

MODELO DE CRECIMIENTO DE BALLICA ITALIANA Y TREBOL ROSADO EN EL SECANO DE LA IX REGION¹

A growth model for the mixture of Italian ryegrass and red clover in the dryland of the IX Región

Adrián Catrileo S.²

SUMMARY

A simulation model describing the growth of a short-rotation pasture for the mixture of Italian ryegrass and red clover is presented. The model considers carbon flow and the water-soil balance to describe dry matter accumulation of the pasture.

The model is deterministic and dynamic with processes described with time steps of one day. Daily total carbon dioxide assimilation, leaf area index, respiration, growth efficiency, carbohydrates partitioning, temperature effect and senescence are the main factors considered to predict system's behaviour. Actual daily growth is adjusted according to the relationship between actual and potential transpiration resulting from the availability of water in the soil. Daily data of rainfall, Pan evaporation and mean air temperature are inputs of the model.

Results of the model compared with field experiments over two seasons, show that the model is capable to predict reasonably daily growth rates of the forage mixture, although the degree of prediction is lower in extreme dry conditions.

Key words: simulation models, photosynthesis, short rotation pasture, water balance.

INTRODUCCION

Gran parte de los estudios en forrajeras han sido enfocados al establecimiento y utilización de praderas artificiales, por ser éstas las que, en el corto plazo, entregan una alta producción por unidad de superficie. Entre este tipo de praderas, aquellas especies de característica anual y bianual han recibido recientemente mayor atención, debido a sus aptitudes productivas para pastoreo así como conservación (Romero, 1989). El éxito de la asociación de ballica Italiana y trébol rosado ha sido reconocida en diversos trabajos. Spedding y Diekmahns (1972) destacan la complementación de ambas especies; la capacidad del trébol rosado de fijar nitrógeno atmosférico y suministrarlo a la gramínea acompañante y cultivos posteriores, es resaltada por Bowley, Taylor y Dougherby (1984). Frame (1976) indica una productividad de la mezcla de 16 ton m.s./ha, y en el sur de Chile, Teuber, Bernier y Goic (1981) señalan producciones similares. Una ventaja adicional de esta pradera de rotación corta es que puede formar parte de sistemas de producción mixtos como un componente integrado a la rotación con cereales.

Como alternativa a la investigación tradicional, los modelos matemáticos constituyen un complemento en la síntesis, integración y análisis de sistemas de producción.

Modelos de simulación, han sido descritos en varios estudios (Cañas, Aguilar y Catrileo, 1982; Silva, Mansilla y Jahn, 1987), como una forma de integrar conocimientos del complejo sistema suelo-planta-animal.

Existen pocos trabajos, sin embargo, en los cuales el énfasis haya sido puesto en la simulación del crecimiento de la estrata herbácea. Santibañez y otros (1976), presentan un modelo que describe la productividad primaria de la pradera mediterránea anual. En alfalfa, Montenegro y otros (1983), simularon crecimiento para determinar parámetros tanto de la planta como del medio ambiente que influyen en la productividad neta de esta forrajera.

El objetivo de este artículo es presentar un modelo de simulación de crecimiento de la mezcla ballica Italiana y trébol rosado, el cual, junto con integrar conocimientos, permita sintetizar información que posteriormente pueda ser utilizada en el desarrollo de modelos ganaderos, para el análisis de distintas alternativas de manejo y priorizar líneas de investigación.

¹Recepción de originales: 6 de febrero de 1991.

²Estación Experimental Carillanca (INIA), Casilla 58-D, Temuco, Chile.

DESCRIPCION DEL MODELO

En términos generales, los modelos de crecimiento de forraje pueden ser clasificados de acuerdo al nivel de conocimiento al cual es descrito el sistema. Así, algunos estudios han dado mayor énfasis a procesos fisiológicos de la planta y su relación con el medio ambiente (Sheehy, Cobby y Ryle, 1979; Johnson y Thornley, 1983); otros trabajos han abordado el problema a un nivel más agronómico, en que han sido analizadas relaciones del medio ambiente y la acumulación de materia seca (Brockington, 1971).

El presente modelo, es intermedio, por cuanto integra procesos básicos, como fotosíntesis, respiración y senescencia de la planta, así como el efecto del medio ambiente (clima y suelo) sobre la producción de materia seca de la mezcla forrajera. Es un modelo de simulación determinístico y dinámico (France y Thornley, 1984), con descripción de procesos a intervalos de 1 día. El modelo es un subcomponente de un sistema más general que ha

sido presentado en detalle en otra publicación (Catrileo, 1990).

Diagrama de flujo

En la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo con los componentes más relevantes del sistema. El diagrama permite hacer una síntesis de la realidad y presentar interacciones entre los componentes del sistema. En él pueden distinguirse dos componentes: el flujo de agua en el sistema y el flujo de carbono, que en conjunto, conducen a la producción de materia seca del sistema.

Las variables de estado del modelo corresponden a la cantidad de hojas, tallos y material muerto de la mezcla forrajera, todos ellos expresados en kilos de materia seca por hectárea.

