

Adaptación del Modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens**

L. M. Giraldo**, L. J. Lizcano**, A. J. Gijssman***, B. Rivera** y L. H. Franco***

Introducción

Brachiaria decumbens es una de las especies más cultivadas en los sistemas de producción ganadera en el trópico bajo. Se adapta a distintas condiciones agroecológicas, desde el nivel del mar hasta 2200 m.s.n.m., tolera la sequía, las quemadas, la alta precipitación, el pastoreo intensivo y los suelos ácidos y pobres en nutrimentos (Bernal, 1994).

Los costos de la investigación en pasturas son relativamente altos, debido a los múltiples factores que afectan su producción y calidad, y a los relativamente largos períodos del ciclo de cultivo. Como resultado de heterogeneidad de condiciones climáticas y edáficas que existen en el trópico, la investigación en pasturas requiere un alto número de ensayos específicos, lo que incrementa notablemente el tiempo para toma de decisiones sobre transferencia de tecnología y los costos que este proceso demanda.

El desarrollo de modelos de análisis de sistemas de producción ha permitido reducir, en gran medida, las restricciones de tiempo y de costos. Los modelos utilizan ecuaciones construidas a partir de la teoría biofísica y de resultados experimentales, y se validan igualmente mediante ensayos experimentales. Posteriormente a su validación, los modelos permiten experimentar y apoyar las decisiones de planificación de las actividades de investigación, transferencia y desarrollo agropecuario. Por otra parte, permiten

predecir escenarios para el uso del suelo, explorar oportunidades de uso de distintas alternativas, identificar instrumentos de política para realizar intervenciones, y desarrollar sistemas de apoyo a la toma de decisiones en la investigación y la transferencia de tecnología (Bouma, 1998). Una de las principales características de los sistemas de apoyo a decisiones en agrotecnología es su orientación hacia la demanda de soluciones a problemas específicos de la producción (Stoorvogel, 1998). El uso práctico de los modelos de simulación permite hacer investigación en situaciones donde no es posible realizarla físicamente o su costo es muy alto (Aguilar y Cañas, 1992; Quiroz et al., 1996).

Con el uso de modelos es posible responder en forma rápida a preguntas como: ¿Qué pasaría con el rendimiento y calidad del forraje, si se aplicara más fertilizante o si se cambiaran a través del tiempo las condiciones de clima y suelos? (Bouma, 1998). Los modelos no toman decisiones, pero sirven para orientar a técnicos y a productores en la toma de decisiones (Stoorvogel, 1998).

El modelo DSSAT (Sistema de Apoyo para la Toma de Decisiones en la Transferencia Agrotecnológica, por su sigla en inglés) consta, a su vez, de seis modelos para simular el crecimiento de 16 cultivos de importancia económica y ha demostrado alta confiabilidad bajo distintas condiciones de clima, suelo y manejo (Jones, 1993). Con este modelo es posible: (1) organizar y archivar bases de datos sobre clima, suelo, cultivos, experimentos y precios; (2) simular producción de cultivos en una o varias épocas y en secuencias; (3) analizar resultados y representar gráficamente simulaciones; y (4) evaluar diferentes prácticas de manejo específicas a una explotación o parte de ella (Jones, 1993).

Las experiencias con el modelo DSSAT en pasturas se limitan a *Paspalum notatum* (bahiagrass). Su incorporación al modelo DSSAT se realizó en la Universidad de Florida, utilizando como base el modelo CROPGRO que dentro del DSSAT simula el

* Contribución de la Línea de Investigación de Desarrollo de Modelos de Análisis de Sistemas del Departamento de Sistemas de Producción de la Universidad de Caldas, y del Proyecto Sistemas Sostenibles para Pequeños Agricultores del CIAT.

** Respectivamente: Estudiantes de pregrado del Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, y Profesor del Departamento de Sistemas de Producción, Universidad de Caldas, Colombia.

*** PhD., e Ing. Agr. del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apdo. Aéreo 6713, Cali, Colombia.

crecimiento y desarrollo de varios cultivos de dicotiledóneas; y modificando los valores de los parámetros fisiológicos, fenológicos y bromatológicos que describen las características de la especie, el cultivar y el ecotipo, sin alterar la estructura del modelo (Kelly, 1995). En el caso de parámetros no disponibles para el pasto bahiagrass, el CROPGRO utiliza los valores originales utilizados en el cultivo de soya.

Además del modelo aquí presentado, existen otros para simular el crecimiento de pasturas, entre ellos, BLUE GRAMA, CENTURY, GRASMOD, GRASP, GRAZPLAN y el HURLEY PASTURE MODEL (Hanson et al., 1985; McKeon et al., 1990; Moore et al., 1991; Parton et al., 1993; Thornley y Verberne, 1989; Ven, 1992), pero ninguno de ellos es parte de un modelo de simulación agrícola integral, debido a que no incluyen la utilización de diferentes cultivos ni opciones de manejo con la suficiente sensibilidad a los diferentes factores medio ambientales a nivel de un lote o finca. Aunque recientemente los modelos GRASP y GRAZPLAN fueron incorporados al modelo APSIM (McCown et al., 1996), que incluye importantes elementos del DSSAT, no está tan difundido mundialmente como el DSSAT.

La presente contribución describe el proceso metodológico y los resultados de la calibración y validación del modelo DSSAT para simular los criterios de producción de materia seca (MS) y de calidad proteica de *Brachiaria decumbens* bajo distintos escenarios de clima, suelo y manejo.

Materiales y métodos

El modelo DSSAT está compuesto por los archivos de entrada siguientes: (1) características de la planta; (2) ecosistema de la planta; (3) manejo del ensayo; y (4) la conjunción de archivos para la simulación.

Los archivos que componen la planta son SPE, CUL y ECO. El archivo SPE, también llamado archivo de la especie, tiene los parámetros más representativos del comportamiento fisiológico de la planta en un determinado medio. Contiene, además, los parámetros de fotosíntesis, respiración, composición bromatológica de cada una de las partes de la planta, carbono y nitrógeno, crecimiento de la hoja, factores de envejecimiento de la hoja, parámetros de la raíz, crecimiento de la semilla y la vaina, fenología, pérdida de la vaina, comportamiento y estado de la flor en función del fotoperíodo y la temperatura, crecimiento y tamaños de la copa e internudo.

El archivo CUL, llamado archivo de cultivar, requiere información relacionada con días fototérmicos, tiempo que transcurre entre plantación y floración,

salida de la primera flor y primera semilla o primera vaina, y tiempo transcurrido para lograr su maduración. También requiere máxima tasa de fotosíntesis en la hoja, máxima longitud y área específica de la hoja. El presente trabajo define los parámetros descritos anteriormente para *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (CIAT 606). El archivo ECO, o de ecotipo, requiere parámetros muy similares al anterior, pero que son propios del ecotipo.

