

# PASTMOD, UN MODELO PARA SIMULAR TEMPERATURA DEL SUELO, CRECIMIENTO DE PASTOS Y BALANCE DE AGUA EN EL SUELO <sup>a</sup>

Arnulfo González Meza <sup>b</sup>

Robert W. Hill <sup>c</sup>

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un modelo de simulación que presentara un mejor entendimiento del crecimiento de pastos y su interrelación con temperatura y agua del suelo, y que predijera la duración de la época de crecimiento del pasto. El resultado fue la creación del modelo de simulación PASTMOD. PASTMOD usa como estructura básica un sistema de interrelación agua-suelo-planta consistente de tres principales componentes: temperatura del suelo, crecimiento de pastos, y balance de agua. Cada uno de estos componentes son resueltos usando diferentes algoritmos que dan significado físico a los resultados. Las condiciones climatológicas diarias y las características del suelo definen límites superiores e inferiores del sistema para manejar su respuesta. El modelo usa intervalos diarios y requiere como variables de entrada: la temperatura máxima y mínima del aire, la humedad relativa máxima y mínima, precipitación y/o láminas de riego, radiación solar, y velocidad de viento. Condiciones iniciales de manejo, del suelo y del cultivo deben ser especificadas para que el programa inicie. El programa fue escrito en Quickbasic. PASTMOD es un programa dinámico con base fisiológica que prepresenta aspectos de la planta, clima y suelos para simular el crecimiento de pastos. Además, el modelo de simulación es versátil para ser aprovechado en otras aplicaciones prácticas como manejo de riego y pastoreo.

**PALABRAS CLAVE:** Modelo de simulación, Crecimiento de pastos, Temperatura del suelo, Balance de agua, Evapotranspiración.

Tec. Pecu. Mex. Vol 35. No. 2 (1997).

## INTRODUCCION

Un modelo es una pequeña imitación de una cosa real, o un sistema de postulados, datos e inferencias presentadas como una descripción matemática de un proceso. Los modelos pueden ser usados como una técnica para organizar lo que es conocido acerca de una materia, mostrando los efectos de las interrelaciones de muchos factores sobre algún resultado deseado.

Son varios los beneficios derivados de los modelos, uno de ellos es la exposición de espacios vacíos o intervalos en el conocimiento a un nivel de submodelo, por ejemplo en procesos tales como fotosíntesis y absorción de nutrientes (1). Un modelo de simulación tiene también la capacidad de agrupar información en una área en donde es necesario realizar más investigación. Aparte de los efectos sobre la investigación, un

modelo puede ayudar a resolver dificultades como la particularidad en granjas, cambios climáticos y la flexibilidad en el manejo (2). Con lo anterior, es posible conocer la respuesta de ciertas variables en diferentes escenarios reales e hipotéticos que contribuya a tomar decisiones en la planeación y ejecución de proyectos.

### Modelos

Los modelos matemáticos pueden ser clasificados en dos categorías: mecánicos y empíricos. Los modelos mecánicos describen el comportamiento de la planta o cultivo en términos de como sus partes interactúan y los modelos empíricos son formulados aplicando técnicas estadísticas a datos experimentales, para establecer la ecuación más satisfactoria que describa los datos; sin embargo, las diferencias entre modelos mecánicos y empíricos no son claras. En modelos fisiológicos de producción vegetal hay usualmente varios submodelos, algunos de los cuales pueden ser mecánicos y algunos empíricos (1). En la

a. Recibido para su publicación el 16 de Julio 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. Utah State University. Logan, Utah. 84322. USA.

práctica, los modelos mecanísticos hacen uso de funciones empíricas donde y cuando el conocimiento acerca de un proceso dado se desconoce (3).

Los pastos son cultivos importantes en el mundo, y sería útil tener la habilidad de predecir su crecimiento y rendimiento partiendo del conocimiento de datos ambientales y otros parámetros. Una aproximación mecanística mas que empírica a este problema tiene la ventaja que los parámetros del modelo son mas fisiológicos, por lo que sería más fácil percibir como el manejo del cultivo o las técnicas de mejoramiento podrían ser aplicadas para mejorar la eficiencia. (4).

