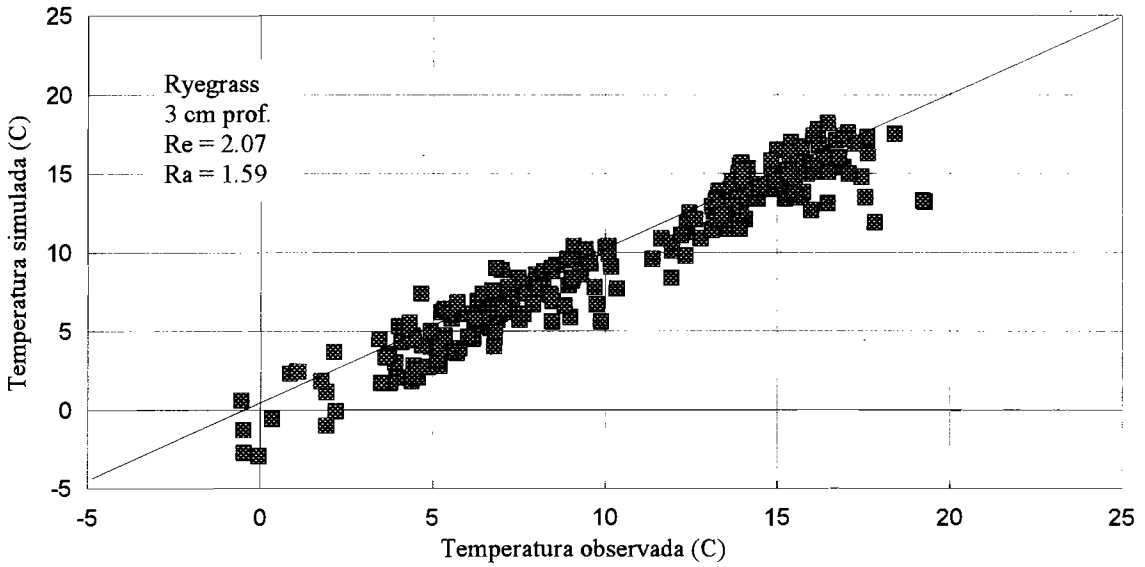


FIGURA 5. PRODUCCION DE MATERIA SECA OBSERVADA Y SIMULADA, PARA FESTUCA ALTA. GREENVILLE, 1995.

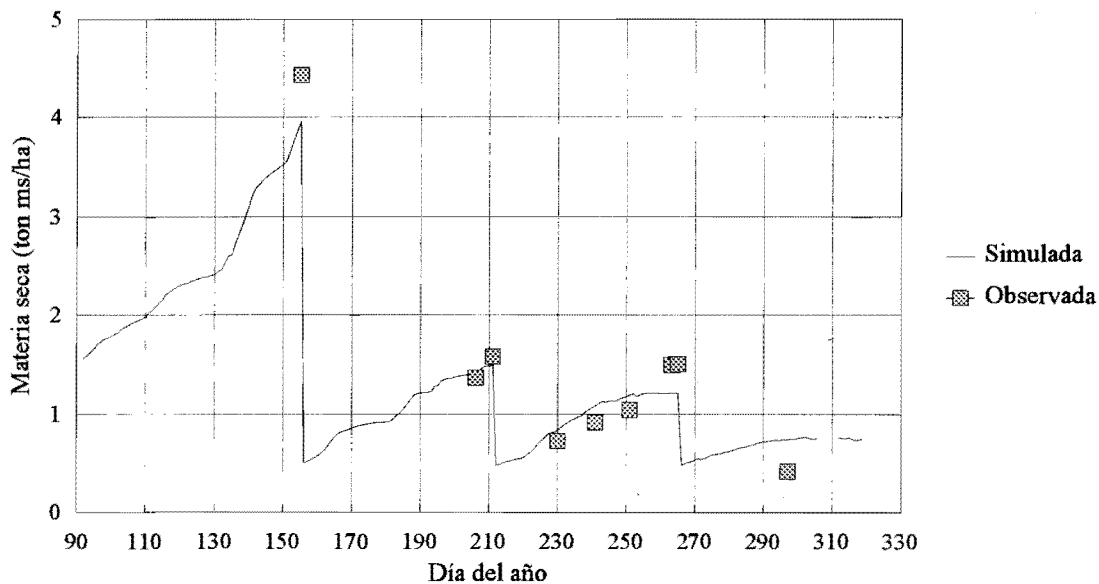
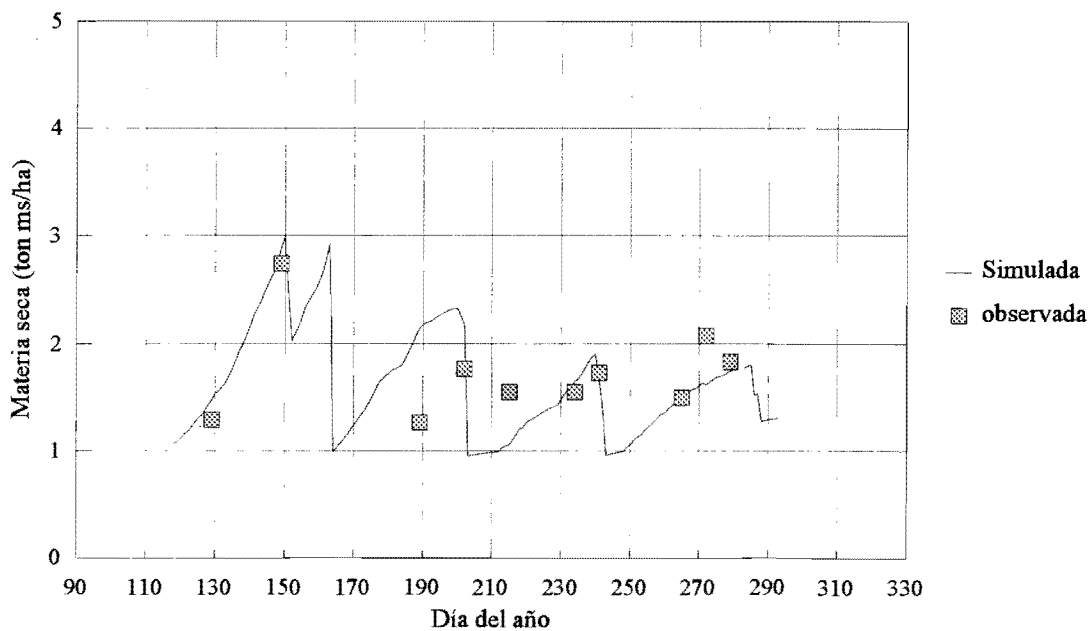