FLUJO DE CARBONO

Fotosíntesis. En el modelo, la asimilación de dióxido de carbono por las plantas es calculada de

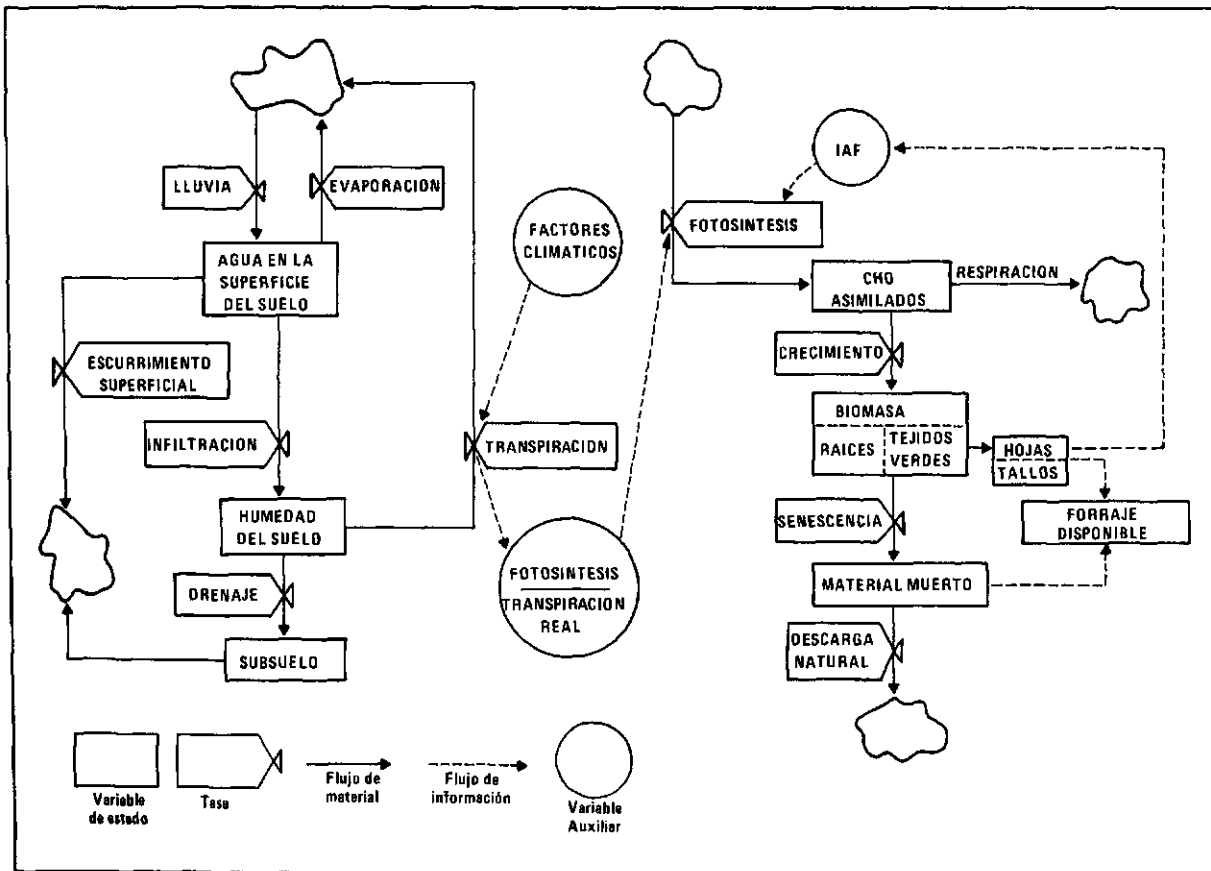


FIGURA 1. Diagrama de flujo del sistema.

FIGURE 1. Flow diagram of the system.

acuerdo con la metodología propuesta por Goudriaan y van Laar (1978) El cálculo está basado en una respuesta hipérbola-rectangular de la hoja a la luz y a una distribución exponencial de radiación hacia el interior de las plantas. Conociendo el tipo de planta, latitud, y la fracción nublada del día, pueden ser calculados los valores de asimilación máxima ASIM (kg CO₂/ha/día) acorde a lo presentado por Goudriaan y van Laar (1978). En el modelo, la asimilación total, es obtenida de acuerdo con la siguiente relación:

$$ASIM_t = FN \times ASN_t + (1-FN) \times ASC_t \quad (1)$$

donde:

t = 1 día;

ASIM = asimilación máxima, kg CO₂/ha/día;

FN = fracción nublada del día;

ASN = tasa de asimilación en días completamente nublados, kg CO₂/ha/día;

ASC = asimilación de CO₂ en días completamente despejados, kg/ha/día.

La fracción nublada del día (FN) es calculada a partir de la relación entre radiación real medida (Ha, MJ/m²/día) (Cuadro 1), y la radiación potencial en día despejado (Hg, MJ/m²/día) (de Wit, 1965). Así:

$$FN = (Hg - Ha) / (Hg - 0,2 \times Hg) \quad (2)$$

Para transformar a carbohidratos, la tasa de asimilación total ASIM, es multiplicada por el cociente entre los pesos moleculares de CH₂O y CO₂, siendo la fotosíntesis total expresada en cantidad de carbohidratos absorbidos CASIM (kg CH₂O/ha/día), de forma que:

$$CASIM_t = (ASIM_t \times 30/44) \quad (3)$$

Índice de Área Foliar. La cantidad de carbohidratos finalmente asimilados, depende de la estructura de la cubierta vegetal y más exactamente, de la relación entre el área de hojas que cubre una determinada área de suelo o índice de área foliar (IAF) y de la radiación interceptada por la planta. Dividiendo la superficie en hectárea, expresada en m², el valor de IAF en cualquier día es obtenido como,

$$IAF = (HOJ_t \times SLA) / 10.000 \quad (4)$$

donde:

HOJ = peso de las hojas, kg m.s./ha;

SLA = peso específico de la hoja (m²/kg), que se asume constante para la mezcla y con un valor de 20 (van Keulen y otros, 1982).