El crecimiento de cualquier cultivo es un fenómeno dinámico que funciona como un mecanismo auto sostenido que responde a su ambiente y es dependiente del potencial genético del cultivo y de su manejo. Crecimiento y ambiente son fenómenos dinámicos y el manejo puede ser dinámico y discreto (5). Un modelo de crecimiento (5), sin definir con un nombre específico, fue evaluado con los pastos fescue (*Festuca arundinacea* L.) y bermuda (*Cynodon dactylon* L.) haciendo uso de una lógica matemática para combinar las relaciones entre crecimiento y temperatura del aire, longitud del día, área foliar, fotoperíodo y precipitación. El uso de ecuaciones lógico-matemáticas para simular crecimiento mostraron que el modelo no es limitado en la aplicación por sitio, cultivo y prácticas de manejo. El modelo ajusta la productividad de la planta con respecto a la temperatura máxima, mínima y óptima. Sin embargo, el área foliar se relaciona a rendimiento sin considerar la fisiología de la planta.

Un modelo mecanístico (4), también sin nombre específico, simuló el proceso de interceptación de luz, fotosíntesis, respiración, crecimiento y senescencia. El modelo fue aplicado para predecir el crecimiento de un pasto Ryegrass perenne (*Lolium perenne* L.), utilizando como variables de entrada la

temperatura del aire, radiación solar y número de horas luz. El modelo omitió el efecto de nutrientes y agua en el suelo, aunque incluyó las principales aproximaciones fisiológicas como la partición fija de carbono, senescencia y la restricción a crecimiento vegetal. Este último parámetro fue representado por un reciclaje de estructura a almacenamiento.

Un nuevo modelo de pastos incorporó la expansión del área foliar (6). Las mayores contribuciones de este modelo fueron la consideración del crecimiento vegetativo del pasto, el cual tiene tres hojas verdes por tallo, la materia verde superficial, la cual fue asumida que ocupaba cuatro etapas (hojas en crecimiento, primera hoja completamente expandida, segunda hoja expandida, y hojas en senescencia), y el material estructural sintetizado. Como resultado, el modelo fue sensitivo a los efectos estacionales de pastoreo y corte. También, el modelo fue una mejor consideración analítica del sistema. Aunque las simulaciones de crecimiento de pastos fueron presentadas para temperaturas del aire de 5, 10 y 15°C, ninguna validación del modelo con datos de campo fue informada. En otro trabajo, el efecto de pastoreo fue incluido en un modelo de crecimiento de pastos (7). El modelo fue apropiado para estudiar pastoreo debido a dos ventajas. La primera de ellas fue que el área foliar es tratada como una variable independiente y no está relacionada al peso del cultivo por una ecuación empírica. La consideración de senescencia es la segunda ventaja. Un atributo de este modelo fue su base matemática y biológica directa, debido al significado físico de un alto número de parámetros del modelo (2).

Una nueva extensión (8) de un modelo desarrollado previamente (6) agregó respuestas de nitrógeno y aplicación de fertilizante en un proceso dinámico como principales atributos. El submodelo de absorción de nitrógeno se asumió que tenía una dependencia positiva en las

concentraciones tanto del sustrato de carbón en la planta como del nitrógeno del suelo. Este modelo simple explicó claramente la respuesta del cultivo a la luz, temperatura y nitrógeno pero estuvo limitado por la ausencia de algún efecto de estrés hídrico. Un modelo previo de producción vegetal (SWA-CROP) fue adaptado para producción de pastos (3). El modelo requirió de algunas propiedades físicas del suelo, cultivo, y datos climáticos como entrada. El modelo fue dividido en dos partes, la primera parte (SWATRE) incluyó la transpiración actual y la distribución del contenido de agua en el suelo. La segunda parte fue el módulo de producción vegetal (CROPR) el cual calculó rendimientos de raíces, y materia seca aérea; sin embargo, el modelo no mostró habilidad para simular tasas de crecimiento y senescencia.

Una simulación (2) modificó algunos modelos de producción de pastos desarrollados previamente (8). Las modificaciones incluyeron la simulación de crecimiento de partes de las hojas, pastoreo, cosecha mecánica, la influencia del estrés hídrico y cambios por efecto de temperatura. El modelo se basó en el manejo de 20 variables. Ningún resultado acerca del comportamiento del modelo fue señalado.

