UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

ADAPTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE AVENA (*Avena sativa* L.) Y RAIGRÁS (*Lolium multiflorum* Lam.) ANUAL

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

Bib. 93305

JUAN FRANCISCO ROMÁN DE LA CRUZ

MAYO DEL 2000

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN ZOOTECNIA

ADAPTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE AVENA (*Avena sativa* L.) Y RAIGRÁS (*Lolium multiflorum* Lam.) ANUAL

Tesis realizada por Juan Francisco Román de la Cruz bajo la dirección del Ir. Ricardo Daniel Améndola Massiotti, aprobada por el comité asesor indicado y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR _____

Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR _____

Ph. D. María Teresa Colinas León 36605

ASESOR _____

Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio

ADAPTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE AVENA (*Avena sativa* L.) Y RAIGRÁS (*Lolium multiflorum* Lam.) ANUAL

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Juan Francisco Román de la Cruz, autor de la presente Tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal estuvo constituido por:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESIDENTE _____

Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR _____

Ph. D. María Teresa Colinas León

ASESOR _____

Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la oportunidad de vivir y cumplir una más de mis metas.

A mis Padres:

María de la Luz de la Cruz y Enrique Román, por su grán amor y enseñansas.

A mis Hermanos:

Raul, Jesus, Sandra, Eduardo Enrique, Griselda, Belém y Luz Estrella, por su incondicional apoyo siempre.

Mis logros son también sus logros.

Juan Francisco

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, por el apoyo brindado para culminar mis estudios de posgrado

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Ir. Ricardo Daniel Améndola Massiotti, por su gran amistad, por sus conocimientos que compartió conmigo y por el tiempo dedicado para la realización de esta investigación.

Al Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernandez, la Ph. D. María Teresa Colinas León y Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio, por el tiempo dedicado y por sus valiosas observaciones para mejorar esta investigación.

Al Ing. Luis Enrique Zavala García, Ing. Oscar Almeraya Almeraya e Ing. Jorge Juarez Ramírez, por su gran amistad y apoyo durante mis estudios de posgrado.

A la familia Osorio Castrejón, por aceptarme como parte de ellos y por su desinteresada ayuda.

A mis amigos: Osman, José de Jesus, Román, Antonio Cantúa, Manuel Jesus Lopez, Eduardo y Alejandro Santellano, por su amistad.

A todos aquellos que de alguna manera me impulsaron a cumplir esta meta.

GRACIAS

Juan Francisco

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales:

Nombre: Juan Francisco Román de la Cruz

Lugar de origen: Peñón Blanco, Durango

Profesión: Ingeniero Agrónomo Zootecnista

Cédula Profesional: 2655765

Formación académica:

Escuela Secundaria Técnica # 11. Peñón Blanco, Durango (1984-1987).

Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México (1988-1991).

Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México (1991-1995).

ABSTRACT

Román de la C. J. F., R. D. Améndola M., P. A. Martínez H.,

M. T. Colinas L. y C. A. Ortiz S.

A MODEL TO SIMULATE FORAGE YIELD OF OAT (*Avena sativa* L.) AND ANNUAL RYEGRASS (*Lolium multiflorum* Lam.).

In Chapingo, Mexico, during a six weeks regrowth period at the end of winter, gross photosynthesis rate at light saturation (Pb), leaf area index (LAI), extinction coefficient (*k*) and aerial biomass of oats and annual ryegrass monocultures and the mixture of both species were measured. Monocultures were evaluated using the normal sowing density and the sowing density used in the mixture (50% lower). The mixture was evaluated using two cutting heights (5 and 8 cm). In both experiments a randomly block design was used. An infrared gas analyser was used for the measurement of Pb; leaf area was determined by cutting, weighing and estimating specific leaf area; *k* was estimated by measuring radiation above and below the canopy with a lineal ceptometer. Measurements took place every week, dividing the canopy in layers of 5 cm starting at soil level. Sowing density did not affect any of the variables under study; during the whole regrowth period, aerial biomass was greater with the cutting height of 8 cm. In monocultures LAI had an exponential evolution, whereas in the mixture had a logistic evolution with maximum values between 7 and 9. No differences were found in *k* between the experiments, although values of the mixture tended to be the highest and those of the monocultures tended to be the lowest. Pb of leaves from the lowest layer of the canopies were lower than those of leaves from higher layers, and in the lowest layer Pb tended to have a maximum value at the middle of regrowth period, whereas in the others layers it decreased continuously. The results of the measurements were used in the equations of a dynamic, deterministic, mechanistic model for the simulation of the growth of the monocultures and the mixture. However, the model could not be validated because of the lack of independent data basis.

Key words: oats (*Avena sativa* L.), annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.), gross photosynthesis, leaf area index (LAI), extinction coefficient (*K*), simulation model.

RESUMEN

Román de la C. J. F., R. D. Améndola M., P. A. Martínez H.,

M. T. Colinas L. y C. A. Ortiz S.

ADAPTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN AVENA (*Avena sativa* L.) Y RAIGRAS (*Lolium multiflorum* Lam.)ANUAL.

En Chapingo, México, durante un ciclo de crecimiento a fines del invierno, se evaluaron las tasas de fotosíntesis bruta (Pb), el índice de área foliar (IAF), el coeficiente de extinción (*k*) y la biomasa aérea en avena y raigrás anual como monocultivo y asociados. En monocultivo se evaluó la densidad de siembra normal y la empleada en la asociación (50% inferior). En asociación se evaluaron dos alturas de corte (5 y 8 cm). En ambos experimentos se empleó un diseño en bloques al azar. Para la determinación de Pb se empleó un analizador infrarrojo de gases, el área foliar se determinó por corte y estimación del área foliar específica, para la estimación de *k* se midió la luz interceptada con un ceptómetro lineal. Las mediciones se realizaron semanalmente por un período de 6 semanas. En todos los casos se consideraron estratos de 5 cm a partir del nivel del suelo. La densidad de siembra no afectó ninguna de las variables estudiadas, en tanto que, durante todo el ciclo, la biomasa aérea de la asociación fue mayor con la altura de corte de 8 cm. IAF presentó una evolución exponencial en los monocultivos mientras que en la asociación ésta fue logística tendiendo a un IAF máximo entre 7 y 9. No se encontró diferencia en *k* para ninguno de los casos aunque en general la asociación tendió a presentar los mayores valores y el monocultivo de raigrás los menores. Pb del estrato inferior fue menor que en los demás estratos; en el estrato inferior tendió a presentar un máximo a mediados del ciclo, en tanto que en los demás estratos decreció continuamente. Se formuló un modelo dinámico, determinístico, mecánico y descriptivo del crecimiento de los monocultivos y la asociación, pero no fue validado debido a la carencia de datos ajenos a su formulación.

Palabras clave: avena (*Avena sativa* L.), raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.), fotosíntesis bruta, índice de área foliar (IAF), coeficiente de extinción (*K*), modelo de simulación.

CONTENIDO

Página

Lista de cuadros v

Lista de figuras vii

1. Introducción 1

2. Revisión de literatura 3

2.1 Especies de estudio 3

2.1.1 Avena (*Avena sativa* L.) 3

2.1.2 Raigrás (*Lolium multiflorum* Lam.) 4

2.1.3 Asociación avena-raigrás 4

2.2 Modelos de simulación 5

2.2.1 Conceptos básicos 5

2.2.2 Clasificación de modelos 6

2.3 Tasa fotosintética del dosel 8

2.3.1 Intercepción de luz por un dosel 9

2.3.2 Eficiencia fotosintética de hojas individuales 12

2.3.2.1 Luz 12

2.3.2.2 Temperatura 13

2.3.2.3 Nitrógeno (N) 14

2.3.2.4 Humedad 15

2.3.2.5 Defoliación 16

2.3.2.6 Edad y posición de la hoja 17

3. Hipótesis 21

4. Materiales y métodos 22

4.1 Localización 22

4.2 Clima 22

4.3 Suelo 24

4.4 Experimentos 26

4.4.1 Densidad de siembra en monocultivo 26

4.4.2 Altura de corte en asociación 26

4.4.3 Efecto de N en asociación 27

4.5 Manejo de las parcelas experimentales 27

4.5.1 Siembra 27

4.5.2 Riego 27

4.5.3 Muestreos de rendimiento 28

4.6 Variables medidas y calculadas 28

4.6.1 Calibración del aparato de agujas 28

4.6.2 Selección de cuadros de muestreo 28

4.6.3 Area foliar específica (AFE) e índice de área foliar (IAF) 30

4.6.4 Intercepción de luz 31

4.6.5 Coeficiente de extinción (*k*) 32

4.6.6 Fotosíntesis neta (Pn), respiración (R) y fotosíntesis bruta (Pb) .. 32

4.6.7 Composición botánica 34

4.6.8 Determinación de cenizas 34

4.6.9 Determinación de nitrógeno total 34

4.6.10 Conteo de hijatos 34

4.6.11 Determinación de nitrógeno total (N) 35

4.7 Análisis estadístico 35

4.7.1 Calibración del aparato de agujas 35

4.7.2 Selección de cuadros de muestreo 35

4.7.3 Area foliar específica (AFE) 36

4.7.4 Indice de área foliar (IAF) 37

4.7.5 Coeficiente de extinción (*k*) 38

4.7.6 Obtencion de las ecuaciones para fotosíntesis neta (Pn), respiración (R) y fotosíntesis bruta (Pb) 39

4.7.7 Rendimiento de materia seca 40

4.7.8 Conteo de hijatos vivos y muertos 41

4.7.9 Efecto nitrógeno 41

4.8 Construcción del modelo 42

5. Resultados y discusión 45

5.1 Tecnica de la aguja inclinada 45

5.2 Selección de cuadros de muestreo 46

5.3 Area Foliar Específica (AFE) 48

5.4 Indice de Area Foliar (IAF) 49

5.5 Coeficiente de extinción (*k*) 54

5.6 Fotosíntesis bruta (Pb) 57

5.7 Composición Botánica 61

5.8 Rendimiento 63

5.9 Efecto nitrógeno 66

5.10 Resultados del modelo de simulación 67

5.10.1 Resultados de las corridas de los modelos 71

6. Conclusiones 75

7. Literatura citada 76

ANEXOS 85

Lista de cuadros

Cuadro 1. Producción de materia seca de *Avena spp.* en la época invernal en Chapingo, México 3