Suelo y clima son los archivos que componen el ecosistema de la planta. El archivo de suelo requiere los parámetros físicos, químicos y estructurales de éste a diferentes profundidades y se identifica con los datos de localidad, latitud, longitud y nombre del sitio y país. El archivo de clima requiere los datos diarios de temperatura máxima, mínima, radiación solar y precipitación.

El archivo relacionado con las observaciones en el ensayo, o archivo T, contiene la información sobre fechas de corte (de producción y de igualación), producción de MS de forraje y presencia de plagas.

El archivo de conjunción, llamado archivo X, reúne todos los archivos por medio de los códigos con que se identificaron cada uno de ellos con anterioridad. Este archivo tiene los datos de las fechas de siembra, fertilización, cantidad y tipo de fertilizante, emergencia (si se desea, aunque el modelo tiene la opción de desarrollar automáticamente la emergencia), tratamientos realizados, sistemas de siembra, etc. El archivo tiene la posibilidad de decidir si se desean simular parámetros de manejo como riego, fertilización, plagas y aplicación de residuos, y de intercambiar archivos de clima, suelo, SPE, CUL o ECO diferentes al propio del lote o finca.

La adaptación del modelo DSSAT para simular la producción de *B. decumbens* se llevó a cabo de manera secuencial, incluyendo recopilación de información, calibración y validación del modelo.

Recopilación de información

Se realizó una amplia revisión de literatura con el fin de recuperar la información fisiológica, fenológica y bromatológica de cada uno de los parámetros de la gramínea, requeridos por los diferentes archivos SPE, CUL y ECO del modelo. Al mismo tiempo, se enviaron al laboratorio muestras de tejido de hojas, tallos y raíces para análisis de N, carbohidratos, ácidos orgánicos, cenizas y lípidos.

La información requerida por el archivo SPE, fundamentalmente sobre características fotosintéticas

de *B. decumbens*, fue relativamente escasa, razón por la cual se recurrió a la información sobre el género *Brachiaria* en general, en primera instancia, y a la información sobre plantas C_4 , que son gramíneas tropicales, en segunda instancia.

Los archivos CUL y ECO no sufrieron mayores modificaciones ya que no se tiene medición de día térmico o fototérmico en los datos de las investigaciones realizadas a nivel del trópico, donde el largo del día es relativamente constante en comparación con la zona subtropical, que tiene variación en horas de luz y de oscuridad de acuerdo con la estación. El modelo CROPGRO requiere parámetros de semilla, vaina, florescencia y de fijación de nitrógeno que no son de mucha importancia para el manejo que normalmente se le da a las pasturas, razón por la cual no se realizaron cambios en ellos.

En el caso de los parámetros específicos de *B. decumbens*, no encontrados en la revisión bibliográfica, se trabajó con los existentes para el pasto bahía.

La información sobre ecosistema de la planta y manejo del ensayo se obtuvo de la base de datos de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). La selección de los sitios se basó en la disponibilidad de información de clima, suelo y producción de MS. Un criterio adicional de selección fue un rango amplio de condiciones de clima y suelo, de tal manera que el programa tuviese potencial de aplicación bajo varias circunstancias y regiones. Las estaciones experimentales seleccionadas, con los respectivos años de evaluación de *B. decumbens*, fueron las siguientes: Carimagua (Depto. del Meta, CIAT, 1980-82), Gigante (Depto. del Huila, Cenicafé, 1983-86), El Nus (Depto. de Antioquia, ICA, 1984-86), Santander de Quilichao (Depto. del Cauca, CIAT, 1979-82), La Romelia (Depto. de Caldas, Cenicafé, 1982-83) y Urrao (Depto. de Antioquia, Secretaría de Agricultura, 1990-93).

En el archivo de suelos se utilizaron los parámetros suministrados por la base de datos de la RIEPT. Los parámetros de retención y conductividad de agua se estimaron tomando en cuenta la textura del suelo, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, utilizando el programa Soil Parameters Estimate (SOILPAR versión 1.1; Donatelli et al., 1996, 1997).

Los parámetros del archivo clima fueron obtenidos de la información climática en la base de datos de la RIEPT. La información sobre radiación solar se estimó a partir del modelo Global Solar Radiation Estimate (RadEst versión 2.0; Donatelli y Campbell, 1998),

utilizando la longitud, la latitud, la altura, las temperaturas máxima y mínima, y precipitación en la localidad.

Los datos de producción de MS se obtuvieron de la información de los ensayos regionales tipo B de la RIEPT, en los que se incluyó *B. decumbens* cv. Basilisk (CIAT 606). En cada estación o localidad se estableció un ensayo en el cual la accesión o cultivar era la parcela principal que se dividía en cuatro subparcelas o edades de rebrote (3, 6, 9 ó 12 semanas después del corte de igualación), en períodos de máxima y mínima precipitación.

La estandarización de las parcelas se realizaba a 15 cm del suelo, teniendo en cuenta el hábito de crecimiento de la gramínea y siguiendo la metodología propuesta por la RIEPT (Toledo y Schultze-Kraft, 1982). Con esta altura de corte se simulaba la parte de la planta que el animal no consume y las reservas de ésta para rebrotar.

La fertilización de las parcelas se hizo de manera similar en todos los sitios, aplicando 22 kg/ha de P (50 kg de P_2O_5), 41.5 kg/ha de K (50 kg de K_2O), 100 kg/ha de N, 20 kg/ha de Mg y 20 kg/ha de S. El P, Mg y S se incorporaron a 20 cm de profundidad al momento de la siembra. El N y el K se fraccionaron aplicando un tercio de la dosis en banda 28 días después de la siembra, un tercio a voleo 13 semanas después del establecimiento y el resto a voleo un mes antes de la época seca o durante el corte de igualación para iniciar la primera evaluación.

Debido a que el modelo CROPGRO no tiene la opción de realizar cortes, éstos se simularon por medio de la opción "plaga", permitiendo eliminar una fracción de biomasa similar al corte o al consumo que hacen los animales. Como los cortes fueron realizados a 15 cm de altura, fue necesario cambiar el código de fuente del modelo añadiendo la opción MOWE que permite seccionar el pasto hasta un peso de biomasa determinado. El valor de producción de MS a esta altura de corte se obtuvo mediante cortes realizados directamente en el campo, obteniéndose valores en un rango entre 2000 y 7000 kg/ha.