Un modelo para crecimiento de pastos bajo un sistema de pastoreo (GRASIM) fue derivado tomando como base simulaciones previas (6). El modelo (9) se fundamentó en los balances de carbono, nitrógeno y agua en pastos; contó con cuatro módulos principales: balance de agua, crecimiento de pastos, transformación de nutrientes y cosecha.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar un modelo computacional que representara un mejor entendimiento del crecimiento de pastos y su interrelación con temperatura y agua del suelo, además de simular la duración de la época de crecimiento de los pastos.

## **MATERIALES Y METODOS**

El modelo de simulación usó como estructura básica un sistema de interrelación agua-suelo-planta, consistente de tres principales componentes: temperatura del suelo, crecimiento de pastos y balance del agua. Cada uno de estos componentes son resueltos usando diferentes algoritmos que dan significado físico a los resultados.

Las condiciones climatológicas diarias y las características del suelo definen límites superiores e inferiores del sistema para manejar su respuesta. El modelo usa intervalos diarios y requiere las siguientes variables de entrada: 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 de manejo del suelo y del cultivo deben ser especificadas para que el programa inicie con las simulaciones. El programa fue escrito en el lenguaje computacional Quickbasic.

## **RESULTADOS**

El logro de la investigación fue la conformación del programa de simulación PASTMOD (Pasture Modeling). El proceso conceptual del modelo es ilustrado en la Fig. 1 y el diagrama de flujo es descrito en la Fig. 2. PASTMOD empieza leyendo variables específicas del sitio y condiciones iniciales del cultivo y suelo, así como parámetros de manejo del cultivo. Las condiciones específicas iniciales son temperatura y humedad del suelo para las diferentes profundidades (3, 10 y 30 cm); conductancia del aire, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, fracción de arcilla y latitud del sitio. La temperatura mínima de suelo límite para el crecimiento de los pastos es también requerida para hacer decisiones

lógicas durante las simulaciones.

Las condiciones iniciales del cultivo requeridas para la aplicación del programa son: valores iniciales de índice de área foliar, pesos de crecimiento y almacenamiento, número de cortes, y/o períodos de pastoreo y la duración de cada uno de ellos durante la temporada. Las variables diarias del clima se leen desde un archivo de entrada, cuyos datos pueden estar en unidades del sistema inglés o internacional. PASTMOD crea cuatro archivos de salida con valores diarios de temperatura del suelo, crecimiento de pastos, balance de agua y computaciones intermedias, usando unidades en el sistema internacional. El Cuadro 1 proporciona un ejemplo de los archivos de salida creados por PASTMOD.

## DISCUSION

### Temperatura del Suelo

Las subpartes del proceso de simulación de temperatura del suelo son: predicción de la temperatura superficial del suelo (usada como condición límite superior), predicción de la conductividad térmica y calor específico del suelo (usadas en la estimación de las temperaturas del suelo para cada estrato), y almacenamiento de las nuevas temperaturas como condición inicial para el día siguiente.

### Temperatura Superficial del Suelo

Similarmente a lo informado por otros autores (10, 11), se usaron relaciones lineales para calcular la temperatura superficial, a partir de la temperatura máxima y mínima del suelo. Estas relaciones fueron obtenidas correlacionando temperatura del aire (variable independiente) y los valores medidos de temperatura superficial para los pastos Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.), Alta fescue (*Festuca arundinacea*), y Ryegrass perenne (*Lolium perenne* L.) en una investigación previa (12). Las temperaturas del suelo simuladas fueron usadas como condición límite superior para resolver la ecuación general de flujo de calor (13). Las ecuaciones de regresión obtenidas fueron:

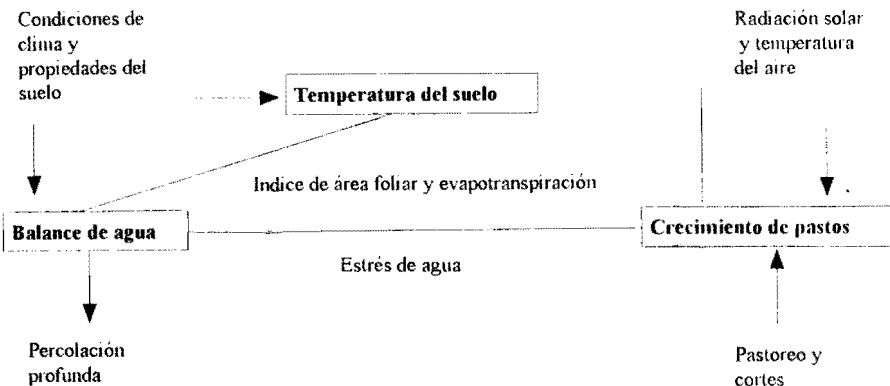
$$T_{skb} = -1.22 + 0.98T_a \quad R^2 = 0.96$$

$$T_{stf} = 2.47 + 0.75T_a \quad R^2 = 0.83$$

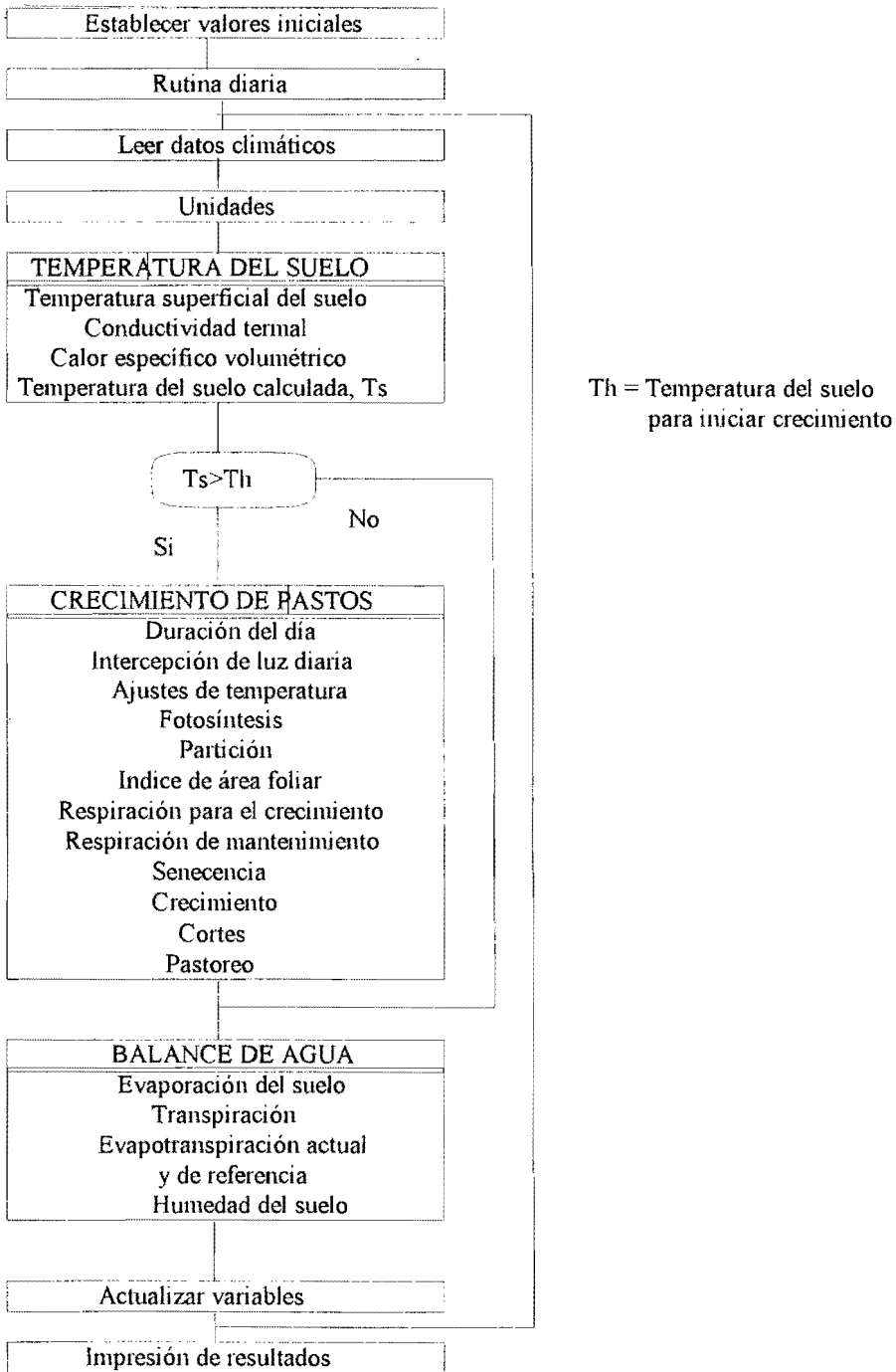
$$T_{spr} = -1.07 + 0.85T_a \quad R^2 = 0.91$$