Cuadro 2. Producción de forraje (t MS ha^{-1}) de la asociación avena-raigrás en Chapingo, México 5

Cuadro 3. Area foliar específica (SLA - $cm^{-2}\ g^{-1}$ -) de especies C3 10

Cuadro 4. Fotosíntesis bruta (Pb -µmol $CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$-) en plantas C3 en respuesta a factores ambientales 18

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo del area experimental 25

Cuadro 6. Relación entre lecturas de agujas (variable dependiente) y el IAF de avena y raigrás anual estimado por corte, separación manual y determinación del AFE (variable independiente) 45

Cuadro 7. Area Foliar Específica ($cm^2\ g^{-1}$) de avena y raigrás anual en diferentes estratos 46

Cuadro 8. Relación entre la energía incidente (variable dependiente) y el IAF de avena y raigrás anual determinado por corte(variable independiente) ... 46

Cuadro 9. Medias de altura y radiación interceptada en cultivos de avena y raigrás anual en parcelas y cuadros seleccionados 47

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión entre la altura y la radiación interceptada en parcelas (variable independiente) y cuadros seleccionados (variable dependiente) 47

Cuadro 11. AFE ($cm^2\ g^{-1}$) de avena y raigrás anual en diferentes estratos 49

Cuadro 12. Coeficientes de extinción (*k*) durante el período de rebrote 55

Cuadro 13. Número de hijatos por m^2 y proporción de hijatos muertos para avena y raigrás anual a diferentes densidades de siembra 64

Cuadro 14. Efecto de dosis crecientes de N en la asociación avena-raigrás 67

Lista de figuras

Figura 1. Variables de clima en Chapingo, México del 1 de noviembre de 1998 al 30 de abril del 2000 23

Figura 2. Diagrama de flujo de SUCROS (Penning de Vries *et al*, 1989) 44

Figura 3. Evolución del IAF de avena y raigrás anual en monocultivo y asociación .. 52

Figura 4. Evolución de la estructura del área foliar en avena y raigrás en monocultivo 53

Figura 5. Evolución de la estructura del área foliar en la asociación avena-raigrás 53

Figura 6. Extinción de la radiación en monocultivos de avena y raigrás 56

Figura 7. Extinción de la radiación en la asociación avena-raigrás 56

Figura 8. Fotosíntesis bruta en avena por estratros 58

Figura 9. Fotosíntesis bruta en raigrás por estratos 58

Figura 10. Aporte relativo de cada estrato a la fotosintesis bruta del dosel de riagras 60

Figura 11. Aporte relativo de cada estrato a la fotosintesis bruta del dosel de avena 61

Figura 12. Composición botánica por estratos a cada 5 cm de la asociación avena-raigrás cosechada a dos intensidades de corte durante un período de rebrote en marzo 62

Figura 13. Producción de materia seca cosechable y residual para avena y raigrás en un período de rebrote 63

Figura 14. Producción de materia seca cosechable y residual para la asociación avena-raigrás a diferentes alturas de corte para un período de rebrote 65

Figura 15. Producción de materia seca para avena, raigrás y la asociación a diferentes alturas de corte durante un período de rebrote 66

Figura 16. Rendimiento de materia seca de la asociación avena-raigrás predicho por el modelo y obtenido en el experimento 73

Figura 17. Rendimiento de materia seca en raigrás predicho por el modelo y obtenido en el experimento 74

Figura 18. Rendimiento de materia seca en avena predicho por el modelo y obtenido en el experimento 74

I. INTRODUCCIÓN

El uso de cultivos forrajeros de invierno para aumentar la disponibilidad de forraje en dicha época, es una alternativa que ha tomado importancia en los sistemas de producción de leche en pastoreo. Dentro de éstos se encuentra la asociación avena-raigrás anual, la cual da la oportunidad de ampliar la estación de pastoreo y mejorar la calidad y cantidad del forraje (Melgoza *et al.*, 1991). Martínez (1999) encontró que la asociación avena-raigrás anual, en un sistema de producción de leche en pastoreo basado en praderas de alfalfa-ovillo, aportó dos terceras partes de la producción neta de forraje en invierno, y el grado de utilización fue mejor que el encontrado en alfalfa-ovillo.

La construcción de modelos dinámico-mecánicos provee un medio para integrar el conocimiento de procesos individuales de plantas y cultivos para incrementar la comprensión del sistema integrado; ayuda a identificar lagunas en el conocimiento necesario para la construcción del modelo; muchos datos relevantes de un proceso complejo pueden ser descritos concisamente en términos de unos pocos parámetros, simplificando así, la discusión del proceso. Además, los modelos tienen la capacidad de predicción, lo que permite extrapolar mejor los resultados de la investigación (Sheehy y Johnson, 1988).

El desarrollo de un modelo dinámico-mecánico puede ser de gran utilidad para la investigación sobre el empleo de la asociación avena-raigrás anual en sistemas de pastoreo.

OBJETIVOS

General:

- Adaptar el modelo SUCROS para simular la producción de forraje del dosel de avena y raigrás anual.

Particulares:

- Obtención de funciones y parámetros para el modelo con datos locales de fotosíntesis bruta, respiración, evolución del índice de área foliar e intercepción de luz.
- Encontrar los efectos de la densidad de siembra, altura de corte, y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis bruta, respiración, evolución del índice de área foliar e intercepción de luz de la asociación avena-raigrás anual.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de forraje de las especies de estudio

2.1.1 Avena (*Avena sativa* L.)

La producción de forraje de avena es influenciada por la variedad usada, destacando variedades como Cooker y Horicon que en corte pueden producir hasta 10 t MS ha^{-1}, aunque existen variedades que no superan 5 t MS ha^{-1}. La época de siembra puede determinar el rendimiento, en el cuadro 1 se observa que Morales (1995) obtuvo rendimientos entre 3.7 y 4.3 t MS/ha en un ciclo otoño-invierno, en tanto que los rendimentos obtenidos por García et al. (1994) en un ciclo invierno-primavera fueron tres veces superiores. Esqueda *et al.* (1995), al probar diferentes fechas de siembra no reportan diferencias en producción total. El número de cortes también tiene efecto sobre la masa de forraje total, García *et al.* (1994) reportan un incremento en *A. bizantina* al pasar de un corte a dos, aunque al dar tres cortes la producción de forraje disminuyó.

Cuadro 1. Producción de forraje (t MS ha^{-1}) de *Avena spp.* en la época invernal en Chapingo, México.

Especie	Cortes	Producción	Referencia
A. sativa var. Cooker	4	4.3	Morales (1995)
A. sativa var. Calibre	Pastoreo	3.7	
A. sativa var. Saia		3.9	
A. sativa	1	11.9	
A bisantina	1	10.5	García *et al.* (1994)
	2	15.3	
	2	16.2	
	3	13.6	
	3	12.8	

2.1.2 Raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.)

El raigrás anual es un cultivo de más lento establecimiento que la avena pero produce mayor cantidad de forraje y calidad superior. Otra ventaja del raigrás anual es que su producción está repartida a través del invierno y principios de primavera (Farías *et al.*, 1983). Hernández y Eguiarte (1992), al evaluar diferentes cultivos de invierno, reportan al raigrás anual como el más sobresaliente, superando en 37% al rendimiento que presentó avena.

Un factor que afecta la masa de forraje producida por el raigrás anual es el número de cortes que se le den, observándose una relación positiva entre estas dos variables. Otra característica importante a considerar en el establecimiento de raigrás anual es la variedad empleada, tal como lo indican Hernández y Eguiarte (1992), quienes reportan diferencia de más de dos toneladas de forraje ha^{-1} por efecto de la variedad utilizada. García *et al.* (1994), reportan un rendimiento de 11.4 y 10.5 t MS ha^{-1} en tres pastoreos para las variedades Matador y Westerwolds, respectivamente.