Calibración del modelo

Para la calibración del modelo se utilizó la información de las estaciones experimentales El Nus, La Romelia, Carimagua y Quilichao. Con la información de la estación El Nus se realizaron las primeras simulaciones de calibración del modelo. Con los datos de la relación entre valores simulados (archivos de salida) y observados se hicieron nuevas simulaciones con

distintos valores de los parámetros, dentro de los rangos establecidos a partir de la revisión bibliográfica. Posteriormente, se llevó a cabo el mismo procedimiento con la información de las estaciones La Romelia, Carimagua y Quilichao buscando que las relaciones entre valores simulados y observados fueran adecuadas para el nuevo sitio y los sitios ya incorporados.

Validación del modelo

La validación es la aprobación, a través de procedimientos estadísticos adecuados, de un nivel aceptable de confianza, de tal modo que las interpretaciones para el sistema real, efectuadas a partir de las inferencias obtenidas con el modelo, sean correctas (Aguilar y Cañas, 1992). En síntesis, es la comparación de lo simulado y lo obtenido mediante experimentos físicos; por tanto, el proceso determina en qué medida se ajusta el modelo a la representación de la realidad (Barrera y Aguilar, 1996). Durante la validación se introdujeron nuevos sitios, es decir, sitios diferentes a los de calibración, sin hacer cambios en los archivos de entrada. La validación del modelo con *B. decumbens* se realizó con la información de las estaciones experimentales Gigante (Huila) y Urrao (Antioquia).

Como resultado de la simulación del modelo DSSAT se encontraron los archivos de salida que tienen la opción de determinar el nitrógeno disponible en la planta y calcular con este valor la proteína.

Resultados y discusión

Calibración del modelo

En el Cuadro 1 aparecen los rangos de los principales parámetros de los archivos SPE y CUL utilizados en el proceso de calibración y el valor final con el cual se realizó la validación. En el archivo SPE, los parámetros más sensibles fueron aquéllos que utilizan la fotosíntesis, la respiración, el N, y el área y peso específico de la hoja.

El mejor índice de relación entre lo simulado y lo observado se encontró con 5000 kg/ha de MS, valor de la producción entre 0 y 15 cm. Este valor fue involucrado en el archivo T en la opción 'plaga', para simular lo que dejan de consumir los animales y como tal fue utilizado para la calibración y validación. Este mismo valor se adicionó a la producción de MS de la base de datos de la RIEPT, de tal manera que ambos valores, el simulado y el observado, representan la disponibilidad de MS a nivel de suelo en un momento determinado. La producción anual de MS estaba representada por la suma del integral por encima de los 5000 kg/ha.

Aunque en la metodología de la RIEPT se realizan cortes distanciados 3 semanas, en la Figura 1 se presenta la disponibilidad de MS para los datos simulados en los cortes correspondientes a las semanas seis y nueve por ser ésta la época más parecida a las prácticas de manejo utilizadas en las regiones de El Nus, La Romelia y Quilichao; en cambio, en Carimagua, debido a prácticas de manejo diferentes y a un período prolongado de sequía, se utilizaron las edades de 9 y 12 semanas. Todos los datos simulados se compararon con los presentados en los trabajos de la RIEPT, para las mismas semanas. Asimismo, se presenta la información pluviométrica, señalando las épocas de mínima y máxima precipitación. La concordancia entre los puntos observados y las líneas que simulan la producción indica el ajuste que se logró con la calibración del modelo.

El número de evaluaciones o cortes para las estaciones experimentales depende de la distribución anual de las lluvias. En un sistema unimodal con una época seca prolongada, como en Carimagua y Quilichao, el período entre evaluaciones es más amplio; por el contrario, en las estaciones El Nus y La Romelia no se presentaron épocas de sequía prolongadas durante los años de evaluación, por lo que en ellas no existen días sin producción en lo simulado.

En general, para los resultados en El Nus y La Romelia, la relación entre lo simulado y lo observado es buena, aunque en la segunda estación experimental la relación fue menor que en la primera. En Carimagua, el modelo simuló muy bien el crecimiento del pasto en las épocas de lluvia y de sequía, a pesar de que entre los días 610 y 680 no hubo producción de MS debido a la falta de lluvias en esta época de evaluación en mínima precipitación. En esta misma estación se presentó en forma adicional la opción de corte a las 12 semanas, observándose al día 465 un descenso inexplicable en producción (4898 kg/ha de MS) como valor simulado.

En la estación Quilichao, el modelo simuló correctamente la falta de producción de MS entre los días 270 y 360 y entre 680 y 790, igualmente debido a un factor de estrés por falta de agua en un período de mínima precipitación. En los datos de simulación en esta estación se observó una reducción en producción de MS hasta 4896 kg/ha, como consecuencia de un aumento en el consumo en la opción 'plaga' mayor al esperado, muy cerca al día 100 durante el corte de igualación.

Dentro del archivo SPE se calibraron parámetros que definían el N existente en la planta, los que se transformaron en proteína cruda (PC) (Cuadro 1).

Cuadro 1. **Parámetros de mayor sensibilidad en los archivos SPE y CUL del modelo DSSAT, ante la incorporación de *Brachiaria decumbens* con los rangos encontrados en la literatura y de análisis de laboratorio, y el valor final utilizado.**