donde  $T_s$  es la temperatura superficial promedio diaria; los subíndices kb, tf y pr denotan Kentucky bluegrass, Alta fescue, y Ryegrass respectivamente; y  $T_a$  es la temperatura promedio del aire.

**FIGURA1. PROCESO CONCEPTUAL DEL MODELO PASTMOD.**



**FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PASTMOD**



**CUADRO 1. EJEMPLO DE LOS ARCHIVOS DE SALIDA CREADOS POR PASTMOD.**

JD	TX	TN	MAXRH	MINRH	RAIN	WS	SR	ETr	TR	EO	ETA	SMC	DP
140	20.3	5.3	101.2	38.6	0.0	2.4	254.0	4.0	2.4	2.7	4.0	91.6	0.0
141	22.8	4.9	102.3	37.8	0.0	1.9	255.9	4.2	2.6	1.1	3.7	87.6	0.0
142	17.7	9.1	100.8	65.7	0.0	2.5	142.3	2.5	1.6	0.8	2.4	85.4	0.0
143	12.9	7.3	100.4	45.8	0.0	2.8	133.7	2.4	1.7	0.7	2.4	83.0	0.0
144	16.4	6.9	82.7	37.5	0.0	3.3	214.7	3.7	2.5	0.6	3.2	79.9	
145	16.2	6.9	100.6	48.7	0.0	1.9	192.5	3.2	1.9	0.6	2.4	77.4	

JD	TX	TN	TSX	TSN	TSA	ST03	ST10	ST30
140	20.3	5.3	22.1	2.3	9.8	9.8	9.4	8.5
141	22.8	4.9	23.9	1.9	10.7	10.7	10.2	9.0
142	17.7	9.1	20.3	6.0	10.3	10.3	10.0	9.1
143	12.9	7.3	16.9	4.3	7.5	7.5	7.7	8.2
144	16.4	6.9	19.4	3.9	8.8	8.8	8.7	8.3
145	16.2	6.9	19.2	3.9	8.8	8.8	8.6	8.3

JD	STORAGE	STRUCTURAL	TOTAL	GROWTH RATE	LAI
140	0.147	0.840	0.987	0.021	1.78
141	0.150	0.861	1.011	0.024	1.87
142	0.138	0.881	1.019	0.008	1.95
143	0.137	0.889	1.026	0.007	2.00
144	0.146	0.901	1.047	0.021	2.06
145	0.151	0.914	1.065	0.018	2.12

JD=día del año  
 TX=Temperatura máxima del aire C  
 TN=Temperatura mínima del aire C  
 MAXRH=Humedad relativa máxima %  
 MINRH=Humedad relativa mínima %  
 RAIN=Precipitación mm  
 WS=Velocidad de viento m/s  
 SR=Radiación solar total W/m<sup>2</sup>  
 ETr=Evapotranspiración de referencia mm/  
 Tr=Transpiración mm/día  
 Eo=Evaporación del suelo mm/día  
 ETA=Evapotranspiración actual mm/día  
 SMC=Por ciento de humedad en el suelo %  
 DP=Percolación profunda mm/día