CUADRO 1. Radiación global total (Hg, MJ/m²/día) en día despejado y radiación global medida (Ha, MJ/m²/día) en el área de estudio en la latitud 38° Sur

TABLE 1. Total global radiation (Hg, MJ/m²/day) on clear day and measured global radiation (ha, MJ/m²/day) on the site, 38° S latitude

Mes	Hg ¹	Ha ²
Enero	33,72	24,72
Febrero	30,14	21,25
Marzo	24,28	16,91
Abril	17,71	11,59
Mayo	12,34	6,40
Junio	10,02	5,58
Julio	11,13	6,12
Agosto	15,54	9,21
Septiembre	21,39	13,39
Octubre	27,91	16,80
Noviembre	32,46	21,43
Diciembre	34,30	24,37

¹Adaptado de van Heemst (1986).

²Promedio 10 años. Agrometeorología. Estación Experimental Carillanca (INIA).

La radiación solar cambia de acuerdo a una curva estacional que depende de la latitud, y la intercepción de radiación por la planta, a su vez, es función del desarrollo del cultivo y del coeficiente de extinción de la luz (k). Pearson e Ison (1987) indican que las gramíneas, en las cuales k puede tener un valor cercano a 0,3, requieren un IAF más alto para interceptar completamente la radiación que las leguminosas, en las cuales k puede tener valores entre 0,7 y 0,9. Bowley y otros (1984), para trébol rosado, señalan un k = 1,0 el que cambia con el desarrollo de la planta. En el modelo se asume k = 0,5 y la fracción de luz interceptada por la pradera (FLU) puede calcularse como:

$$FLU = 1,0 - \text{EXP}^{-k \times IAF(t)} \quad (5)$$

Brougham (1956), en estudios con praderas de rotación corta, demostró que tanto la intercepción de luz y la tasa de crecimiento diario aumentan hasta un valor "crítico" de IAF, encontrando, además, un IAF óptimo de 4,5 para praderas mixtas (75% gramíneas). En el modelo, se asume que el IAF máximo de la mezcla, alcanza al valor de 4,5, sugerido por Brougham (1956).

La cantidad total de carbohidratos asimilados por la planta CARB (kg CH₂O/ha/día), resulta, finalmente, de aplicar la fracción de luz interceptada FLU a la asimilación potencial (CASIM); luego:

$$CARB_{(t)} = CASIM_{(t)} \times FLU \quad (6)$$

Respiración y crecimiento

El proceso de respiración entrega la energía requerida por los componentes verdes de la planta para mantener sus funciones fisiológicas. Parte del carbón fijado en la forma de azúcares, es respirado y el resto, es el carbón incorporado en biomasa. En el modelo, el requerimiento de mantención es representado en masa de azúcar a una tasa de 0,015 kg CO₂/kg/día para el material verde presente (Sheehy y otros 1979; Johnson y Thornley, 1983). En trébol rosado, Golovko y Semikhatova (1980) indican valores de mantención de 0,01 y 0,020 kg CO₂/kg/día, dependiendo del estado fenológico de la planta. Después que los costos de respiración de mantención son deducidos, el excedente de carbohidratos es convertido en biomasa estructural con un factor de eficiencia de 0,75 (Johnson y Thornley, 1983).

Distribución de carbohidratos. El total de carbohidratos disponibles para crecimiento, corregidos por el factor de eficiencia, producen el aumento en materia seca diario de la planta. Este aumento en biomasa es dividido, en el modelo en dos componentes: material cosechable y raíces.

Factores tales como el efecto del medio ambiente y estado fenológico de la planta y la especie, influyen en el reparto de carbohidratos hacia hojas, tallos y raíces. Estudios en mezclas de ballica Italiana y trébol rosado realizados en el sur de Chile, muestran que la ballica es dominante de la composición botánica en los dos años de producción (Teuber y otros, 1981) y por simplificación, se asumió, en el modelo, que el reparto de carbohidratos es determinado principalmente por el componente gramínea. Así, de los productos de la fotosíntesis disponibles para crecimiento, un 10%, se asume, es repartido a crecimiento y mantención de raíces (Johnson, Ameziane y Thornley, 1983) y el resto, queda disponible para material cosechable. De éste se asume que un 70% corresponde a crecimiento de hojas y el resto a tallos (Johnson y Thornley, 1983) y la cantidad real de ambos componentes, en kg de materia seca por hectárea por día, son calculados después de ajustar esta tasa de crecimiento potencial por el efecto de temperatura del medio ambiente (TI).

Efecto de la temperatura en la tasa de crecimiento. A partir de la evidencia que praderas de clima templado tienen un óptimo de temperatura en el rango 20 a 25 °C y que algo de crecimiento ocurre bajo 5 °C, Smith y Stephens (1976) derivaron una función para este rango (Figura 2) y que puede ser descrita por la siguiente relación:

$$TI = \text{EXP} - \left[\frac{(TEM - 19,08)^2}{100,19} \right] \quad (7)$$

donde:

TI (0 < TI < 1) = índice de temperatura;
TEM = promedio diario de la temperatura del aire, °C.