2.1.3 Asociación avena-raigrás anual

La asociación avena-raigrás anual presenta la ventaja de tener una mayor tasa de acumulación de forraje y mayor extensión de la estación de pastoreo que los monocultivos. En el cuadro 2 se muestran algunos resultados obtenidos en la asociación avena-raigrás anual. Esta ventaja resulta de un uso más eficiente de los recursos ambientales debido a la combinación de la agresividad de la avena en etapas tempranas con las más altas tasas de crecimiento del raigrás anual al final de la estación de crecimiento (Améndola y Morales, 1997).

Cuadro 2. Producción de forraje (t MS ha^{-1}) de la asociación avena-raigrás anual en Chapingo, México.

Cultivo	Forraje ofrecido	Forraje Residual	Fuente
Avena+raigrás anual+N	3.37	1.376	Dorantes (1997)
Avena+raigrás anual matador	5.374		García *et al.* (1994)
Avena+raigrás anual	7.199	4.804	Cortez (1998)
Avena+raigrás anual	5.89	2.021	Martínez (1999)
Avena+raigrás anual* 0	5.845		Flores *et al.* (1999)
150	7.052		
300	8.354		
450	9.484		

* tres cortes con diferentes niveles de fertilización nitrogenada (kg N ha^{-1} $ciclo^{-1}$)

2.2 Modelos de simulación

2.2.1 Conceptos básicos

Con el objetivo de facilitar la comprensión de la técnica de simulación, es necesario definir algunos conceptos básicos, para lo cual se seguirán los lineamientos propuestos por De Wit (1982).

A) **Sistema.** Se refiere a una parte limitada de la realidad, compuesta por elementos que se interrelacionan entre sí; por ejemplo, un cultivo de maíz, la asimilación de CO_2, etc. Un sistema, sus límites y componentes, es definido en función de los objetivos de estudio que definirá el nivel jerárquico en el que se trabajará; y se empleará el conocimiento de uno a dos niveles jerárquicos inferiores como la trama explicativa del funcionamiento del sistema.

B) **Niveles jerárquicos.** Se refieren a los niveles crecientes de organización de un

sistema. Por ejemplo, en un sistema biótico, estos niveles son: moléculas, organelos, células, tejidos, individuos, ecosistemas.

C) **Modelo.** Es una representación simplificada de un sistema; así, se tiene que hay modelos de tipo climático, hidrológico, mecánico, de reciclado y movimiento de nutrimentos, de temperatura del suelo, crecimiento y desarrollo de cultivos, etc.

D) **Simulación.** Es la construcción de modelos matemáticos y el estudio de sus propiedades con referencia a las del sistema.

E) **Tipos de variables.** Las variables que en un momento dado definen el estado del sistema se denominan variables de estado y son cantidades que pueden ser medidas, tales como biomasa, número de plantas, cantidad de nitrógeno en el suelo, etc. Cada variable de estado se relaciona con una serie de variables de tasa, las cuales caracterizan su grado de cambio en un determinado momento como resultado de un proceso específico; estas variables representan flujo de materia o energía entre las variables de estado. Las variables de tasa son independientes entre sí y se ven afectadas por las variables de estado y variables conductoras, estas últimas caracterizan el efecto del ambiente sobre el sistema y sus componentes, por ejemplo, temperatura, radiación, etc.

2.2.2 Clasificación de modelos

Thornley (1976; citado por Sheehy y Jonson, 1988) divide los modelos matemáticos en dos categorías: dinámico-mecánicos y empíricos. Los modelos dinámico-mecánicos describen el comportamiento de una planta o cultivo en términos de cómo funcionan sus partes. Un ejemplo de un modelo mecánico es la hipótesis de Munich, la cual describe el movimiento de los productos de la fotosíntesis en el floema. El modelo se basa en que

las diferencias de concentraciones en la planta resultan en gradientes de presión, los cuales fuerzan el contenido del floema a transladarse.

Frecuentemente, los modelos empíricos son formulados para aplicar técnicas estadísticas a datos experimentales con el fin de obtener la ecuación más satisfactoria para describir y resumir los resultados. Los modelos empíricos, o ecuaciones, de varios procesos de un sistema pueden entonces combinarse para proveer una descripción mecánica del sistema. Por ejemplo, Sheehy y Jonson (1988) construyeron un modelo mecánico de la fotosíntesis de un dosel a partir de ecuaciones empíricas que describen la intercepción de luz a través del dosel, y la respuesta de hojas individuales a la radiación.

Un buen ejemplo de un modelo empírico es la ecuación desarrollada por regresión lineal que describe la relación entre la tasa de crecimiento del cultivo y el porcentaje de luz interceptada. Sheehy y Jonson (1988) señalan a partir de una revisión de modelos de simulación que algunos de los peores ejemplos de modelos empíricos incluyen la predicción del rendimiento de un cultivo a partir de datos climáticos. Como consecuencia de la falta de estructuras mecánicas, dichos modelos son incapaces de predecir aceptablemente para condiciones de clima extremas y anormales. Así, para realizar buenas predicciones del rendimiento de forraje de un cultivo, bajo las condiciones climáticas que éste experimenta, es deseable que los modelos sean mecánicos. Sin embargo, la diferenciación entre modelos mecánicos y empíricos no es aun clara (Thornley, 1976; citado por Sheehy y Jonson, 1988), y los modelos fisiológicos de los cultivos están compuestos por varios submodelos, algunos de los cuales pueden ser mecánicos o empíricos.

Los modelos de tipo empírico (descriptivos) de los niveles jerárquicos inferiores se vuelven de tipo explicativo (mecánico) del funcionamiento del sistema en un nivel jerárquico superior. Fernández y López-Bedillo (1993) señalan que la construcción de un modelo debe comenzarse con la formulación clara de los objetivos que conciernen al uso del modelo deseado, ya que los sistemas biológicos son tan complejos que sus modelos siempre representan una simplificación del sistema real. Dichos objetivos definen el nivel jerárquico que se va a simular y que niveles jerárquicos inferiores a éste se van a emplear. En este estudio, el nivel jerárquico a simular es el dosel y el inferior es la hoja.

La habilidad predictiva de los modelos mecanísticos no siempre cumple con las expectativas. Debe entenderse, sin embargo, que cada parámetro estimado y formulación de procesos tienen su propia imprecisión, y que los errores pueden acumularse en la predicción del rendimiento final. No obstaote, la predicción del rendimiento es una intención secundaria de esos modelos. Su principal objetivo es aumentar la percepción en el sistema estudiado integrando cuantitativamente el conocimiento presente en un modelo de simulación dinámico. Estudiando el comportamiento del modelo, se obtiene mejor percepción del sistema real.

2.3 Tasa fotosintética del dosel

De acuerdo a Goudriaan y van Laar (1994), es posible calcular la fotosíntesis del dosel integrando la fotosíntesis de hojas individuales que componen el dosel, lo cual regularmente se realiza dividiendo el dosel en estratos. Gran parte de los modelos se basan en el gradiente de energía en el dosel partiendo de la base que la tasa fotosintética

del estrato depende de la energía incidente, la proporción de esa energía que es interceptada por el estrato y la eficiencia fotosintética de las hojas del estrato.

2.3.1 Intercepción de luz por un dosel

Los modelos de asimilación de CO_2 usualmente son estructurados en dos partes. La primera parte describe la absorción de luz por las hojas dentro del dosel y la segunda parte calcula la tasa de asimilación de CO_2 de las hojas, basada en sus características asimilatorias. El resultado de la integración de estas tasas sobre la altura del dosel y el día es la tasa total de asimilación diaria de CO_2 del dosel (Goudriaan, 1986; citado por Nassiri *et al*, 1998).

La productividad de un cultivo depende de la intercepción y utilización de la energía solar (Sheehy *et al.*, 1992; Ludlow, 1978). La radiación solar se caracteriza con base a la longitud de onda y tipo (directa o difusa) de sus componentes, la longitud de onda de la luz del día está entre 300 y 3000 nm, la radiación fotosintéticamente activa (PAR) está entre las longitudes de onda de 400 y 700 nm y comprende 50% de la luz del día. Parte de la radiación solar es dispersada por partículas en la atmósfera (aerosoles, polvo y nubes) y es recibida como radiación difusa. Esta radiación es más rica en PAR que la radiación directa y se incrementa con la nubosidad (Sestak, 1971).

La penetración al dosel de la radiación solar está estrechamente relacionada con la estructura del mismo, donde los espacios en él determinan la cantidad de luz que penetra en una dirección dada; además la frecuencia de espacios está en función del follaje, índice de área foliar e inclinación de las hojas (Sestak, 1971; Nobel y Long, 1985).

La intercepción de luz es una función de la cantidad de hojas en una pradera, la cual, para este propósito, es expresada como el índice de área foliar (IAF). El IAF es definido como el área de superficie de hoja (medida por un solo lado) por unidad de terreno. Para conocer el IAF, es necesario determinar el área foliar específica (AFE), la cual es el cociente del área de lámina entre su peso en base seca (Thomas, 1980). En el cuadro 3 se presentan valores de AFE de gramíneas C3 reportados en la literatura.

Cuadro 3. AFE ($cm^2 g^{-1}$) de especies C3.