FIGURA 6. PRODUCCION DE MATERIA SECA OBSERVADA Y SIMULADA, PARA RYEGRASS. FAIRVIEW, 1995.



DISCUSION

La comparación de temperaturas del suelo en *Festuca Alta* (Figuras 3 y 4) registró una ligera subestimación de PASTMOD en las temperaturas más altas, a una profundidad de 3 cm; y una sobreestimación de las temperaturas más bajas a 10 cm de profundidad. En Ryegrass, al igual que para *Festuca Alta*, las temperaturas del suelo coincidieron dentro de un rango de ± 2 C durante el período de observación, con una ligera sobrestimación de las temperaturas simuladas a ambas profundidades. En general, mejores simulaciones de temperatura del suelo fueron obtenidas a 10 cm de profundidad que a 3 cm, por el mayor error introducido en el cálculo de las temperaturas de la superficie del suelo. Las variaciones observadas en ambas especies están en el rango de errores en la temperatura del suelo medida y simulada, informada en la literatura por diversos autores (6, 7, 8 y 9). Además, el grado de certeza obtenido en la simulación de la temperatura del suelo es suficiente si el modelo de crecimiento de pastos, como PASTMOD, requiere únicamente temperatura promedio del suelo diaria para manejar los submodelos. Con relación a la simulación de producción de materia seca en *Festuca Alta* bajo corte, la Figura 5 muestra el alto grado de coincidencia en magnitud y tendencia en los valores observados y los simulados. Los cortes registrados en días del año 153, 212 y 263 fueron representados apropiadamente por PASTMOD.

Los valores simulados y medidos de la producción de materia seca para Ryegrass, no fueron tan cercanos como con *Festuca Alta* (Figura 6). La falta de coincidencia fue clara y esto probablemente fue causado por el diferente patrón de crecimiento de la mezcla de Ryegrass y Trébol. Los efectos individuales de los componentes en una pradera combinada con pasto-leguminosa no

es claramente entendida y no es fácil de manejar debido a las variaciones temporales y espaciales de sus elementos. El Trébol muestra una variación constante lo cual hace difícil de predecir el comportamiento dinámico de la mezcla de pasto-leguminosa (10). Otros autores (11) afirman que la mezcla de Ryegrass perenne y Trébol es inestable, y que la razón de esto no está clara, no obstante que la mezcla de Ryegrass perenne y Trébol puede persistir por largos períodos.