Parámetro	Definición	Rango	Valor utilizado	Referencias ^a
PARMAX	Nivel de luz que da el 67% de la fotosíntesis máxima ($E \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	44-173	44	4, 16, 23, 26, 27, 29, 33, 34, 37, 44, 47, 48, 58
PHTMAX	Fotosíntesis con saturación de luz ($\text{g } [\text{CH}_2\text{O}] \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	28-180	110	4, 9, 15, 16, 26, 27, 33, 34, 37, 47, 58
KCAN	Coefficiente de extinción de luz en la copa (—)	0.37-0.86	0.86	46, 48
CCMP	Punto de compensación de CO_2 (nivel de CO_2 donde la fotosíntesis es cero) ($\text{mmol } [\text{CO}_2] \text{ mol}^{-1} \text{ [aire]}$)	10-80	10	Promedio pasto bahia y soya
CCMAX	Relación de la fotosíntesis con el CO_2 óptimo vs. el CO_2 normal (—)	1.40-2.09	1.9	Promedio pasto bahia y soya
LNREF	Concentración de N en la hoja que da máxima fotosíntesis (%)	0.80-3.90	2.60	1, 4, 6, 19, 20, 24, 25, 36, 40, 50, 54, 55, 57 e I. M. Rao, datos no publicados (n.p.)
PROLFI	Concentración 'máxima' de proteína en la hoja (fracción)	0.032-0.39	0.154	1, 4, 19, 20, 25, 36, 41, 50, 54, 55, 57, I. M. Rao (n.p.)
PROLFG	Concentración 'normal' de proteína en la hoja (fracción)	0.032-0.39	0.110	1, 4, 19, 20, 25, 36, 41, 50, 54, 55, 57, I. M. Rao (n.p.)
PROLFF	Concentración 'mínima' de proteína en la hoja (fracción)	0.032-0.39	0.074	1, 4, 14, 19, 23, 25, 36, 41, 50, 54, 55, 57, I. M. Rao (n.p.)
PROSTI	Concentración 'máxima' de proteína en el tallo (fracción)	0.019-0.13	0.079	6, 14, 25, 36, 38, 55
PROSTG	Concentración 'normal' de proteína en el tallo (fracción)	0.019-0.13	0.056	6, 14, 25, 36, 38, 55
PROSTF	Concentración 'mínima' de proteína en el tallo (fracción)	0.019-0.13	0.041	6, 14, 25, 36, 38, 55
PRORTI	Concentración 'máxima' de proteína en la raíz (fracción)	0.0020-0.06	0.050	38, I. M. Rao (n.p.)
PRORTG	Concentración 'normal' de proteína en la raíz (fracción)	0.0020-0.06	0.025	38, 45, I. M. Rao (n.p.)
PRORTF	Concentración 'mínima' de proteína en la raíz (fracción)	0.0020-0.06	0.015	38, I. M. Rao (n.p.)
PCARLF	Concentración de celulosa en la hoja (fracción)	0.23-0.715	0.616	14, 43, 54, pasto bahia
PCARST	Concentración de celulosa en el tallo (fracción)	0.32-0.715	0.715	14, 54, pasto bahia
PCARRT	Concentración de celulosa en la raíz (fracción)	0.481-0.67	0.619	Calculado para igualar la suma de componentes a 1
CADSTF	Fracción de carbohidratos no estructurales que la planta almacena en el tallo (fracción)	0.481-0.67	0.58	17, 50, muestra laboratorio
FINREF	Area específica de la hoja al momento de la emergencia ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	76.3-329	207	8, 57
SLWSLO	Cambio en peso específico de la hoja por unidad de incremento en LAI (g cm^{-2} por unidad LAI)	0.0004-0.00071	0.0004	20, I. M. Rao (n.p.)
ALPHL	Concentración de carbohidratos no-estructurales en hojas nuevas (fracción)	0.097-0.20	0.10	17, 50
ALPHS	Concentración de carbohidratos no-estructurales en tallos nuevos (fracción)	0.115-0.40	0.11	17, 50
ALPHR	Concentración de carbohidratos no-estructurales en raíces nuevas (fracción)	0.04-0.125	0.072	38, 42
RFAC1	Longitud específica de las raíces (cm g^{-1})	738-25549	7893	10, 40, 41, I. M. Rao (n.p.)
LFMAX	Máxima fotosíntesis foliar con saturación de luz, 350 ppm CO_2 , 30 centígrados y 21% de oxígeno ($\text{mg } [\text{CO}_2] \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0.62-9.44	2.20	4, 15, 26, 27, 28, 34, 41, 49, 58
SLAVR	Area específica de la hoja bajo condiciones normales ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	145-227	225	20, 41

a. Los números de la referencia corresponden a los que aparecen en la bibliografía al final del texto. La negrilla en la columna de referencias indica que del artículo respectivo se tomó el valor utilizado finalmente en los archivos.