Especie	SLA	Condiciones de manejo	Referencia
Avena spp	221		Criswell y Shibles (1971)
A sativa	226		
A barbata	254		Garnier *et al.* (1997)
Lolium rigidum	253		
L. perenne	261	Asociación con trébol	Nassiri *et al.* (1998)
	255	Asociación con trébol+150 kg N ha^{-1} ciclo	
	204	Sin fertlilización nitrogenada	
	247	150 kg N ha^{-1} $ciclo^{-1}$	
	251	300 kg N ha^{-1} $ciclo^{-1}$	

Los incrementos en IAF dependen de la tasa de aparición de hojas nuevas (TAH) y la tasa de extensión de las hojas (TEH). La TAH depende del número de puntos de crecimiento (meristemos) y de la tasa de aparición de hojas nuevas en estos meristemos (plastocrono). El plastocrono es influenciado por varios factores ambientales, entre ellos la temperatura ambiental tiene un efecto muy importante, al incrementarse ésta, las hojas aparecen más rápido (Anslow, 1966). La TEH depende principalmente de la elongación

diaria de las hojas (cm.día^{1}), la cual es influenciada por factores ambientales como nitrógeno, humedad, temperatura, luz. Además de TAH y TEH, el IAF es fuertemente influenciado por la densidad y tasa de aparición de hijatos.

El IAF al cual virtualmente toda la luz es interceptada (IAF crítico) usualmente se encuentra en el intervalo de 4 a 6 para praderas de gramíneas pura y de gramíneas asociadas con trébol. Sin embargo, el IAF crítico varía con el ángulo de incidencia de la luz solar y con la estructura del dosel de la pradera, siendo IAF menor cuando el sol está bajo en el ciclo de invierno y cuando las hojas en la pradera se disponen en forma más o menos horizontal (Hodgson, 1990).

En general, un incremento del IAF causa incremento tanto en la intercepción de luz como en la tasa de crecimiento bajo condiciones ambientales favorables; sin embargo, los incrementos en intercepción de luz son decrecientes (Brown y Blaser, 1968).

La ecuación mas comúnmente usada para describir la intercepción de luz por un dosel es a menudo referida como ley de Beer (Acock *et al.* 1970; citado por Acock, 1991). Esta misma ley es a veces atribuida a Lambert o Bourguer. Esta fue originalmente desarrollada para describir la atenuación de la luz en una suspensión de partículas, pero también ha sido exitosamente aplicada a doseles de cultivos en la forma:

$$I' = I_o^{-kl}$$

donde I' es la intercepción de luz a una posición dada dentro del dosel con un índice de área foliar (l), $I°$ es la densidad de flujo de luz sobre el dosel y k es el coeficiente de extinción del dosel (Acock, 1991).

La eficiencia a la cual el follaje en el dosel absorbe la luz depende de la inclinación de las hojas y tipo de luz recibida (difusa vs. directa). En algunos modelos, el *k* de las especies en estudio es asumido como constante para la altura del dosel y en el tiempo. Sin embargo, se han reportado variaciones en el *k* para monocultivos y asociaciones (Kropff, 1993; Meinke, 1996; Inoue, 1995; citados por Nassiri *et* al., 1998).

2.3.2 Eficiencia fotosintética de hojas individuales

En el cuadro 4 se presentan valores de tasas de fotosíntesis bruta de plantas C3 reportados en la literatura. La eficiencia fotosintética de hojas individuales es afectada por factores ambientales, los cuales son descritos a continuación.

2.3.2.1 Luz

La luz es el factor que determina el rendimiento final de una comunidad de plantas o de una especie en particular. La capacidad final de una especie para producir materia seca depende de la habilidad de una comunidad de plantas para aprovechar la luz recibida. Este nivel de producción depende de la altura y hábito de crecimiento de la especie: especies de hábito postrado y con hojas densas y horizontalmente dispuestas (ejemplo: el trébol –*Trifolium repens*-) logran un dosel denso y una completa explotación de la luz a alturas más bajas que los pastos altos, con hábito de crecimiento erecto y hojas dispuestas a varios niveles y ángulos no forman una cobertura continua (Robson *et al.*, 1988).

El efecto de la luz sobre la tasa fotosintética y, como consecuencia, sobre el crecimiento, puede ser considerado a dos niveles: 1) la saturación por luz y las máximas tasas

fotosintéticas de hojas simples; y 2) la distribución de la luz en el dosel. En una pradera, cuando 95% de la luz incidente es interceptada, solamente aquellas hojas que se localizan en la parte superior del dosel alcanzan su máxima tasa fotosintética (Leafe, 1972; citado por Kemp, 1984). La saturación por luz limita la productividad de las praderas donde las hojas tienen una baja capacidad fotosintética (Robson, 1980; citado por Kemp, 1984). Esto ocurre en hojas desarrolladas en la parte inferior de la pradera. Las hojas desarrolladas a bajos niveles de radiación tienen una más baja tasa fotosintética por unidad de área foliar a niveles de saturación por luz, una tasa similar o más alta a bajas radiaciones y una tasa de respiración más baja. Esas diferencias se deben a cambios morfológicos: la conductancia estomatal y residual son mayores en hojas que crecen a altas intensidades de luz, estas hojas tienen un mayor número de estomas, son mas gruesas, tienen mayor cantidad de células del mesófilo por unidad de área foliar, cloroplastos más grandes y en mayor número y una mayor actividad de la RuBP carboxilasa-oxigenasa (Prioul *et al.*, 1975; Woledge y Dennis, 1982; citados por Robson *et al.*, 1988).

2.3.2.2 Temperatura

La adaptación fotosintética de los pastos a los cambios de temperatura no es tan clara como su adaptación a la luz (Robson *et al.*, 1988). La actividad fotosintética de los pastos usualmente muestra una respuesta positiva a los incrementos en temperatura, alcanza un óptimo, el cual se extiende por varios grados, y eventualmente disminuye. Para pastos templados, la temperatura óptima es aproximadamente 20°C (Wilson, 1973). Sin embargo, existen diferencias entre especies y ecotipos. En algunos casos, el crecimiento a bajas temperaturas resulta en una mayor capacidad fotosintética, mientras

en otros, la temperatura de crecimiento tiene poco efecto (Treharne y Eagles, 1970; citados por Robson *et al.*, 1988).

La temperatura controla el crecimiento de los pastos principalmente a través de regular las tasas de reacciones que utilizan los productos de la fotosíntesis. Esta idea es apoyada por varias observaciones que cuando la temperatura declina, se da una acumulación de carbohidratos (Eagles, 1967; citado por Kemp, 1984). La fotosíntesis neta es influenciada por la tasa de respiración, y la respiración oscura usualmente se incrementa con la temperatura, aunque las curvas de respuesta de la respiración oscura y foto-respiración a la temperatura pueden ser diferentes (El-Sharkawy y Hesketh, 1964; citados por Cooper y Tainton, 1968).

2.3.2.3 Nitrógeno (N)

La tasa fotosintética es sensible a la deficiencia de N en los tejidos. Ryle y Hesketh (1969, citados Wilson, 1973) encontraron en *Zea mays* una reducción en la fotosíntesis neta asociada con una deficiencia de N. Una mayor área foliar, la cual permite aumentar la intercepción de luz, es la principal causa del aumento en el rendimiento de los cultivos resultado de la aplicación de N, pero algunos estudios sugieren que puede haber aumentos en la tasa fotosintética por unidad de área foliar (Robson y Parson, 1978; Willman y Wright, 1983). Cuando existen deficiencias de N, y esas deficiencias son corregidas, se incrementa la actividad metabólica de las hojas, pero cuando los niveles de N son los adecuados, el efecto es pequeño. El efecto del N en la tasa de asimilación neta interactúa con la defoliación y el momento de la aplicación: la fertilización nitrogenada después de la defoliación en praderas de raigrás anual, incrementa

sustancialmente la tasa fotosintética, pero tiene poco efecto después de 4 semanas de rebrote (Woledge y Pearse, 1985; citados por Whitehead, 1995).

2.3.2.4 Humedad

La tasa fotosintética es directamente proporcional a las concentraciones de CO_2 en la capa de aire cercana a la hoja, y a la resistencia interna y estomatal para la difusión de CO_2. Los niveles de estrés hídrico reducen la apertura estomatal y la tasa fotosintética (Jones, 1988), esto sugiere que el comportamiento de los estomas controla esta función (Brix, 1962; Boyer, 1970; citados por Brady, 1973). La fotosíntesis del dosel es dependiente del área de hoja que intercepta la luz, consecuentemente, el estrés hídrico reduce la expansión foliar, afectando así la tasa fotosintética (Jones, 1988). Jones *et al.* (1980; citados por Jones, 1988) encontraron que en *Lolium perenne*, mas de 40% de la reducción de la fotosíntesis en praderas sometidas a estrés hídrico, puede ser atribuida al cierre estomatal y no a un decremento en la resistencia interna. El efecto del estrés hídrico sobre la tasa fotosintética depende del grado del estrés, esto se relaciona con el tiempo necesario para que la planta desarrolle ciertos niveles de tolerancia (Jones, 1988).