TSX=Temperatura máxima de la superficie C  
 TSN=Temperatura mínima de la superficie C  
 TSA=Temperatura de la superficie del suelo C  
 ST03=Temperatura del suelo a 3 cm de profundidad C  
 ST10=Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad C  
 ST30=Temperatura del suelo a 30 cm de profundidad C  
 STORAGE=Materia seca almacenada ton carbón/ha  
 STRUCTURAL=Materia seca en estructura ton carbón/ha  
 TOTAL=Materia seca total ton carbón/ha  
 GROWTHRATE=Tasa de crecimiento ton carbón/ha/día  
 LAI=Índice de área foliar

**Calor Específico y Conductividad Térmica del Suelo**

El calor volumétrico específico fue calculado para cada estrato de suelo, ignorando la contribución del aire del suelo a su capacidad de calor y asumiendo intrascendente el efecto del contenido de materia orgánica en el suelo. Obviamente que en un suelo orgánico este supuesto carece de fundamento y tiene que considerarse. Los valores de la capacidad

específica volumétrica del agua y suelo fueron tomados como 4.18 y 2.39 MJ m<sup>-3</sup> °K<sup>-1</sup> respectivamente (13). La conductividad termal fue empíricamente determinada para cada estrato de suelo siguiendo las relaciones propuestas por Campbell (14).

**Proceso**

Las temperaturas del suelo son calculadas a través de un sistema vertical entre la condición límite superior (temperatura

superficial del suelo) y las condiciones del suelo (humedad y temperatura) en la condición límite inferior. Un sistema de estratos o láminas se establece a través del perfil del suelo en el que estos son manejados como nodos individuales. Las temperaturas del suelo son simuladas para diferentes profundidades después de que el contenido de humedad en el suelo ha sido actualizado por el componente de balance de agua.

La profundidad de los estratos del suelo son determinados usando una progresión geométrica (13), la cual permite elementos más someros cerca de la superficie del suelo y de más grosor en estratos profundos. Esto es debido a que cambios más rápidos en la temperatura del suelo son esperados cerca de la superficie, y menos a estratos más profundos.

La ecuación unidimensional de flujo de calor es usada para calcular valores en el perfil de temperatura del suelo. Este paso se repite cada día de la época de crecimiento. Se escogió un intervalo diario considerando la clase de proceso simulado (producción de biomasa en pastos). El mayor detalle fue obtener el cambio en la biomasa de pasto en función del tiempo (día a día). El intervalo diario para las simulaciones fue un buen indicador de la escala de tiempo natural en la cual los procesos ocurren para una temporada completa de crecimiento (> 210 días). Ejemplos de tipos de modelos como sucesión, ecosistemas, químicos usaron una rutina diaria (15).

#### Solución numérica

La ecuación de flujo de calor en el suelo es resuelta para cada estrato en el perfil del suelo. La ecuación es expresada en diferencias implícitas finitas para cada nodo. Las ecuaciones son resueltas usando la técnica de iteraciones Newton-Raphson. Las aproximaciones de diferencias finitas permiten la representación del balance de calor de cada estrato en términos de la

temperatura del suelo al inicio y final del intervalo dado (días, horas, etc.).

#### Temperatura del suelo límite

El promedio de temperatura del suelo de cinco días consecutivos a 10 cm de profundidad es comparado con la temperatura mínima límite para el crecimiento. La temperatura límite considerada es de 5.5 C (12). Si la temperatura límite es alcanzada, se asumen condiciones de suelo favorables para el inicio del crecimiento de pastos y de la temporada de crecimiento. Por el contrario, si la temperatura límite no es superada, el programa evita el componente de crecimiento de pastos y va directamente al componente del balance de agua.

La consideración de este concepto en PASTMOD fue una ventaja que permite simular el inicio y término de la etapa de crecimiento de pastos en regiones con invierno definido (12) y que a diferencia de otros programas (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) no se muestran.

#### Componente del Crecimiento de Pastos

Modelos previos (6, 7) fueron usados como base para simular el crecimiento de pastos. Estos modelos tienen como virtudes remarcables el incluir la expansión del área foliar tratada como una variable independiente, incorporar el proceso de senescencia como parte de la fisiología del pasto y agregar funciones de pastoreo y alimentación del ganado. Los modelos también incluyen la simulación de actividad fotosintética y funciones generales de crecimiento. Una desventaja de estos modelos es que asumen que el cultivo no experimenta estrés debido a baja humedad en el suelo. También, estos modelos no han sido previamente evaluados en condiciones de humedad adversas durante una temporada completa de crecimiento de pastos.