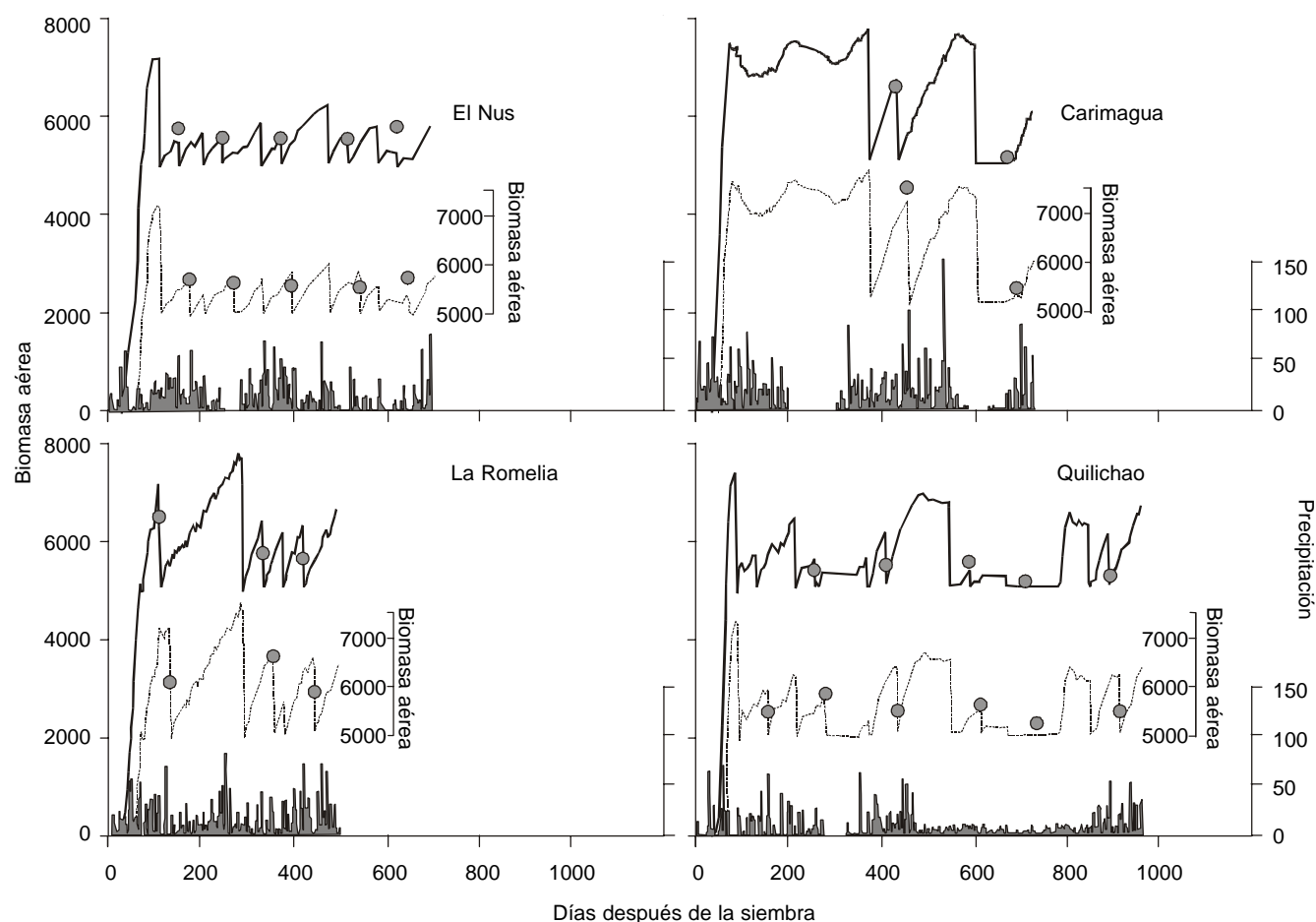


Figura 1. Resultados de la calibración del modelo DSSAT para *Brachiaria decumbens* en las estaciones experimentales El Nus, La Romelia y Carimagua. Se encuentran los cortes de producción (kg/ha) para la simulación a las 6 semanas (línea continua) y 9 semanas (línea discontinua) en comparación a lo observado (puntos) y los períodos de mínima y máxima precipitación representados por la precipitación (mm/día). Los valores de la estación experimental Carimagua corresponden a la simulación de las 9 y 12 semanas.

Cuando se simuló el modelo se obtuvo el archivo de salida 'nitrógeno', del cual sólo se escogieron los valores de N en hojas y tallos, por ser estas partes de la planta las más importantes en la calidad de las pasturas (Cuadro 2). Esta salida permite obtener los valores de PC cuando se multiplica por el factor 6.25.

Cuadro 2. Rango porcentual menor y mayor de nitrógeno simulado, en hoja y tallo, entre las semanas 3, 6, 9 y 12 de edad de *Brachiaria decumbens* en las estaciones experimentales utilizada en la calibración del modelo DSSAT.

Estación experimental	N en hoja (%)	N en tallo (%)
El Nus	1.84-1.91	0.82-0.86
La Romelia	1.75-2.33	0.78-0.84
Carimagua	1.89-1.95	0.78-0.81
Santander de Quilichao	1.78-1.99	0.81-0.88

En este trabajo no fue posible validar los valores de N representados en el archivo de salida debido a que esta variable no se midió en los trabajos de la RIEPT y, en consecuencia, no existía valor con el cual comparar lo simulado.

Validación

En los Cuadros 3 y 4 se presentan las disponibilidades observada y simulada de MS de *B. decumbens* a 3, 6, 9 y 12 semanas, en las estaciones Gigante y Urrao, respectivamente.

En Gigante, la relación promedio entre valores simulados y observados fue de 0.98, en un rango entre 0.96 a las 3 semanas y 1.01 a las 12 semanas. En Urrao, esta relación fue de 0.84, con un rango entre 0.82 a las 3 semanas y 1.00 a las 12 semanas. El establecimiento de la gramínea en este sitio se realizó en forma tardía en el período de lluvias, coincidiendo el primer corte de igualación con una drástica reducción

Cuadro 3. Disponibilidad^a observada de materia seca entre 1983 y 1986 de *Brachiaria decumbens* (kg/ha) a las 3, 6, 9 y 12 semanas de edad, en la estación de Gigante. Resultados de la validación con el modelo DSSAT y relación entre disponibilidad simulada y observada.

No. de semanas	Período de evaluación ^b	Observado	Simulado	Sim./obs.	No. de semanas	Período de evaluación ^b	Observado	Simulado	Sim./obs.
3	Mínima 1	5253	5451	1.04	6	Mínima 1	5470	5417	0.99
3	Máxima 1	5460	5524	1.01	6	Máxima 1	5390	5778	1.07
3	Mínima 2	5683	5390	0.95	6	Mínima 2	5666	5702	1.01
3	Máxima 2	5546	5228	0.94	6	Máxima 2	5676	5411	0.95
3	Máxima 3	5766	5480	0.95	6	Máxima 3	5733	5832	1.02
3	Mínima 3	5593	5107	0.91	6	Mínima 3	5786	5102	0.88
3	Mínima 4	5746	5254	0.91	6	Mínima 4	5620	5085	0.90
3	Máxima 4	5370	5357	<u>1.00</u>	6	Máxima 4	5856	5677	<u>0.97</u>
Promedio				0.96					0.97
9	Mínima 1	5446	5332	0.98	12	Mínima 1	5643	5726	1.01
9	Máxima 1	5480	6072	1.11	12	Máxima 1	5546	6309	1.14
9	Mínima 2	5916	5943	1.00	12	Mínima 2	5983	6166	1.03
9	Máxima 2	5783	5675	0.98	12	Máxima 2	6016	6064	1.01
9	Máxima 3	5800	6074	1.05	12	Máxima 3	5900	6086	1.03
9	Mínima 3	5890	5182	0.88	12	Mínima 3	6000	5302	0.88
9	Mínima 4	5633	5256	0.93	12	Mínima 4	5896	5516	0.94
9	Máxima 4	5836	5673	<u>0.97</u>	12	Máxima 4	5930	5944	<u>1.00</u>
				0.99					1.01
Promedio total		—	—	—	—	—	—	—	0.98

a. Disponibilidad de materia seca por corte a ras de suelo.

b. Mínima y máxima hacen referencia a los períodos de precipitación y el número corresponde a la secuencia de evaluaciones realizadas.

Cuadro 4. Disponibilidad^a de materia seca de *Brachiaria decumbens* (kg/ha) a las 3, 6, 9 y 12 semanas de edad, observada en los períodos de mínima y máxima precipitación entre 1990 y 1993 en la estación de Urrao. Resultados de la validación con el modelo DSSAT y relación entre disponibilidad simulada y observada.