2.3.2.5 Defoliación

Cuando una pradera es defoliada, el IAF remanente está compuesto de hojas viejas que se han mantenido a bajos niveles de radiación, dichas hojas tienen una baja tasa fotosintética por unidad de área foliar a niveles de saturación por luz (Prioul, 1971; Woledge, 1971, 1973; citados por Robson *et al.*, 1988). El control del rebrote ha sido atribuido al IAF remanente por varios investigadores (Langer, 1959; citado por Brown y Blaser, 1968); sin embargo, la disminución de carbohidratos solubles o almidón en los

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

órganos basales y subterráneos después de la defoliación, ha conducido a otros a concluir que la tasa de rebrote es influenciada por la concentración de carbohidratos en los órganos de almacenamiento (Brown y Blaser, 1965; citados por Brown y Blaser, 1968). La cantidad de los carbohidratos de reserva usados en el rebrote depende del grado de defoliación, la capacidad fotosintética de las hojas remanentes y las condiciones ambientales. Existe una fuerte interacción entre los carbohidratos de reserva y el IAF remanente durante los momentos iniciales del rebrote (Brown y Blaser, 1968).

Cuando los pastos son sometidos a defoliaciones diferenciales, las hojas remanentes incrementan su tasa fotosintética, y la proporción de la distribución de asimilatos es alterada a favor de los hijatos defoliados. Resultados obtenidos con defoliaciones diferenciales muestran que el estrés impuesto por la defoliación es eficientemente amortiguado por una rápida reorganización de la economía del carbono en la planta. El incremento en la tasa fotosintética de las hojas remanentes, la proporción de los fotosintatos exportados por las hojas más viejas, y el cambio en el patrón de distribución permite a los hijatos recibir un mayor soporte de las partes intactas de la planta (Gifford y Marshall, 1972; Marshal y Sagar, 1965, 1968).

2.3.2.6 Edad y posición de la hoja

Cuando se mide la tasa fotosintética de las hojas en campo, donde el ambiente de la planta está cambiando continuamente, es importante identificar el efecto de la edad y posición de la hoja en el dosel (Frank, 1981). Conforme aumenta la edad de la hoja, su tasa fotosintética disminuye inmediatamente después de su máxima expansión y antes de cualquier signo visible de senescencia (Treharne y Eagles, 1970; Woledge, 1972; citados

por Robson *et al.*, 1988). Robson *et al.* (1988), en un cultivo de *Lolium temulentum* encontraron que las hojas jóvenes maduras fotosintetizan 25-33% más que las hojas viejas. La disminución en la tasa fotosintética es acompañada de una reducción en la resistencia residual y estomática (Woledge, 1972: citado por Robson *et al.*, 1988), además de una reducción en la actividad de la RuBP carboxilasa-oxigenasa (Treharne y Eagles, 1970; citados por Robson *et al.*, 1988).

La posición de la hoja en el hijato puede también afectar la tasa fotosintética en las hojas de los pastos (Wilson, 1973). En *Lolium perenne*, por ejemplo, las hojas formadas mas tarde son usualmente mas grandes, con pocas células del mesófilo pero mas grandes, resultando en un aparente efecto por posición cuando la fotosíntesis es expresada en base a unidades de volumen del mesófilo (Wilson y Cooper, 1969ª; citados por Wilson, 1973). Frank (1981) para tres especies de pastos encontró que la relación entre la fotosíntesis y la resistencia estomatal indicó que las hojas mas altas comparadas con las mas bajas tuvieron una tasa fotosintética más alta a valores de resistencia mas altos.

Cuadro 4. Fotosíntesis bruta (μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) en plantas C3 en respuesta a factores ambientales.

Radiación (w m^{-2}) *	nivel	Pb	Cooper y Tainton, 1968
	400	32.8	
	300	32.8	
	200	32.8	
	185	32.8	
	150	31.2	
	100	27	
	50	16.4	
Temperatura (ºC) *	30	30.8	Cooper y Tainton, 1968
	28	33	
	26	34.6	
	23	36	
	20	33.8	
	16	29.2	
	13	26.2	

Nitrógeno (132 kg N ha^{-3}) [1] **	con	38.8	Momentos iniciales del rebrote	Woledge y Pearse, 1985
	Sin	24.6	Momentos	
	Con	29.8	Hoja expandida más joven cuatro semanas después de la aplicación	
	Con	26.4	Hoja expandida intermedia cuatro semanas después de la aplicación	
	Con	8.4	Hoja expandida mas vieja cuatro semanas después de la aplicación	
	Sin	26	Hoja expandida más joven cuatro semanas después de la aplicación	
	Sin	18	Hoja expandida mas vieja cuatro semanas después de la aplicación	
Humedad (g m^{-3})[1] **	Déficit de saturación			Jones, 1988
	4.6	39		
	9.2	32.2		

Defoliación[2] **	Número de hojas			Woledge, 1977
	5	25.8		
	6	34.2	Después de la defoliación	
	8	17.2		
	9	31.6	Después de la defoliación	

Edad y posición de la hoja[2] **	Dias	Hoja expandida más joven	Hoja expandida intermedia	Hoja expandida más vieja		
	0	33.8				Woledge y Leafe, 1976
	6	38.8				
	7	37	35			
	9	36	23			
	18	31.4	21.2			
	23	22.2	17.6	5.6		
	29	18.4	9.2	1		
	32	12	5.6			
	36	13	5.6			
	40	15.6	8.4			

[1] radiación=250 w m^{-2} , [2] radiación=175 w m^{-2} , * *L. multiflorum*, ** *L. perenne*

III. HIPÓTESIS

Con base en lo anterior se plantean las siguientes hipótesis

1. La fotosíntesis máxima de hojas individuales disminuye hacia los estratos inferiores del dosel y conforme aumenta la edad al rebrote de la asociación avena-raigrás anual.
2. La densidad de siembra, altura de corte y fertilización nitrogenada afectan la fotosíntesis bruta, respiración, evolución del índice de área foliar e intercepción de luz de la asociación avena-raigrás anual.
3. El modelo construido permite simular la producción de forraje de un cultivo de avena-raigrás anual.

IV. Materiales y métodos

4.1 Localización

La fase de campo se realizó en la tabla "La Huerta" del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo a 19° 21' latitud norte y 98° 54' longitud oeste, y 2250 msnm.

4.2 Clima

El clima de la región corresponde al grupo de los templados subhúmedos con lluvias en verano y una época seca en invierno, temperatura media anual de 15°C y precipitación promedio anual de 644.8 mm (García, 1988). En la figura 1 se presenta información sobre algunas variables climáticas durante el período experimental.

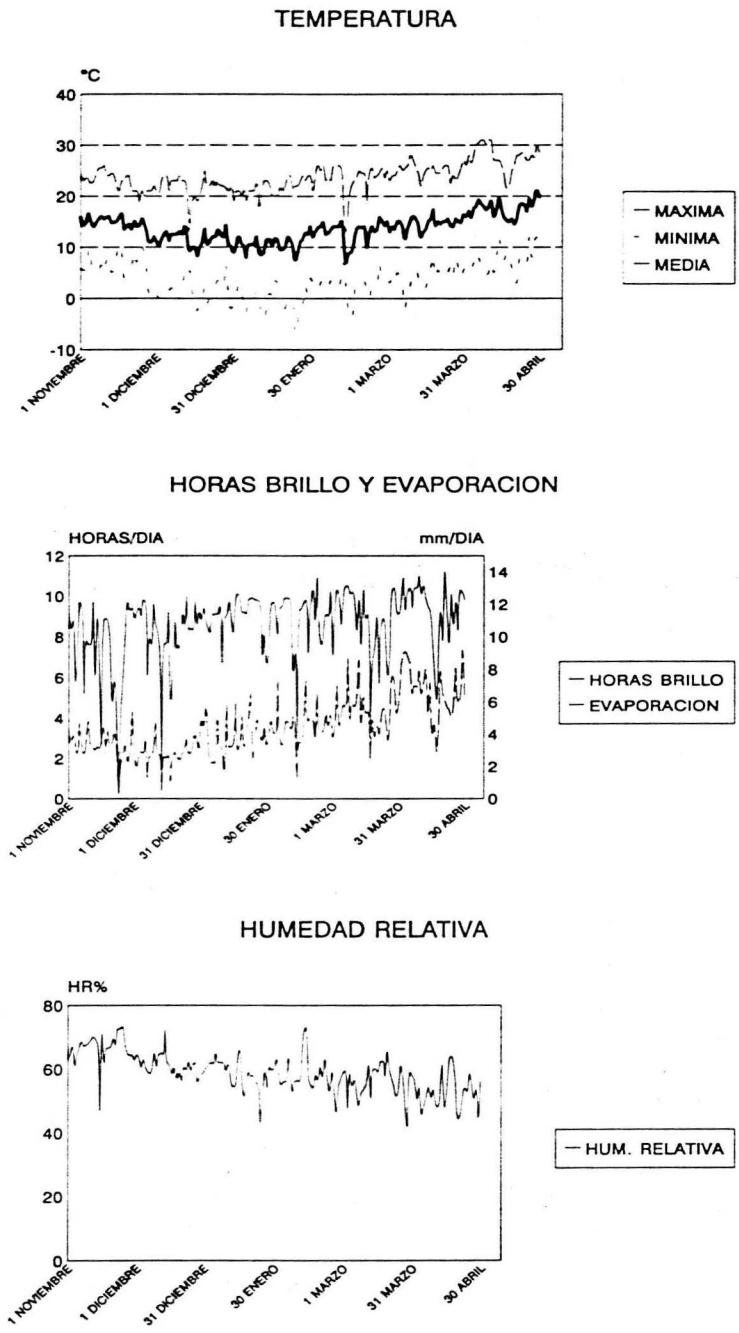


Figura 1. Variables de clima en Chapingo, México del 1 de noviembre de 1998 al 30 de abril del 2000.