La tasa real de crecimiento de hojas (HOJ, kg m.s./ha/día) y tallos (TA, kg m.s./ha/día) es determinada, finalmente, corrigiendo la tasa potencial por el índice de temperatura.

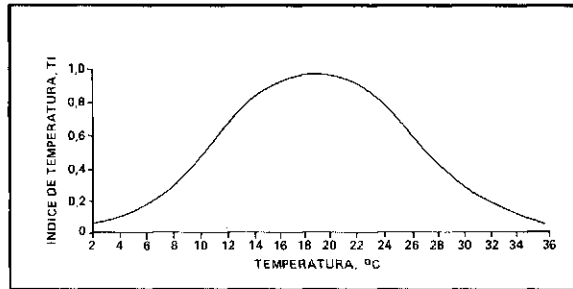


FIGURA 2. Índice de temperatura (TI) usado en el modelo.

FIGURE 2. Temperature Index (TI) used in the model.

Senescencia y descarga del sistema. Información respecto de la proporción de la mezcla que dinámicamente muere cada día, es escasa. Es muy probable que la tasa de senescencia sea sensible a la temperatura y aumente en condiciones de déficit de agua en el suelo (Bowman y otros, 1982). Hay evidencia, también, de que la tasa de senescencia de hojas por unidad de superficie aumentaría linealmente con la cantidad de biomasa (Bircham y Hodgson, 1983). En definitiva, diferentes enfoques han sido propuestos en estudios de simulación (Johnson y Thornley, 1983; Johnson y otros, 1983; Doyle, Baars y Bywater, 1989), como un forma de representar el proceso.

En trabajos con ballica Italiana, Hunt y Brougham, (1966) encontraron que el número de hojas por macolla permanecía casi constante en el invierno y con una vida media de las hojas entre 28 y 55 días.

Dada la complejidad del proceso de senescencia y como una primera aproximación, en el modelo se asume que, en invierno, cada 35 días ocurre sólo senescencia de hojas. En primavera, en cambio, y debido a que existe un aumento de la temperatura ambiente y comienza a influir la falta del agua en el suelo, se aplica una tasa diaria de senescencia a hojas y tallos. La constante de proporción, asumida en ambas situaciones, es 0,027 (Sheehy, Cobb y

Ryle, 1980). El material senescente es transferido a una variable de estado denominada material muerto (DEA, kg m.s./ha/día), la cual, día a día cambia de acuerdo con:

$$DEA_{(t)} = DEA_{(t-1)} + SEI \times HOJ_{(t)} + SEs \times TA_{(t)} - DEC_{(t-1)} \quad (8)$$

donde:

SEI y SEs = proporciones de pérdidas diarias de hojas y tallos, kg m.s./ha/día.

La tasa de descarga natural del sistema (DEC, kg m.s./ha/día), que fluye desde el material muerto y que finalmente desaparece, es considerada también como una proporción diaria de la cantidad de material muerto presente, asumiéndose, en el modelo, la tasa de 0,025 para estos efectos (Lantinga, 1985), así, en el modelo, DEC se calcula como:

$$DEC = 0,025 \times DEA_{(t)} \quad (9)$$

Forraje disponible. Tanto el material verde como el seco o muerto (kg m.s./ha/día) es acumulado en un nivel de materia seca disponible por hectárea, para su posterior uso en pastoreo o conservación, de forma que,

$$FD_{(t)} = FD_{(t-1)} + HOJ_t + TA_t + DEA_t \quad (10)$$

donde:

FD = forraje disponible, kg m.s./ha/día.

FLUJO DE AGUA EN EL SISTEMA

La falta de lluvia en el período estival, es un fenómeno común en la IX Región, constituyéndose en un factor limitante para el desarrollo y crecimiento normal de praderas y cultivos.

El proceso de dinámica del agua en el sistema suelo-planta puede ser modelado a diferentes niveles de complejidad, desde modelos de simulación continuos a simulaciones más simples. En este modelo, basado en van Keulen (1986), se usó un método intermedio.

Se asume que el suelo tiene una profundidad de 100 cm y que el agua puede distribuirse homogéneamente en este horizonte. La cantidad de agua que llega al suelo depende de la intensidad de lluvia menos el agua que escurre superficialmente. A partir de registros de la Estación Meteorológica de la Estación Experimental Carillanca (E.A.E.C.), en el modelo, se incorporan datos diarios de lluvia, evaporación y temperatura media. La cantidad neta

de agua que ingresa al suelo o infiltración (INF, mm/día), se calcula restando a la lluvia diaria, el escurrimiento superficial (RO, mm/día).