No. de semanas	Período de evaluación ^b	Observado	Simulado	Sim./obs.	No. de semanas	Período de evaluación ^b	Observado	Simulado	Sim./obs.
3	Mínima 1	5133	1815	0.35	6	Mínima 1	5377	2483	0.46
	Máxima 1	5564	5258	0.95	6	Máxima 1	5600	5252	0.94
	Mínima 2	5477	5199	0.95	6	Mínima 2	5470	5207	0.95
	Máxima 2	5190	5334	<u>1.03</u>	6	Máxima 2	5437	5638	<u>1.04</u>
				0.82					0.85
9	Mínima 1	5483	2656	0.48	12	Mínima 1	5470	5472	1.00
	Máxima 1	5540	5247	0.95	12	Máxima 1	5773	5399	0.94
	Mínima 2	5577	5577	1.00	12	Mínima 2	5547	5787	1.04
	Máxima 2	5513	5798	<u>1.05</u>	12	Máxima 2	5800	5927	<u>1.02</u>
				0.87					1.00
Promedio total									0.84
Promedio total adaptado ^c									0.99

a. Disponibilidad de materia seca por corte a ras de suelo.

b. Mínima y máxima hacen referencia a los períodos de precipitación y el número corresponde a la secuencia de evaluaciones realizadas.

c. Promedio de los valores de la relación disponibilidad observada y simulada, excluyendo el primer valor de las semanas 3, 6, y 9.

de ellas, lo que afectó notablemente los resultados en los primeros cortes de las semanas 3, 6 y 9. Si se excluyen estos primeros valores se obtiene un promedio adaptado de 0.99 en esta estación.

Al comparar los valores obtenidos en este estudio con los de referencia del pasto bahia, cuya relación promedio entre los valores de producción simulada y observada en tres sitios fue de sólo 1.52 con un rango entre 1.15 y 2.22 (Kelly, 1995), se observa un avance significativo de la confiabilidad del modelo para *B. decumbens*. Este resultado es aún más significativo si se considera el amplio rango de condiciones climáticas y edáficas bajo las cuales se realizó la presente calibración, lo mismo que de las condiciones de manejo con cortes a 3, 6, 9 y 12 semanas bajo condiciones de máxima y mínima precipitación. Es probable que la estructura lógica que tiene el DSSAT y la calidad de la base de datos de la RIEPT, en términos de cantidad y confiabilidad de la información reportada, hayan sido los factores clave para el ajuste encontrado con el modelo.

Conclusiones y sugerencias

Los resultados obtenidos con la validación indican que el modelo DSSAT aplicado al crecimiento del pasto *B. decumbens* constituye una buena herramienta para la toma de decisiones en el establecimiento y manejo de esta gramínea y en la simulación de escenarios para el uso del suelo. Prácticamente, la principal restricción en el uso del modelo es la decisión de mantener una disponibilidad de 5000 kg/ha, ya sea por el diseño de los cortes —en este caso a 15 cm sobre el nivel del suelo— o por decisiones de manejo del pastoreo. El manejo del pasto con animales puede reducir la biomasa a menos de 5000 kg/ha, lo que podría resultar en un menor vigor de rebrote. La decisión de utilizar el modelo para simular la producción de MS en cantidades mayores o menores que 5000 kg/ha, exige que el usuario realice una nueva calibración para alcanzar un ajuste adecuado.

Es claro que el modelo base (CROPGRO) se basa en una planta dicotiledónea, mientras que el pasto es una planta monocotiledónea. Conociendo el ajuste entre los valores simulados y observados, queda aún por resolver el interrogante si se justifica o no la inversión para disponer de un modelo para pasturas que se fundamente en monocotiledóneas.

Debido a que no se hizo la validación para los datos de nitrógeno obtenidos en el archivo de salida del modelo, se recomienda tener precaución con el uso de ellos; sólo se recomienda utilizar esta opción del modelo si se valida y compara con datos observados.

El modelo DSSAT puede simular el crecimiento de los pastos que tienen varios años de establecidos. Si se estima que con el transcurso del tiempo la concentración de tallos en la base de la planta será mayor, se desconoce la confiabilidad del modelo para simular esta situación, ya que los datos utilizados tanto para la calibración como para la validación abarcaron un período máximo de 4 años.

La incorporación de animales al modelo DSSAT aún no se ha realizado. En el trabajo se avanzó en la medida que fue factible simular de alguna manera el consumo del animal mediante la opción “plaga”. Sin embargo, el efecto del N reciclado a través de excretas y el daño causado por el pisoteo, no han sido incorporados al modelo. Una nueva opción que permite incluir las heces como fuente de N está siendo desarrollada actualmente (A. J. Gijsman, datos no publicados). En futuros trabajos se recomienda incluir en el modelo el desarrollo de una opción que mida la digestibilidad del pasto.

La calidad y utilidad de los modelos depende de la buena información que se utiliza en su calibración y de su incorporación en los archivos de entrada; aunque en este trabajo los datos de la RIEPT utilizados tienen bastante información, carecen de la medición de la radiación solar diaria, y en el caso de los suelos solamente se caracteriza el nivel superficial, mientras que el modelo DSSAT requiere mediciones más detalladas del perfil.

Las estaciones experimentales utilizadas en este trabajo, tanto para la calibración como para la validación del modelo DSSAT, están localizadas en latitudes bajas, lo que podría ser limitante para el uso del modelo en sitios con otras latitudes. *Brachiaria decumbens* puede ser sensible al fotoperiodo (J. Miles, comunicación personal). Por tanto, en el futuro se recomienda la ejecución de estudios para calibrar el modelo en sitios localizados en latitudes diferentes a las del presente trabajo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a I. M. Rao (CIAT) por la colaboración en la estimación de los parámetros fisiológicos; a los autores del DSSAT, Gerrit Hoogenboom (Universidad de Georgia), Ken Boote, Jim Jones y James Hansen (Universidad de Florida) por su colaboración en varios aspectos de manejo del modelo; a Marcello Donatelli (ISCI, Bologna, Italia) por la colaboración en la aplicación del modelo RadEst; y a CENICAFE por suministrar los datos climáticos de las estaciones experimentales La Romelia y Gigante.

Summary

The development of agronomic simulation models allows to simulate crop production under different climate, soil, and management conditions. The objective of this study was to calibrate and validate the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) for simulating the growth of the perennial tropical forage grass *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. The existing CROPGRO model, which is part of DSSAT, was used for *B. decumbens* without making any modifications to the structure of the model; only input parameters that define a crop species, cultivar, and ecotype were changed. Lacking an option for grass grazing or cutting in DSSAT, the effect of partial shoot removal was simulated with the insect pest option. Earlier the subtropical Bahia grass was included in CROPGRO in a similar way. An extensive literature search and some additional field study provided the information for estimating the input parameters needed. The fine-tuning of these parameters to calibrate the model for *B. decumbens* was done with four data sets from different sites in Colombia that were part of the International Network for the Evaluation of Tropical Pastures (RIEPT: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales). The new model option was then validated with two additional data sets from other sites in the RIEPT network. Validation showed that the simulated dry-matter production of the pasture with cutting intervals of 3, 6, 9, or 12 weeks, was on average between 96% and 101% of the observed values for one of the validation experiments, and between 82% and 100% for the other. However, excluding the data from the first cutting at the latter site, which relates to pasture establishment during a period of drought stress when the observed dry-matter production stayed far behind the simulated production, would result in a tight validation range of 98%-101% for this experiment also.