4.3 Suelo

De acuerdo a Cachón y Cuanalo (1976), los suelos donde fue establecido el experimento pertenecen a la serie Xaltepa, familia franco fino, mezclado, isotérmico; suborden ustoll; orden mollisol. Son suelos profundos, de colores negros, ligeramente pedregosos y texturas medias, a medida que se profundiza cambia a gruesa y el color a pardo. Su capacidad de retención de humedad es media, son neutros a ligeramente alcalinos y medianamente ricos en materia orgánica. En el cuadro 5 se reportan algunas propiedades físicas y químicas del suelo del área experimental.

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo del área experimental.

Profundidad Cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textura	C.C [1] %	PMP [2] %
0-30	46.2	31.3	22.5	Franco	24.7	11.4
30-60	36.2	33.3	30.5	Franco arcilloso	28.3	12.8
60-90	40.2	35.3	24.6	Franco	25.1	11.4

Profund. cm	pH	MO	P	K	mg	Fe	Cu	Zn	Mn	N total	N inorg.
0-30	6.7	1.7	31.3	436	1605	18.7	0.56	0.99	16.3	0.13	68.2
30-60	6.9	1.6	18.4	268	1766	12.9	0.52	0.87	10.8	0.12	68.2
60-90	6.9	1.3	18.3	252	1570	11.6	0.44	0.52	9.7		

[1] Porcentaje de humedad a Capacidad de Campo (0.3 atm)

[2] Porcentaje de humedad al Punto de Marchitez Permanente (15 atm)

METODOLOGÍA Y UNIDADES

pH: POTENCIOMÉTRICO RELACIÓN SUELO-AGUA 1: 2.

MO: WALKLEY AND BLACK (%).

P: BRAY P-1 ($mg\ kg^{-1}$).

K: EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0N pH 7.0 RELACIÓN 1: 21 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE EMISIÓN DE FLAMA ($mg\ kg^{-1}$).

Ca: EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0N pH 7.0 RELACIÓN 1: 21 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA ($mg\ kg^{-1}$).

Mg: EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0N pH 7.0 RELACIÓN 1: 21 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA ($mg\ kg^{-1}$).

Fe, Cu,Zn,Mn: EXTRAIDO CON DTPA RELACIÓN 1: 4 Y DETERMINADO POR ESPECTOFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA ($mg\ kg^{-1}$).

TEXTURA HIDRÓMETRO DE BOUYUCOS.

CRH: MEMBRANA Y OLLA DE PRESIÓN.

NT: CALCULO (%).

NIN: EXTRAIDO CON CLORURO DE POTASIO 2N Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR KJETEC AUTO ANALYZER 1030 ($mg\ kg^{-1}$).

4.4 Experimentos

Para calcular los parámetros y constantes empleadas en el modelo, se realizaron los siguientes experimentos:

Para determinar el efecto de la densidad de siembra en monocultivo, altura de corte y aplicación de niveles crecientes de N en asociación sobre las tasas fotosintéticas, evolución del IAF y la intercepción de luz se realizaron tres experimentos, todos ellos en un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. El bloqueo se realizó por las características de suelo. Los tratamientos en los diferentes experimentos fueron los siguientes:

4.4.1 Densidad de siembra en monocultivo

T1: 30 kg de SPV de avena

T2: 60 kg de SPV de avena

T3: 10 kg de SPV de raigrás anual

T4: 20 kg de SPV de raigrás anual

Se realizó una fertilización de 300 kg de N divididos en dos aplicaciones: al momento de la siembra y después del primer corte. La altura de corte fue 5 cm.

4.4.2 Altura de corte en asociación

T1: altura de corte 5 cm

T2: altura de corte 8 cm

Se realizó una fertilización de 300 kg de N divididos en dos aplicaciones: al momento de la siembra y después del primer corte. La densidad de siembra fue 30 kg de SPV de avena y 10 kg de SPV de raigrás anual.

4.4.3 Niveles de N en asociación

T1: 0 kg N después del corte

T2: 50 kg N después del corte

T3: 100 kg N después del corte

T4: 150 kg N después del corte

La densidad de siembra fue 30 kg de SPV de avena y 10 kg de SPV de raigrás anual. La altura de corte fue 5 cm.

4.5 Manejo de las parcelas experimentales

4.5.1 Siembra

La siembra se realizó el 13 de noviembre de 1998, en forma manual en líneas. Las variedades utilizadas fueron avena var. Cooker 234 y raigrás anual var. Barspectra.

4.5.2 Riego

La aplicación de los riegos fue por aspersión, con una frecuencia semanal y una duración de dos horas las primeras tres semanas después de la siembra y quincenal para el resto del período experimental y una duración de tres horas. El volumen aplicado correspondió a 25 mm h^{-1}.

4.5.3 Muestreos de rendimiento

Se realizaron dos cortes para determinar rendimiento. Los cortes se realizaron con una guadañadora mecánica cortando dos franjas de 1 m de ancho por 7 de largo, para uniformizar la altura de corte se dió un corte con una cortadora rotativa. Los cortes se realizaron los días 22 de febrero y 7 de abril de 1999 para el experimento de densidades, el 28 de febrero y 24 de abril para el experimento alturas de corte, y el 19 de febrero y 3 de abril para el experimento de fertilización nitrogenada.

4.6 Variables medidas y calculadas

Las variables fotosíntesis neta, respiración, intercepción de luz, área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF), composición botánica, determinación de cenizas y la selección de cuadros de muestreo se realizaron semanalmente después del primer corte durante un período de cinco semanas para los experimentos de densidades y alturas de corte; mientras que en el experimento niveles de N todas las variables se realizaron una sola vez 15 días después del segundo corte. La metodología empleada se describe a continuación:

4.6.1 Calibración de la técnica del aparato de agujas

Para describir un dosel, es necesario conocer la distribución del índice de área foliar (IAF) y su distribución dentro del mismo, así como la inclinación y orientación foliar. El IAF acumulado y su distribución pueden ser medido por métodos destructivos y no destructivos (Nobel y Long, 1985).

Una de las técnicas empleadas es la técnica de la aguja. Esta técnica ha sido ampliamente usada para determinar cobertura. Consiste en contar el número de contactos que hace la punta de una aguja con las hojas, cuando ésta pasa desde la parte superior del dosel hasta el fondo. Si 100 descensos a través del dosel registran 240 contactos con la vegetación, la cobertura es 2.4. Donde las hojas son horizontales, por ejemplo en un dosel planófilo, entonces la cobertura puede ser igual al IAF. Sin embargo, en un dosel erectófilo, la cobertura verticalmente determinada es marcadamente menor al IAF; este problema puede ser resuelto si los descensos son inclinados. Para cualquier dosel:

$$IAF = Kf_{\beta}$$

donde **K** es una constante para un dosel y ángulo de la aguja particular, **f** es la frecuencia medida de contactos de una aguja y β es el ángulo de inclinación de la aguja. Warren y Wilson (1963, citado por Nobel y Long, 1985) determinaron que **K** es poco sensible al ángulo de la hoja cuando la inclinación de las agujas fue de 32.5° y el IAF resulta de la ecuación

$$IAF \approx 1.1\, f_{32.5}$$

La técnica de la aguja inclinada también provee de una invaluable técnica no destructiva para el estudio del área foliar por estratos y el ángulo de las hojas en un dosel (Nobel y Long, 1985).

Con el objetivo de calibrar esta técnica para determinar el IAF en el presente estudio, se diseñó un aparato de agujas con un ángulo de inclinación de éstas de 32.5°. Se muestrearon cinco cuadros de 90*31.5 (0.2835m^2) en una asociación de avena-raigrás anual, los cuales fueron seleccionados con situaciones contrastantes de altura y estructura; en cada cuadro se midieron 20 contactos en estratos a cada 5 cm a partir del nivel del suelo. Para comparar los datos obtenidos con el muestreo directo, los cuadros fueron cortados y separados en lámina y seudotallo de avena y raigrás anual en cada estrato. Se utilizaron submuestras para determinar el AFE en cada caso, además se determinó el peso de los componentes morfológicos por estrato para determinar el IAF por estrato y especie. Simultáneamente se midió luz incidente en la parte superior del dosel y por estrato en tres cuadros con un ceptómetro Sunfleck (Decagon Devices Inc.)

4.6.2 Selección de cuadros de muestreo

Debido al alto requerimento de mano de obra para cortar las muestras respetando la estructura del dosel en estratos de 5 cm, se resolvió cortar únicamente un cuadro por repetición en cada fecha. Con el objetivo de que el cuadro fuese representativo de la parcela, previo a la selección del cuadro se llevaron a cabo mediciones de altura y luz incidente a nivel del suelo en cada parcela y se seleccionó el cuadro de forma tal que sus valores de altura y luz incidente a nivel del suelo se aproximasen a la media por parcela. Los cuadros seleccionados fueron usados para determinar intercepción de luz e IAF.