En la zona, no existen estudios sobre pérdidas de agua debido a escurrimiento. Dado que en la IX Región existe una fuerte concentración de lluvia en invierno, en el modelo se asume que precipitaciones sobre 50 mm/día, aunque esporádicas (E.A.E.C.), se asocian a un 15% de pérdida por escurrimiento por la superficie. Así, si la cantidad de lluvia es superior a 50 mm por día, entonces,

$$\begin{aligned} RO &= LLUVIA \times 0,15 \\ INF &= LLUVIA - RO \end{aligned} \quad (11)$$

El agua que infiltra en el suelo se agrega al contenido de agua presente en la zona de las raíces ARA (mm/día) y que se define como la cantidad de agua que las raíces captan del perfil del suelo una vez que profundizan y que es función de la tasa de crecimiento de las raíces, CRA (mm/día), el contenido de agua disponible en el perfil del suelo ADS, (mm), la profundidad potencial de las raíces PRA (mm) y la capa de suelo sin raíces que se produce entre la profundidad máxima del perfil y aquella que efectivamente es alcanzada por las raíces PROF (mm). De esta forma:

$$ARA = (ADS \times CRA) / (PRA - PROF) \quad (12)$$

Así, el nivel del agua en el suelo (BAL, mm/día), se describe, por la siguiente relación:

$$BAL_{(t)} = BAL_{(t-1)} + INF_t + ARA_t - EA_t - T_t \quad (13)$$

donde:

EA = evaporación desde el suelo, mm/día;
T = transpiración real de la planta.

Finalmente, el contenido de agua en la zona de las raíces HUM (cm³/cm³), diariamente se calcula como:

$$HUM_{(t)} = HUM_{(t-1)} + BAL_{(t)} / PROF_{(t)} \quad (14)$$

donde:

PROF = profundidad de las raíces, mm.

Evapotranspiración y déficit de agua. La evapotranspiración es definida como la humedad perdida por transpiración por la planta y por la evaporación desde el suelo. En el modelo, la evapotranspiración potencial (ETO, mm/día) es estimada multiplicando evaporación de bandeja (Pan) por 0,85, factor sugerido para praderas mixtas (Slayer

y Mc Ilroy, 1961). En ausencia de plantas, se asume que la evaporación máxima desde el suelo EM, es igual a ETO. Con el desarrollo de la biomasa, EM es siempre menor que la potencial, debido al efecto de sombra de la vegetación, estimada como la fracción complementaria de la intercepción de luz por el cultivo (van Keulen, 1986):

$$EM_{(t)} = ETO_{(t)} \times (1 - FLU) \quad (15)$$

La evaporación real, EA, se obtiene de la humedad promedio contenida en la zona de las raíces (van Keulen, 1986). El mismo autor sugiere que EA puede ser reducida por efecto de una delgada capa de aire CASU (cm^3/cm^3) que se forma en la superficie del suelo y cuyo contenido de agua puede ser asumido como un tercio del valor de punto de marchitez permanente, PMP. Así, la evaporación real, se puede calcular:

$$EA = EM \times (\text{HUM} - \text{CASU}) / (\text{ACC} - \text{CASU}) \quad (16)$$

donde:

ACC = contenido de agua en el suelo a capacidad de campo, cm^3/cm^3 .

La transpiración máxima de la pradera (TM, mm/día) depende del grado de superficie vegetal expuesta a la atmósfera. En el modelo, TM se calcula tomando en consideración el efecto de sombreado de la vegetación, usando para ello el coeficiente de intercepción de luz, FLU, entonces:

$$TM_{(t)} = ETO_{(t)} \times FLU$$

Se asume que la transpiración real de la pradera T, no excede TM y también que las plantas pueden crecer a su potencial si otros nutrientes se encuentran en suministro óptimo y si existe adecuada humedad en el suelo.

Datos climáticos de la zona, indican que existe humedad adecuada desde temprano en otoño hasta primavera. En el modelo, se asume que en condiciones de capacidad de campo existe suficiente agua para el crecimiento de la praderas y que toda el agua, por sobre ACC, sale del sistema en la forma de drenaje.

La falta de agua en períodos de crecimiento vegetal incide en procesos fisiológicos y, como resultado, en la producción de materia seca de la praderas.

Las plantas comienzan a detener su tasa de transpiración cuando la humedad aprovechable es menor a una succión específica crítica (SCR, cm^3/cm^3) (Figura 3), que se define como aquel contenido de

agua entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente y que depende de características de la planta, suelo y demanda evaporativa (Denmead y Shaw, 1962). Por otra parte, Doorembos y otros (1978) sostienen que el cierre de estomas por la planta en situaciones de estrés hídrico, es influido por un factor "p" ($0 < p < 1$) que depende del tipo de cultivo y la tasa de transpiración máxima.

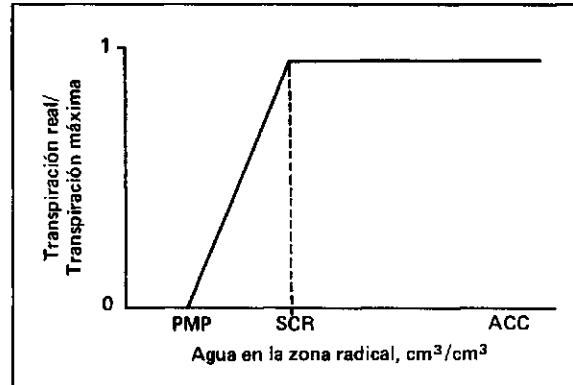


FIGURA 3. Efecto relativo del suministro de agua en la pradera asumido en el modelo.

FIGURE 3. Relative effect of water supply to the pasture as assumed in the model.

Estudios de riego, han establecido diferentes valores de p para grupos de cultivos y forrajeras (Doorembos y otros, 1978).