It is concluded that the new model option accurately estimates the pasture production of *B. decumbens* cv. Basilisk with grass-cutting management under different soil and climate conditions. Further calibration for higher-latitude sites may be needed for obtaining a more general validity for the area where this species is commonly grown. The study has demonstrated that DSSAT can be developed as a decision support tool for management of *B. decumbens* pastures, provided that the model is calibrated under conditions of grazing.

Referencias

1. Abaunza, J. A. 1982. Growth and quality of nine tropical grasses and twelve tropical legumes under dry and rainy season conditions. Tesis Mag. Sc. Las Cruces, New Mexico, New Mexico State University. 141 p.
2. Aguilar, C. y Cañas, R. 1992. Simulación de sistemas: Aplicaciones en producción animal. En: Ruiz, M. (ed.). Simulación de sistemas pecuarios. RISPAL, San José, Costa Rica. p. 189-284.
3. Barrera, V. y Aguilar, C. 1996. Modelo de simulación para el estudio de la sostenibilidad del sistema de producción de pequeños productores de Carchi, Ecuador, I. Desarrollo del modelo y validación. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 4:135-166.
4. Baruch, Z.; Ludlow, M. M.; y Davis, R. 1985. Photosynthetic responses of native and introduced C₄ grasses from Venezuelan savannas. Oecologia 67:388-393.
5. Bernal, J. 1994. Pastos y forrajes tropicales, producción y manejo. 3a. ed. Banco Ganadero, Santa Fé de Bogotá D.C., Colombia. 575 p.
6. Boehnert, E.; Lascano, C.; y Weniger, J. H. 1986. Botanical and chemical composition on the diet selected by fistulated steers under grazing on improved grass-legume pastures in the tropical savannas of Colombia, 2: Chemical composition of forage available and selected. Z. Tierz. Züchtungsbiol. 103:69-79.
7. Bouma, J. 1998. Introduction. En: Stoorvogel, J. J.; Bouma, J.; y Bowen, W. T. (eds.). Information technology as a tool to assess land use options in space and time. Proceedings of an international workshop. Lima, September 28-October 4, 1997. DLO Res. Inst. Agrob. Soil Fert., C.T. de Wit Graduate School Prod. Ecol. Quantitative Approaches in Systems Analysis no. 16, January 1998.
8. Chamorro, M. 1989. Estudio de la tasa de senescencia y análisis de crecimiento en *Brachiaria decumbens* sola y asociada con *Desmodium ovalifolium*. Tesis. Bióloga, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 146 p.
9. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Programa de Pastos Tropicales. En: Informe Anual 1990. Cali, Colombia. 444 p.
10. _____. 1995. Forage components for livestock production systems: En: Informe Anual 1996. Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. 18 p.
11. Donatelli, M. y Campbell, G. S. 1998. A simple model to estimate global solar radiation. Proceedings of the 5th ESA Congress. Nitra, República Eslovaca. p. 133-134.
12. _____.; Acutis, M.; y Francaviglia, R. 1997. Soilpar, un software per la stima e la validazione del parametri idrologici del suolo. Atti del convegno annuale del Società Italiana della Scienza del Suolo. Roma. p. 2-5.
13. _____.; _____.; y Laruccia, N. 1996. Evaluation of methods to estimate soil water content at field capacity and wilting point. Proc. 4th European Society of Agronomy Congress. Veldhoven, Países Bajos. p. 86-87.

14. Filgueiras, E. P. 1983. Efeito de quatro períodos de vedação sobre a produtividade e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf. Tesis de Maestría. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. 125 p.
15. Fischer, K. S. y Wilson, G. L. 1971. Measurement of distribution of photosynthesis in plant canopies. *Nature New Biology* 229:30.
16. Fisher, M. J. y Kerridge, P. C. 1996. The agronomy and physiology of *Brachiaria* species. En: Miles, J. W.; Maass, B. L.; y Valle, C. B. do. (eds.). *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA/CNPGC), Campo Grande, Brasil. p. 43-52.
17. Greenfield, S. B. y Smith, D. 1974. Diurnal variations of nonstructural carbohydrates in the individual parts of switchgrass shoots at anthesis [*Panicum virgatum*]. *J. Range Manage.* 27:466-469.
18. Hanson, J. D.; Parton, W. J.; e Innis, G. S. 1985. Plant growth and production of grassland ecosystems: A comparison of modelling approaches. *Ecol. Modell.* 29:131-144.
19. Henzell, E. F. y Oxenham, D. J. 1973. Variation in leaf-nitrogen concentration in two tropical grasses. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 4:155-161.
20. Hilbert, D. W. y Reynolds, J. F. 1991. A model allocating growth among leaf proteins, shoot structure, and root biomass to produce balanced activity. *Ann. Bot.* 68:417-425.
21. Jones, J. W. 1993. Decision support systems for agricultural development. En: Penning de Vries, F. W. T. (ed.). *Systems approaches for agricultural development*. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos. p. 459-471.
22. Kelly, T. C. 1995. A bioeconomic systems approach to sustainability analysis at the farm level. Tesis Ph.D. University of Florida, E.U.
23. Ku, S. B.; Edwards, G. E.; y Smith, D. 1978. Photosynthesis and nonstructural carbohydrate concentration in leaf blades of *Panicum virgatum* as affected by night temperature. *Can. J. Bot.* 56:63-68.
24. Laredo, M. A. 1985. Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. Programa Nacional de Nutrición Animal. División de Disciplinas Pecuarias. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. 23 p.
25. _____ y Minson, D. J. 1975. The effect of pelleting on the voluntary intake and digestibility of leaf and stem fractions of three grasses [*Digitaria decumbens*, *Chloris gayana* and *Setaria splendida*]. *Br. J. Nutr.* 33:159-170.
26. Ludlow, M. M. 1980. Effect of temperature on light utilization efficiency of leaves in C₃ legumes and C₄ grasses. *Photosynth. Res.* 1:243-249.
27. _____ y Ng, T. T. 1976. Photosynthetic light response curves of leaves from controlled environment facilities, glasshouses or outdoors [*Panicum maximum trichoglume*]. *Photosynthetica* 10:457-462.
28. _____ y Wilson, G. L. 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants. I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf-air vapour pressure difference [grasses, legumes]. *Austr. J. Biol. Sci.* 24:449-470.
29. _____ y Wilson, G. L. 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants. II. Temperature and illuminance history. *Austr. J. Biol. Sci.* 24:1065-1075.
30. McCown, R. L.; Hammer, G. L.; Hargreaves, J. N. G.; Holzworth, D. P.; y Freebairn, D. M. 1996. APSIM: A novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agric. Syst.* 50:255-271.
31. McKeon, G. M.; Day, K. A.; Howden, S. M.; Mott, J. J.; Orr, D. M.; Scattini W. J.; y Weston, E. J. 1990. Management for pastoral production in northern Australian savannas. *J. Biogeogr.* 17:355-372.
32. Moore, A. D.; Donnelly, J. R.; y Freer, M. 1991. GRAZPLAN: An Australian DSS for enterprises based on grazed pastures. Proceedings International Conference on Decision Support Systems for Resource Management. April 15-18. Texas A&M University, College Station, Texas, E.U.
33. Osmond, C. B.; Winter, K.; y Ziegler, H. 1982. Functional significance of different pathways of CO₂ fixation in photosynthesis. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B.; y Ziegler, H. (eds.). *Encycl. Plant Physiol. New Series*, Vol. 12 B. p. 480-547.
34. Parsons, A. J.; Leafe, E. L.; Collett, B.; y Stiles, W. 1983. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards sheep pastures, England. *J. Appl. Ecol.* 20:117-126.
35. Parton, W. J.; Scurlock, J. M. O.; Ojima, D. S.; Gilmanov, T. G.; Scholes, R. J.; Schimel, D. S.; Kirchner, T.; Menaut, J. C.; Seastedt, T.; Garcia, E.; Apinan, K.; y Kinyamario, J. I. 1993. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochem. Cycles* 7:785-809.
36. Pate, F. M. y Snyder, G. H. 1984. Effect of water table and nitrogen fertilization on tropical grasses grown on organic soil [*Stenotaphrum secundatum*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa polystachia*]. *Trop. Grassl.* 18:74-78.