4.6.3 Area foliar específica (AFE) e índice de área foliar (IAF)

Para determinar el IAF de forma directa, es necesario determinar primero el AFE. Con el objetivo de cuantificar el AFE y la distribución del IAF dentro del dosel, se realizaron

cortes semanales por estratos cada 5 cm. Se empleó un cuadro de estructuras de 90*31.5 cm. El AFE se determinó con el uso de un Integrador de Área Foliar (ΔT Area Measurement System. Delta T Devices Ltd.) y se obtuvo midiendo el área de una muestra de lámina dividida por su peso seco. Para obtener el IAF por estrato, se obtuvo el peso seco por estrato y se calculó el IAF usando el AFE resultante. El IAF total se obtuvo sumando el IAF obtenido por estrato. Los resultados se presentan en días de rebrote, aunque los análisis estadísticos se realizaron usando como fuente de variación la semana de rebrote.

4.6.4 Intercepción de luz

Para determinar la densidad de flujo de fotones dentro del dosel, es necesario realizar un determinado número de mediciones y, entonces, obtener el promedio. Dichas mediciones se pueden realizar usando un sensor de tubo o línea horizontal, cuyas lecturas corresponderán al promedio espacial sobre el largo del sensor (Nobel y Long, 1985).

El porcentaje de luz interceptada se determinó a cada 5 cm a partir del nivel del suelo a la parte superior del dosel empleando un ceptómetro Sunfleck (Decagon Devices Inc., 1989) y se obtuvo midiendo la luz incidente en la parte superior del dosel (LIT) y la luz incidente por estrato (LIE). El porcentaje (%LI) de luz interceptada se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\%LI = (LIE/LIT) * 100$$

4.6.5 Coeficiente de extinción (*k*)

Los datos obtenidos de intercepción de luz fueron usados para calcular el coefiente de extinción, el cual fue calculado a partir de despejar *k* de la siguiente fórmula:

$$I' = I^{\circ kL}$$

donde I' es la densidad de flujo de luz a una posición dada dentro del dosel con un índice de área foliar (L), I° es la densidad de flujo de luz sobre el dosel y k es el coeficiente de extinción del dosel (Acock, 1991). El k se calculó para el dosel en su conjunto debido a la dificultad en la medición de intercepción de luz por estratos.

4.6.6 Fotosíntesis neta (Pn), respiración (R) y fotosíntesis bruta (Pb)

Las mediciones de consumo de CO_2 proveen una alternativa y método directo para medir la productividad, con importantes ventajas sobre las mediciones en cambio de peso seco, por ejemplo: éstas son instantáneas, no destructivas, permiten separar las investigaciones de hojas individuales y permiten la separación de ganancias fotosintéticas de las pérdidas por respiración. El consumo de CO_2 ha sido medido por diferentes métodos. El análisis de gas infrarrojo de CO_2 es el método mas difundido para determinar el intercambio fotosintético y respiratorio de CO_2 en plantas. Su popularidad proviene de la confianza, precisión y simplicidad de esta técnica comparada con otras (Long y Hällgren, 1985).

Las mediciones de Pn y R se realizaron empleando un analizador infrarrojo de gases (Infrared Gas Analyser IRGA LI-6200), el cual consiste de tres componentes mayores:

una cámara foliar, el LI-6250 y una consola de control. La temperatura del aire y de la hoja y la humedad relativa son medidas en la cámara foliar. En el LI-6250 hay una bomba que circula aire de la cámara al analizador, donde es medida la concentración de CO_2 y retorna éste a la cámara. El flujo de aire a través del LI-6250 puede ser desviado a través de un filtro de hidróxido de calcio para remover CO_2 con fines de calibración. La válvula de flujo es usada para forzar una fracción del flujo a través de un tubo con desecante, este procedimiento es usado para ayudar a mantener una humedad constante dentro de la cámara durante la medición (LI-COR Inc. 1987).

Las mediciones de Pn y R se realizaron en la misma hoja entre las 10 y 14 horas. Debido a que lo que se determinó fue fotosíntesis máxima, independientemente del estrato las hojas se expusieron completamente a altas intensidades de radiación, tomando como límite un mínimo de 1000 μmoles de fotones $m^{-2} seg^{-1}$. Las mediciones se realizaron en estratos cada 5 cm del suelo a la parte superior del dosel. Para las determinaciones de respiración, la cámara foliar se cubrió completamente. Para la obtención de las funciones y el análisis estadístico, se identificaron cinco estratos: estrato 1=0-5 cm, estrato 2=5-10 cm, estrato 3=10-15 cm, estrato 4=15-20 cm, estrato 5>20 cm. Debido a que las mediciones no se realizaron el mismo día, se empleó el factor día como anidado en semana.

Los datos obtenidos de Pn y R se usaron para calcular Pb de la siguiente manera:

$$Pb = Pn - R$$

4.6.7 Composición botánica

La composición botánica se determinó empleando la técnica microhistológica modificada por González (Cortés, 1989) partir de una muestra seca y molida, la cual consiste en someter a las muestras a un proceso de aclaración de tejidos y su identificación en microscopio, para ello, es necesario la elaboración de patrones de referencia, de donde se obtienen las bases de las estructuras que son útiles en la diferenciación de las especies.

4.6.8 Determinación de cenizas

Para corregir las determinaciones de materia seca del estrato 0-5 cm, se determinó el contenido de cenizas de una muestra del material cosechado. Se pesó 1 gramo de muestra molida, la cual se secó hasta peso constante, esa muestra se puso en la mufla a 540 °C durante 5 horas y se pesaron las cenizas.

4.6.9 Rendimiento de forraje seco

El rendimiento de forraje seco se determinó semanalmente. Para determinar el rendimiento de forraje seco cosechable y forraje seco residual se tomaron submuestras para determinación del porcentaje de materia seca. Las submuestras fueron secadas a 75°C durante 72 horas.

4.6.10 Conteo de hijatos

Para determinar el número de hijatos, así como la proporción vivos-muertos en el experimento de densidades de siembra, se empleó un cuadro de 0.25 m^2. El conteo se realizó el 17 de abril de 1999 contando 4 cuadros por parcela.

4.6.11 Determinación de nitrógeno total

En el experimento de fertilización nitrogenada se determinó el contenido de nitrógeno del material cosechado por estrato mediante el método de micro Kjendahl .

4.7 Análisis estadístico

4.7.1 Calibración de la técnica del aparato de agujas

Para determinar la confiabilidad de la técnica del aparato de agujas al determinar el IAF, comparando los resultados con los datos obtenidos por corte directo, se aplicó una regresión lineal. Los valores de X correspondieron a los datos obtenidos del corte directo y los de Y a los datos obtenidos a partir de la técnica.

4.7.2 Selección de cuadros de muestreo

Los datos obtenidos para determinar la representatividad de los cuadros seleccionados con respecto de la parcela, se sometieron a un análisis de varianza. El modelo estadístico empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + E_j + S_k + T*E*S_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

T_i = efecto de la i ésima parcela-cuadro

E_j = efecto del j ésimo experimento

S_k = efecto de la k ésima semana

$T*E*S_{ijk}$ = efecto de la interacción entre la i ésima parcela-cuadro, el j ésimo

experimento y la k ésima semana

ε_{ijkl} = error experimental

Solo aparece la interacción de segundo orden debido a que la comparación se hizo para encontrar diferencia entre parcela y cuadro por experimento por semana. A partir de los resultados obtenidos de dicho análisis, se aplicó una única regresión lineal. Los valores para X correspondieron a parcela y los valores para Y a cuadro seleccionado.

4.7.3 Area foliar específica (AFE)

Debido a la inconsistencia en los datos de AFE, el análisis estadístico se realizó tomando como fuentes de variación semana de muestreo y estrato. El diseño experimental fue un completamente al azar con dos factores y el modelo utilizado fue el siguiente:

$Y_{ijkl} = \mu + E_i + S_j + E*S_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$

Donde

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

E_i = efecto del i ésimo estrato

S_j = efecto de la j ésima semana

$E*S_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i ésimo estrato y la j ésima semana

ε_{ijkl} = error experimental

El efecto de semana y la interacción E*S no fueron significativos, de modo tal que la separación de medias se obtuvo solo por estratos.