De esta forma, en el modelo, el valor de SCR es calculado en función de p, de forma que:

$$SCR = (1-p) \times (\text{ACC} - \text{PMP}) + \text{PMP} \quad (17)$$

Determinada la transpiración potencial, la humedad aprovechable HUM (cm^3/cm^3) se calcula a partir de la ecuación de balance de agua (Ecuación 13). Si el contenido de humedad en la zona de las raíces es menor que el valor crítico (SCR), entonces se asume que la transpiración real es menor que la potencial o máxima, de acuerdo a:

$$T_t = TM_t \times (\text{HUM}_t - \text{PMP}) / (\text{SCR}_t - \text{PMP}) \quad (18)$$

Así, la asimilación real ASRE ($\text{kg CH}_2\text{O}/\text{ha}/\text{día}$), en condiciones de restricción hídrica, se determina, en el modelo, corrigiendo la asimilación fijada por las plantas por la proporción de agua transpirada (T/TM):

$$\text{ASRE}_t = \text{CARB}_t \times (T/TM) \quad (19)$$

Si existe suficiente agua en el suelo, se asume que la transpiración real iguala a la máxima y la planta crece de acuerdo con la asimilación real.

VALIDACION

El proceso de validación de un modelo, generalmente presenta dificultades en escoger un procedimiento adecuado para la evaluación o porque no existen suficientes datos experimentales. A pesar de un alto volumen de experimentación en praderas artificiales en la IX Región, existe poca información publicada de curvas de crecimientos diario de praderas a través del año, lo cual dificulta la validación de modelos de crecimiento forrajero. Sin embargo, como una primera aproximación, los resultados del modelo fueron comparados gráficamente (Dent y Blackie, 1979) con datos experimentales.

La comparación se hizo con experimentos de campo realizados en la Estación Experimental Carillanca (Rojas, Catrileo y Campillo, 1987 y Claudio Rojas G., INIA, comunicación personal). Para la validación, fueron considerados los registros de crecimiento de la mezcla de ballica Italiana y trébol rosado, evaluados bajo régimen de corte cada 28 días durante las temporadas 1985/86 y 1986/87. Las condiciones climáticas imperantes en cada temporada, junto con el promedio histórico, se presentan en el Cuadro 2. El modelo fue alimentado con la información climática diaria de lluvia, temperatura y evaporación de bandeja correspondiente a cada temporada.

CUADRO 2. Temperatura promedio en enero y julio, lluvia en los meses de verano, lluvia y evaporación anual en Temuco en 1985/86 y 1986/87 y promedio histórico de 20 años

TABLE 2. Mean environmental temperature in January and July, rainfall in the summer months, annual rainfall and annual evaporation at Temuco in 1985/86 and 1986/87 together with the long-term mean of 20 years

	Promedio histórico	1985/86	1986/87
Temperatura media en enero, °C	15,9	16,4	16,5
Temperatura media en julio, °C	6,8	6,8	7,8
Lluvia en el verano ¹ , mm	157	143	16
Lluvia anual, mm	1.393	1.434	1.443
Evaporación anual, mm	934	1.099	1.116

¹Diciembre, enero y febrero.

Fuente: Registros de Agrometeorología. Estación Experimental Carillanca (INIA).

En el Cuadro 2, se observa que las temporadas 1985/86 y 1986/87 fueron más húmedas que el promedio histórico. También se aprecia que la lluvia caída en el verano de 1985/86 fue similar a la tendencia histórica con aproximadamente 150 mm de agua en el período. Contrariamente, el verano de 1986/87 se caracterizó por una condición muy seca con tan solo 16 mm de agua caída en los meses de verano.

Las tasas de crecimiento promedio (kg m.s./ha/día), de los valores observados y simulados, se presentan en la Figura 4. En ella se puede apreciar que el modelo es capaz de predecir, en forma aceptable, la curva de producción de la mezcla forrajera, reflejando en ésta, además, las características climáticas predominantes de cada temporada. Para las producciones totales, los r² fueron 0,81 y 0,56, para la primera y segunda temporada, respectivamente.

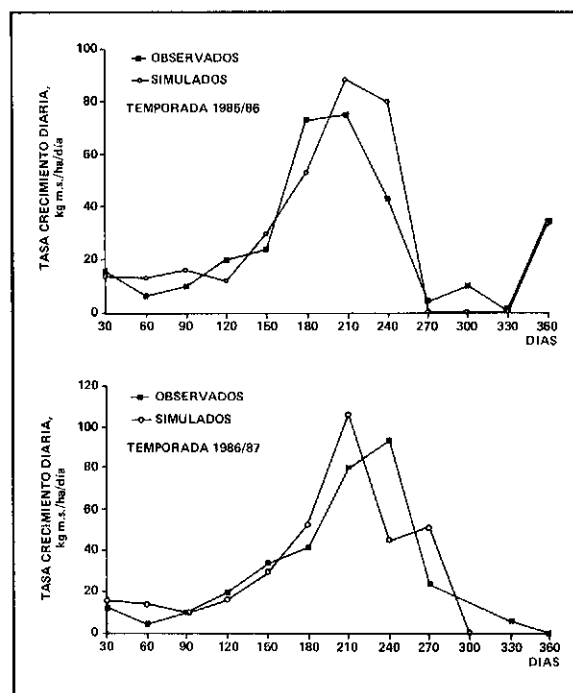


FIGURA 4. Tasas de crecimiento diario de la pradera de rotación corta en Temuco.