## Fotosíntesis

La simulación de la actividad fotosintética incluye cuatro subrutinas que determinan la duración del día, la tasa bruta máxima fotosintética de una hoja, la luz integral diaria, y la tasa fotosintética diaria sobre la vegetación, para una duración determinada del día. La duración del día es estimada usando algoritmos del CRSPM (16) tomando como base el día del año. La estimación de la duración del día es una de las modificaciones al modelo de crecimiento de pastos original, ya que en modelos anteriores (6) se definió duración del día como una variable externa conocida a lo largo de la temporada de crecimiento. La tasa bruta máxima fotosintética es calculada usando el procedimiento matemático de relacionar crecimiento con fotosíntesis (17), en tanto que la fotosíntesis es obtenida a través de la integración analítica de las variables de duración del día y vegetación (6).

## Ecuaciones diferenciales

El resumen matemático del componente de crecimiento de pastos incluye un sistema de 13 ecuaciones diferenciales (7), las cuales son resueltas por un proceso numérico que trabaja simultáneamente. La solución al sistema de ecuaciones diferenciales involucra funciones específicas las cuales satisfacen las ecuaciones diferenciales. El método de cuarto orden de Runge-Kutta (15) fue usado para solucionar el sistema particular de ecuaciones diferenciales dadas en este componente.

## Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento,  $dw/dt$  (kg carbon  $m^{-2} d^{-1}$ ) es estimada usando la ecuación de balance total de masas dada por:

$$\frac{dw}{dt} = P - R_g - R_m - S$$

donde P es fotosíntesis,  $R_g$  es energía

utilizada para el crecimiento,  $R_m$  es energía para el mantenimiento de la estructura vegetal, y S es senescencia.

## Componente del balance de agua

Este componente involucra tres pasos principales, estimar la evapotranspiración de referencia para la alfalfa, la evaporación del suelo y la transpiración, y el contenido de humedad en el suelo. Además, se incluye la determinación del factor de estrés de humedad en el suelo, a diferencia de otros modelos (1, 4, 6, 7, 8). La evapotranspiración de referencia fue calculada siguiendo la versión 1982 de Kimberly Penman (17), que asume la radiación neta como variable conocida. La evaporación del suelo y la transpiración fueron simuladas adaptando algoritmos (12) para sorgo y soya (19).

Para simplificar el balance de agua, el perfil del suelo fue dividido en dos estratos (superior e inferior) cuyo grosor es uno de los datos modificables de entrada al programa. Por diseño, el programa coloca un grosor de 50 mm al estrato superior, y 550 mm al inferior. Algunas de las consideraciones en las que se basa este componente, son que el escurrimiento superficial es minimizado, y que las láminas de precipitación y/o riego ocurridas durante el día son agregadas en el contenido de humedad en el estrato superior del suelo.

Como ya se mencionó, modelos propuestos en el pasado (6, 7) no incluyeron el efecto de deficits de agua en el suelo. Esto es difícil de evitar en un campo irrigado en toda la época de crecimiento, y es por esto que en PASTMOD las simulaciones diarias de crecimiento son afectadas por un factor de estrés de humedad en el suelo, el cual viene del componente del balance de agua. Adicionalmente, PASTMOD tiene la capacidad de simular el inicio y el final de la época de crecimiento de los pastos, lo cual se convierte en una herramienta valiosa en lugares con climas templados o fríos.

Se concluye que PASTMOD es un programa



de simulación con base matemática-fisiológica desarrollado para predecir los efectos de las condiciones ambientales, prácticas vegetativas y de manejo animal sobre el crecimiento de pastos en intervalos diarios. Lo anterior permite la simulación de resultados en un ciclo de pastos completo, manifestandose los cambios diariamente. PASTMOD debe ser validado con observaciones de campo para comparar y verificar sus predicciones de temperatura del suelo, crecimiento de pastos y balance de agua en el suelo, hacer los ajustes procedentes en la lógica del programa y conocer la sensibilidad de su respuesta. Por otro lado, se sugiere el mejoramiento del programa incluyendo la simulación de la respuesta productiva de la combinación gramínea-leguminosa en diferentes escenarios.