37. Pearcy, R. W. y Elheringer, J. 1984. Comparative ecophysiology of C₃ and C₄ plants. *Plant Cell Environ.* 7:1-13.
38. Perry, L. J. Jr. y Moser, L. E. 1974. Carbohydrate and organic nitrogen concentrations within range grass parts at maturity. *J. Range Manage.* 27:276-278.
39. Quiroz, R.; Velarde, C. L.; Arce, B.; y Genin, D. 1995. El enfoque de sistemas de producción y la incorporación de criterios de política. Resultados de ensayos en ganadería con modelos de simulación. Santafé de Bogotá D.C., Colombia. p. 113-124.
40. Rao, I. M.; Borrero, V.; Ricaurte, J.; García, R.; y Ayarza, M. A. 1996. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. II. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. *J. Plant. Nutr.* 19:323-352.
41. _____; Kerridge, P. C.; y Macedo, M. C. M. 1996. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptations to acid soils. En: Miles, J. W.; Maass, B. L.; y Valle, C. B. do. (eds.). *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA/CNPGC), Campo Grande, Brasil. p. 53-71.
42. Reis, R. A. 1981. Efeitos dos regimes de cortes nos níveis de carboidratos totais não-estruturais e na produção de sementes do capim-braquiaria (*Brachiaria decumbens*, Stapf). Tesis Mag.Sc. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 70 p.
43. _____ y García, R. 1989. Effect of ammonia level, time of exposure to ammonia and period of storage on chemical composition and digestibility of two tropical grasses hay. En: International Grassland Congress, Niza, Francia, 1989. Proceedings. Versailles, Francia, Association française pour la production fourragère. v. 2, p. 1001-1002.
44. Ross, P. J.; Henzell, E. F.; y Ross, D. R. 1972. Effects of nitrogen and light in grass-legume pastures; a systems analysis approach. *J. Appl. Ecol.* 9:535-556.
45. Ryser, P. y Lambers, H. 1995. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast and slow growing grasses at different nutrient supply. *Plant Soil* 170:251-265.
46. Sheehy, J. E. y Chapas, L. C. 1976. The measurement and distribution of irradiance in clear and overcast conditions in four temperate forage grass canopies. *J. Appl. Ecol.* 13:831-840.
47. _____ y Cooper, J. P. 1973. Light interception, photosynthetic activity, and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses. *J. Appl. Ecol.* 10:239-250.
48. _____ y Peacock, J. M. 1975. Canopy photosynthesis and crop growth rate of eight temperate forage grasses. *J. Exp. Bot.* 26:679-691.
49. Simão Neto, M. y Serrão, E. A. S. 1974. Capim quicuío da amazonia (*Brachiaria* sp.). Bol. Tec. no. 58. Instituto de Pesquisa Agropecuária do Nordeste, Belém-PA, Brasil. p. 1-17.
50. Smith, D. y Greenfield, S. B. 1979. Distribution of chemical constituents among shoot parts of timothy [*Phleum pratense*] and switchgrass [*Panicum virgatum*] at anthesis. *J. Plant Nutr.* 1:81-99.
51. Stoorvogel, J. J.; Bouma, J.; y Bowen, W. T. (eds.). 1998. Information technology as a tool to assess land use options in space and time. Proceedings of an international workshop. Lima, September 28-October 4, 1997. DLO Res. Inst. Agrob. Soil Fert., C.T. de Wit Graduate School Prod. Ecol.. Quantitative Approaches in Systems Analysis 16, January 1998.
52. Thornley, J. H. M. y Verberne, E. L. J. 1989. A model of nitrogen flows in grassland. *Plant Cell Environ.* 12:863-886.
53. Toledo, J. M. y Schultze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica, Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. p. 91-110.
54. Valle, C. B. do. 1986. Cytology, mode of reproduction, and forage quality of selected species of *Brachiaria griseb*. Tesis Ph.D. University of Illinois, Illinois, E.U. 92 p.
55. Vallejos, A. 1988. Caracterización y evaluación agronómica preliminar de accesiones de *Brachiaria* y *Panicum* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag.Sc., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 138 p.
56. Ven, G. W. J. van de. 1992. GRASMOD: A grassland management model to calculate nitrogen losses from grassland. Report 158, CABO-DLO, Wageningen, Países Bajos. 109 p.
57. Wilman, D. y Pearse, P. J. 1984. Effects of applied nitrogen on grass yield, nitrogen content, tillers and leaves in field swards [*Lolium perenne*, *Festuca arundinacea*]. *J. Agric. Sci.* 103:201-211.
58. Wilson, G. L. y Ludlow, M. M. 1983. The distribution of leaf photosynthetic activity in a mixed grass-legume pasture canopy *Setaria sphacelata* var. *sericea*, *Desmodium intortum*. *Photosynth. Res.* 4:137-144.