FIGURE 4. Daily growth rates of the short-rotation pasture at Temuco.

Las mayores diferencias entre los resultados del modelo y los experimentales, se presentaron hacia el segundo semestre del año y especialmente durante los meses de verano. Si bien el modelo indica cierta recuperación de verano para la primera temporada analizada, es menos exitoso en simular las extremas condiciones secas del verano en 1986/87.

Es probable que el balance de agua considerado en el modelo, como primera aproximación, sea insuficiente para predecir adecuadamente las relaciones hídricas del sistema suelo-planta y atención debe darse atención a la estructura del modelo en este aspecto.

Por otra parte, en el modelo, las tasas de descarga natural del sistema, se asumen como una proporción fija del material muerto e independiente del medio-ambiente. Algunos estudios (Bowman y otros, 1982) han sugerido que factores como la humedad y temperatura, podrían hacer variar este proceso influenciando la acumulación de materia seca del sistema, situación que no es simulada en el presente estudio y que se reflejarían en la falta de recuperación del forraje hacia el final del verano en el sistema representado por el modelo.

La capacidad del sistema radical del trébol rosado para utilizar agua mas allá de los 90 a 180 cm de

profundidad (Harris y Hoglund, 1977), no fue considerada en el modelo y podría constituir otro factor que permitiría una mejor predicción de la producción de forraje en los meses de verano, evidencia que ha sido observada en praderas de la zona, pero de la cual no existe aún suficiente información cuantitativa como para ser incluida en estudios de simulación.

Es necesario destacar, sin embargo, que la validez del modelo radicaría en el objetivo de representar crecimiento de forraje como un subcomponente del sistema. Se debe considerar que el modelo descrito, es una representación abstracta de la realidad y, en este contexto, aunque reconociendo sus limitaciones, puede ser aceptado para definir prioridades de investigación, particularmente en estudios de relaciones de los componentes suelo-planta, así como servir de base para el estudio de alternativas de manejo de esta mezcla de rotación corta en sistemas ganaderos.

RESUMEN

Se desarrolló un modelo de simulación que describe crecimiento de una pradera de rotación corta formada por ballica Italiana y trébol rosado, en el secano de la IX Región. EL modelo considera procesos básicos de flujo de carbono y balance hídrico del suelo para describir el proceso de acumulación de materia seca de la pradera.

El modelo es determinístico y dinámico con procesos descritos a intervalos de un día. Asimilación potencial de dióxido de carbono, índice de area foliar, respiración, crecimiento, distribución de carbohidratos, efecto de temperatura y senescencia son los principales factores considerados en el modelo para predecir la respuesta del sistema. El crecimiento real finalmente se ajusta de acuerdo a

la relación entre transpiración real y potencial resultante del balance de agua disponible en el suelo. Datos diarios de lluvia, evaporación de bandeja y temperatura media del aire son entradas al modelo.

Al comparar los resultados del modelo con datos experimentales durante dos temporadas, se observa que el modelo es capaz de predecir en forma aceptable las tasas de crecimiento diario de la mezcla forrajera aún cuando el grado de predicción es menor en condiciones de sequía extrema.

Palabras claves: modelos de simulación, fotosíntesis, praderas de rotación corta, balance de agua.

LITERATURA CITADA

- BOWLEY, S.R.; TAYLOR, N.L. and DOUGHERBY, C.T. 1984. Physiology and morphology of red clover. *Advances in Agronomy* 37: 317-347.
- BIRCHAM, J.S. and HODGSON, J. 1983. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science* 38: 323-331.
- BOWMAN, P.J.; WHITE, D.H.; CAYLEY, J.W.D. and BIRD, P.R. 1982. Predicting rates of pasture growth, senescence and decomposition. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 14: 36-37.
- BROCKINGTON, N.R. 1971. A simulation model of grass production in relation to water supply. *Annual Report. Grassland Research Institute, Hurley, England.* p.: 140-149.