Aunque PASTMOD fue creado para objetivos específicos, la estructura del programa es lo suficiente versátil para ser aprovechado en otras aplicaciones entre las que se incluye los efectos de niveles de riego o del manejo de pastos y animales sobre la producción de los pastos.

## PASTMOD, A MODEL TO SIMULATE SOIL TEMPERATURE, GRASS GROWTH AND SOIL WATER BALANCE

### SUMMARY

The general objective of this research was to develop a simulation model to represent a better understanding of grass growth and its interrelationships with soil temperature and soil moisture, and to predict the length of the growing season. The result was the development of the PASTMOD (Pasture Modeling) simulation model. PASTMOD uses as basic structure a soil-water-plant interrelationship, which consists of three main components: soil temperature, grass growth and water budget. Each of these components are solved using different algorithms to give physical meaning to the component outputs. Daily weather and soil conditions define upper and lower boundaries for the system, to drive its response. The model uses daily time steps and requires as inputs, daily values of higher and lower air temperature, higher and lower relative humidity, rain and/or irrigation depths, solar radiation, and wind speed. Initial soil, crop and managements conditions must be specified when the program starts. The computer program was written in QuickBASIC. PASTMOD is a dynamic computational program with physiological basis

that represents soil, weather, and plant aspects to simulate grass growth. In addition, the simulation model is versatile such that can be used in other practical applications including irrigation management and grazing.

**KEY WORDS:** Simulation model, Grass growth, Soil temperature, Water budget, Evapotranspiration.

### REFERENCIAS

1. Sheehy J E, Johnson I R. Physiological models of grass growth. In: Jones M B, Lazenby A. (eds.) The grass crop. The physiological basis of production. England, 1988; 243-276.
2. Buckmaster D R. A physiologically-based grass growth model. In: Proc. of the 1991 International Winter Meeting. ASAE, Chicago, Illinois, USA, 1991; 457-547.
3. De Jong R, Kabat P. Modeling water balance and grass production. Soil Sci. Soc. Am. J. 1990; 54:1725.
4. Johnson I R, Ameziame T E, Thornley J H M. A model of grass growth. Ann. Bot. 1983; 51:599.
5. Smith E M, Loewer O J. Mathematical logic to simulate the growth of two perennial grasses. Transactions, ASAE, 1983; 26:878.
6. Johnson I R, Thornley J H M. Vegetative crop growth model incorporating leaf area expansion and senescence, and applied to grass. Plant, Cell and Environment, 1983; 6:721.
7. Johnson I R, Parsons A J. A theoretical analysis of grass growth under grazing. J. Theor. Biol. 1985; 112:345.
8. 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.
9. Mohtar R, Buckmaster D, Fales D. A model for grass growth under grazing system. In: Proc. of the 1994 Winter Meeting, ASAE, Atlanta, Georgia, USA, 1994; 67.
10. Parton W J. Predicting soil temperatures in a shortgrass steppe. Soil Sci. 1984; 188:93.
11. 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.
12. 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.
13. DeVries D A. Thermal properties of soils. In: VanWijk W R, (ed.) Physics of plant environment. Amsterdam, The Netherlands, 1963; 43-65.
14. Campbell G S. Soil physics with basics. Ed. Campbell G S. (ed.) Transport models for soil-plant systems. Amsterdam, The Netherlands, 1992; 26-39.
15. Swartzman G L, Kaluzny S P. Coding linear models. Ed: G L Swartzman (ed.) Ecological simulation primer. Washington, D.C. USA, 1987; 45.
16. Hill R W. Crop growth and irrigation scheduling model. In: Hill R W (ed.) Field and water management class notes Utah State University, Logan, Utah, 1992; 23.
17. Charles-Edwards D A, Accock B. Growth response of a *Chrysanthemum* crop to the environment II. A mathematical analysis relating photosynthesis and growth. Ann. Bot. 1977; 41:49.
18. Wright J L. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 1992; 108: 57.
19. Kanemasu E T, Stone L R, Powers W L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. Agron. J. 1976; 68: 239.