Por otro lado, el componente de crecimiento de pastos de PASTMOD requiere parámetros de la planta y animales, que son involucrados en las diferentes subrutinas del programa. La naturaleza de los parámetros hizo difícil producir valores particulares para esta investigación, en particular debido a las muy especializadas técnicas fisiológicas necesarias. La mayoría de los valores de los parámetros fueron tomados de la literatura y/o modificados después de simulaciones sucesivas en prueba y error con PASTMOD. Los valores iniciales de los parámetros incluidos en el componente de crecimiento de pastos son listados en un trabajo anterior (5).

Se concluye que las predicciones de temperatura del suelo con PASTMOD y los valores observados mostraron variaciones razonables que permiten confiar en las simulaciones de temperatura del suelo de PASTMOD. Las simulaciones de producción de materia seca en *Festuca Alta*, igualmente fueron razonablemente aceptables, mientras que las predicciones bajo pastoreo en una mezcla de pasto-leguminosa requieren de investigación en campo y ajuste de parámetros en PASTMOD. Por esto, PASTMOD puede ser una herramienta útil para simular diferentes escenarios y apoyar en el manejo de los pastos, en climas templados.

Se recomienda verificar la simulación de PASTMOD en condiciones de campo

diferentes a las que prevalecen en las localidades del presente estudio, para corroborar su comportamiento; incorporar los efectos diferenciales de niveles de nitrógeno en la simulación, apoyado en investigación de campo e incluir la respuesta de la combinación gramínea-leguminosa bajo diferentes condiciones ambientales y de pastoreo intensivo.

SOIL TEMPERATURE AND GRASS GROWTH SIMULATIONS USING THE PASTMOD MODEL

SUMMARY

The simulation of pasture biological processes is a scientific activity which has been maturing quickly. The development of several grass growth models allow predicting the behavior of the productive ability of plants facing different scenarios. PASTMOD is a computer program written to simulate pasture productivity under temperate climate, and it is based on the prediction of soil temperatures. The objective of this research was to compare soil temperature and pasture dry matter production simulations from PASTMOD, with field observations. The soil temperatures observed under field conditions confirmed that the temperature patterns were increased during the Spring, reached a maximum in the Summer and decreased during the Autumn. The results showed that the soil temperature simulations agree within ± 2 C throughout the period of observation, and that the more accurate soil temperature simulations were obtained at the 10-cm depth. The dry matter simulations with Tall Fescue compared well in trend and magnitude with the measured values, on the other hand, with the Ryegrass-Clover mixture, the simulations behaved not as close as Tall Fescue, perhaps caused by the temporal and spatial changes with the grass-legume mixture.

KEY WORDS: Simulation, Computational model, Grass growth, Soil temperature.

REFERENCIAS

1. Williams C N, Biddiscombe E F. The winter growth of selected pasture grasses. *Austral. J. Exp. Agric.* 1964; 57(4):487.
2. Johnson I R, Thornley J H M. Dynamic model of the response of a vegetative grass crop to light, temperature and nitrogen. *Plant, Cell and Environment.* 1985; 8:485.
3. Campbell G S. Soil physics with basics. En: Campbell G S. (ed.) *Transport models for soil-plant systems.* Amsterdam, The Netherlands. 1992; 26-39.
4. Ritchie J T, Nesmith D S. Temperature and crop development. In: Hanks J, Ritchie J T (eds.) *Modeling plant and soil systems.* Wisconsin. USA. 1991; 5-30.
5. González M A. Influence of Weather and Soil Conditions on perennial Forages During Early Growth and the Onset of Winter Dormancy. Ph. D. Dissertation. Biological and Irrigation Eng. Utah State University. Logan, Utah. USA. 1996; 270.
6. Hanks J, Austin D D, Ondrechen W T. Soil temperature estimation by a numerical method. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1971; 35:665.
7. Parton W J. Predicting soil temperatures in a shortgrass steppe. *Soil Sci.* 1984; 188:93.
8. Porter M A, McMahon T A. A computer simulation model for soil temperatures in Australian cereal cropping. *Soil & Tillage Res.* 1987; 10:131.
9. Kemp P R, Cornelius J M, Reynolds, J F. A simple model for predicting soil temperatures in desert ecosystems. *Soil Sci.* 1992; 153(4):235.
10. Thornley J H M, Bergelson J, Parsons A J. Complex dynamics in a carbon-nitrogen model of a grass-legume pasture. *Ann. Bot.* 1995; 75:79.
11. Parsons A J, Harvey A, Johnson I R. Plant-animal interactions in continuously grazed mixtures. II. The role of differences in the physiology of plant growth and of selective grazing on the performance and stability of species in a mixture. *J. Appl. Ecol.* 1991; 28:619.