- BROUGHAM, R.W. 1956. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agriculture Research* 7: 377-387.
- CAÑAS C., RAUL, AGUILAR G., CLAUDIO y CATRILEO S., ADRIAN. 1982. Desarrollo de un modelo de simulación para el estudio del cambio de peso en novillos a pastoreo. *Ciencia e Investigación Agraria* 9(3): 143-155.
- CATRILEO R., ADRIAN. 1990. Beef production systems from grassland-arable farms in southern Chile. University of Reading. England. 214 p. (Ph.D. Thesis).
- DENMEAD, O.T. and SHAW, R.H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal* 54: 385-390.
- DENT J.B. and BLACKIE, M.J. 1979. *Systems Simulation in Agriculture*. London Applied Science Publishers. 180 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H.; BENTVELDER, C. and VITTENBOOGAARD, G. 1978. Yield response to water. U.N. Economic Commission West Asia, Rome. 140 p.
- DOYLE, C.J.; BAARS, J.A. and BYWATER, A.C. 1989. A simulation model of bull beef production under rotational grazing in the Waikato Region of New Zealand. *Agricultural Systems* 3: 247-278.
- FRAME, J. 1976. The potential of tetraploid red clover and its role in the U.K. *Journal of the British Grassland Society* 31: 61-66.
- FRANCE, J. and THORNLEY, J.H.M. 1984. *Mathematical models in agriculture*. Butterworths, London. 335 p.
- GOLOVKO, T.K. and SEMIKHATOVA, O.A. 1980. Plant respiration as a factor of productivity as exemplified by *Trifolium pratense*. *Biological Abstracts* 70: 61.901.
- GOUDRIAAN, J. and van LAAR, H.H. 1978. Calculation of daily total of the gross CO₂ assimilation of leaf canopies. *Netherlands Journal of Experimental Agricultural Science* 26: 416-425.
- HARRIS, W. and HOGLUND, J.H. 1977. Influences of seasonal growth periodicity and N-fixation on competitive combining abilities of grasses and legumes. *Proceedings of the XIII International Grassland Congress*. Leipzig. p.: 239-243.
- HEEMST VAN, H.D.J. 1986. Physiological principles. In: Van Keulen, H. and Wolf, S. (ed.). *Modelling of agricultural production: weather, soil and crops*. Pudoc, Wageningen. p.: 13 - 24.
- HUNT, L.A. and BROGHAM, R.W. 1966. Some aspects of growth in an undefoliated stand of Italian ryegrass. *Journal of Applied Ecology* 3: 21-28.
- JOHNSON, I.R., AMEZIANE, T.E. and THORNLEY, J.H.M. 1983. A model of grass growth. *Ann. Bot.* 51: 599-609.
- JOHNSON, I.R. and THORNLEY, J.H.M. 1983. Vegetative crop growth model incorporating leaf area expansion and senescence, and applied to grass. *Plant, Cell and Environment* 6: 721-729.
- KEULEN van H.; PENNING de VRIES, F.W.T. and DREES, E.M. 1982. A summary model of crop growth. In: Penning de Vries, F.W.T. and Laar, van H.H. (ed.). *Simulation of Plant Growth and Crop Production*. Pudoc, Wageningen. 308 p.
- KEULEN, van H. 1986. A simple model of water limited production. In: Keulen, van H. and Wolf, J. (ed.). *Modelling of Agricultural Production: Weather, Soils and Crops*. Pudoc, Wageningen. 479 p.
- LANTINGA, E.A. 1985. Simulation of herbage production and herbage intake during a rotational grazing period: An evaluation of Linehan's formula. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 33: 385-403.
- MONTENEGRO R.G.LORIA; AGUILAR G.CLAUDIO; GASMAN, B.MARILYN y SAENGER, W.RICARDO. 1983. *Medicago sativa*: Antecedentes para un modelo matemático de crecimiento. *Sistemas en agricultura*. Teoría, Avances. Pontificia Universidad Católica de Chile. IISA 83.04.
- PEARSON, G.J. and ISON, R.L. 1987. *Agronomy of Grassland systems*. Cambridge University Press. 169 p.
- ROJAS G., CLAUDIO, CATRILEO R., ADRIAN y CAMPILLO R., RICARDO. 1987. Sistema integrado ganado-cultivo para el valle central de la IX Región, empleando machos de lechería. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, E.E. Carillanca, Area Producción Animal, Programa Producción de Carne Bovina, Informe Técnico 1986/87, Chile. p.: 283-296.*
- ROMERO Y., ORIELLA. 1989. Ballicas de alta producción, una alternativa para períodos críticos. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca* 8 (1): 34-37.
- SANTIBAÑEZ, Q. FERNANDO, OLIVARES E., ALFREDO, SILVA G., MARIO, MANSILLA M., ALBERTO y LAILHACAR K., SERGIO. 1976. Desarrollo de un modelo de producción pecuaria para la zona mediterránea árida de Chile. I. Submodelo de clima y productividad primaria herbácea. *Avances en Producción Animal* (1): 119-128.
- SILVA G., MARIO, MANSILLA M., ALBERTO y JAHN B., ERNESTO. 1987. Modelo de simulación de producción de leche. I. Estructura y calibración. *Agricultura Técnica (Chile)* 47: 390-399.
- SLAYTER, R.O. and Mc ILROY, I.C. 1961. *Practical meteorology, with special reference to the water factor in soil-plant-atmosphere relationships*. CSIRO, Melbourne. 320 p.
- SHEEHY, J.E.; COOBY, J.M. and RYLE, G.J.A. 1979. The growth of perennial ryegrass: A model. *Annals of Botany* 43: 335-354.

SHEEHY, J.E.; COOBY, J.M. and RYLE, G.J.A. 1980. The use of a model to investigate the influence of some environmental factors on the growth of perennial ryegrass. *Annals of Botany* 46: 343-365.

SMITH, R.G.G. and STEPHENS, M.J. 1976. Importance of soil moisture and temperature on the growth of improved pasture on the Northern Tablelands of N.S. Wales. *Australian Journal of Agricultural Research* 27: 63-70.

SPEEDING, C.R.W. and DIEKMAHNS, E.C. 1972. Grasses and legumes in the British Agriculture. *Bulletin* 49. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. 511 p.

TEUBER K., NOLBERTO, BERNIER V., RENE y GOIC M., LJUBO. 1981. Mezclas forrajeras de rotación y permanentes. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, E.E. Remehue, Area de Producción Animal, Programa Praderas, Informe Técnico 1980/81, Osorno, Chile. p.: 9-18 p.*

WIT, de C.T. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. *Agricultural Research Report* Nº 663. Pudoc. Wageningen, Holland. 57 p.

*La información contenida en estos documentos es accesible sólo a través de sus respectivos autores o de autoridades del INIA.