4.7.4 Indice de área foliar (IAF)

La evolución del IAF se analizó usando los siguientes modelos (en los modelos solo aparecen las interacciones significativas):

a) Densidades de siembra

$Y_{ijklm} = \mu + B_i + S_j + T_k + E_l + S*T*E_{jkl} + \varepsilon_{ijklm}$

Donde

Y_{ijklm} = variable de respuesta

μ= media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

Sj = efecto de la j ésima semana

T_j = efecto del k ésimo tratamiento

E_k = efecto del l ésimo estrato

$S*T*E_{ijk}$ = efecto de la interacción entre la j ésima semana, el k ésimo tratamiento y l ésimo estrato

ε_{ijklm} = error experimental

b) Alturas de corte

$Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + A_k + S*A_{jk} + \varepsilon_{ijk}$

Donde

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

E_j = efecto de la j ésima semana

A_k = efecto de la k ésima altura de corte

$S*A_{ij}$= efecto de la interacción entre la j ésima semana y la k ésima altura de corte

ε_{ijk}= error experimental

4.7.5 Coeficiente de extinción (*k*)

La evolución del *k* a través del período de rebrote se analizó usando los datos conjuntados de los experimentos densidades de siembra y altura de corte, el modelo empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + S_j + Sp_k + S*Sp_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

S_j = efecto de la i ésima semana de rebrote

Sp_k = efecto de la j ésima especie

$S*Sp_{jk}$ = efecto de la interacción entre la i ésima semana de rebrote y la j ésima especie

ε_{ijkl} = error experimental

4.7.6 Obtencion de las ecuaciones para fotosíntesis neta (Pn), respiración (R) y fotosíntesis bruta (Pb)

Los datos de Pn, R y Pb, se analizaron empleando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + S_j + D_k + D(S)_{k(j)} + E^*S_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

E_i = efecto del i ésimo estrato

S_j = efecto de la j ésima semana

D_k = efecto del k ésimo día

$D(S)_{k(j)}$ = efecto del k ésimo día anidado en la j ésima semana

E^*S_{ij} = efecto de la interacción entre el i ésimo estrato y la j ésima semana

ε_{ijkl} = error experimental

Las ecuaciones por estrato se obtuvieron mediante regresiones múltiples de las medias obtenidas para la interacción estrato*semana. Debido a que no hubo diferencias significativas entre los estratos 2, 3 y 4, se obtuvo una sola ecuación de regresión múltiple, donde solo aparecen los estimadores significativos, aplicando el procedimiento selection=stepwise del paquete estadístico SAS (1998).

4.7.7 Rendimiento de materia seca

El análisis del rendimiento de materia seca fue bajo el modelo siguiente:

a) Densidades de siembra

$Y_{ijkl} = \mu + B_i + S_j + T_k + S*T_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$

Donde

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

S_j = efecto de la j ésima semana de rebrote

T_k = efecto del k ésimo tratamiento

$S*T_{jk}$ = efecto de la interacción entre la j ésima semana de rebrote y el k ésimo tratamiento

ε_{ijkl} = error experimental

b) Alturas de corte

$Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + A_k + S*A_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$

Donde

μ = media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

S_j = efecto de la j ésima semana de rebrote

A_k = efecto de la k ésima altura de corte

S^*A_{jk} = efecto de la interacción entre la j ésima semana de rebrote y la k ésima altura de corte

ε_{ijk} = error experimental

4.7.8 Conteo de hijatos vivos y muertos

Los datos de conteo de hijatos vivos y muertos se analizaron usando el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + B^*T_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

T_j = efecto del j ésimo tratamiento

S^*T_{ij} = efecto de la interacción entre el i ésimo bloque y el j ésimo tratamiento

ε_{ijk} = error experimental

4.7.9 Efecto nitrógeno

El modelo para evaluar el efecto nitrógeno fue el siguiente

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + B^*T_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general

B_i = efecto del i ésimo bloque

T_j = efecto del j ésimo tratamiento

$B*T_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i ésimo bloque y el j ésimo tratamiento

ε_{ijk} = error experimental

4.8 Construcción del modelo

Para el desarrollo del modelo de simulación se empleó como base el modelo SUCROS (Van Keulen *et al.*, 1982) al cual se le hicieron algunos cambios con el objeto de simular el rebrote incorporando la fotosíntesis de diferentes estratos de hojas. SUCROS es un modelo dinámico y mecánico que simula el crecimiento de cultivos sin limitaciones de humedad o nutrientes, empleando la información climática referente a radiación y temperatura.

SUCROS simula el crecimiento de los cultivos basado en los procesos fundamentales, tales como consumo de CO_2 y respiración, y cómo son influenciados por las condiciones ambientales. El crecimiento de los cultivos puede ser limitado por varios factores, tales como escasez de agua, o nutrimentos, o reducido por plagas y enfermedades. Por esta razón, diferentes versiones de modelos se han desarrollado para acoplarse con la situación real. Este modelo simula crecimiento potencial de un cultivo, por ejemplo su acumulación de materia seca bajo amplia disponibilidad de agua y nutrimentos en un ambiente libre de plagas, enfermedades y malezas bajo las condiciones prevalecientes de clima. La tasa de acumulación de materia seca está en función de la radiación,

temperatura y características del cultivo. La base para el cálculo es la tasa de asimilación de CO_2 (fotosíntesis) del dosel de plantas. La tasa es dependiente de la energía de radiación absorbida por el dosel, la cual es una función de la radiación recibida y el área foliar del cultivo. De la radiación absorbida y las características fotosintéticas de hojas individuales, se calcula la tasa diaria de asimilación de CO_2 del cultivo. Esos cálculos son ejecutados en un grupo de subrutinas adicionados al modelo.

Parte de los carbohidratos (CH_2O) producidos son usados para mantener la biomasa existente. Los carbohidratos restantes son convertidos en materia seca estructural. En los procesos de conversión, parte del peso es perdido por respiración. La materia seca producida es dividida entre varios órganos de la planta, usando factores de partición definidos como una función del estado fenológico de desarrollo del cultivo. Los pesos secos de los órganos de la planta son obtenidos integrando sus tasas de crecimiento sobre el tiempo.

SUCROS requiere como entradas propiedades fisiológicas del cultivo y las condiciones actuales de clima en el sitio, caracterizado por su latitud geográfica, por ejemplo temperaturas mínimas y máximas diarias y radiación de cada día del año. En la figura 2 se presenta un diagrama de flujo de SUCROS.

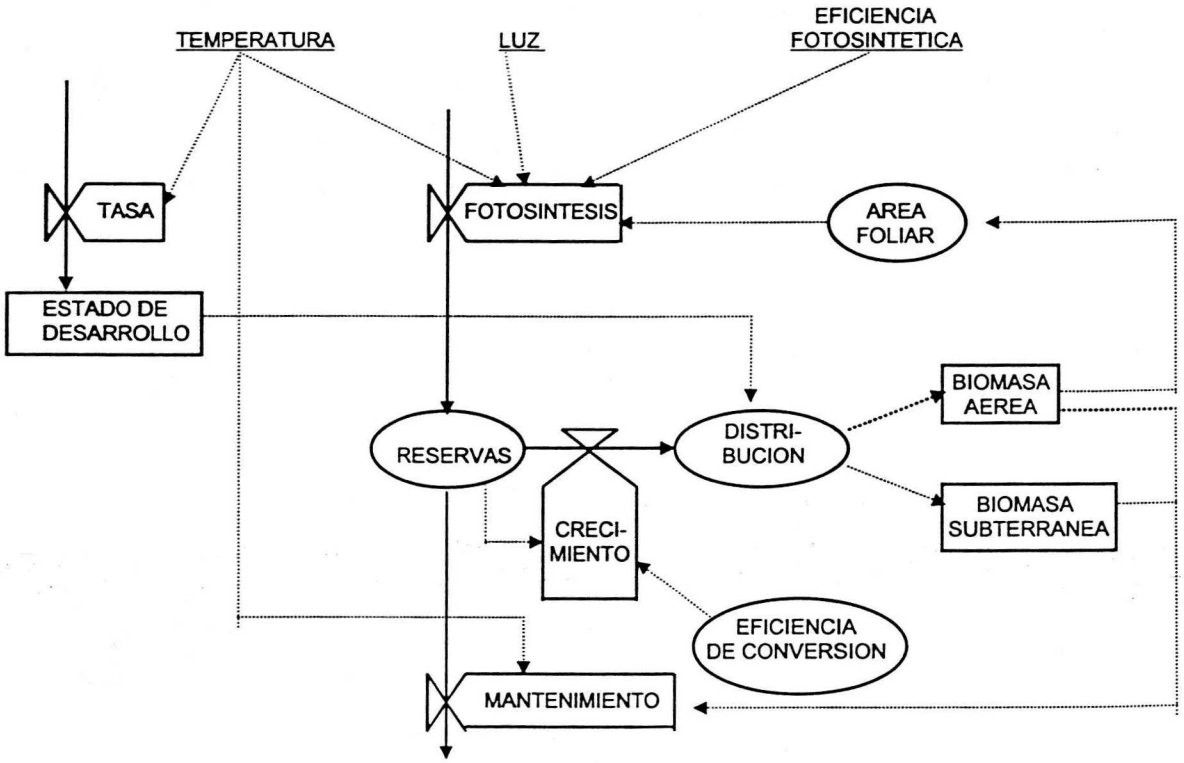


Figura 2. Diagrama de flujo de SUCROS (Penning de Vries *et al.*, 1989).

El modelo se desarrolló en PCSMP (Jansen *et al.*, 1988), una adaptación de CSMP (Continuous Simulation Modeling Program) para computadoras personales. Para la parametrización de las ecuaciones se emplearon los datos obtenidos en los cultivos de avena, raigrás anual y su asociación, y en algunos casos información de la bibliografía. Dada esta situación no fue posible validar el modelo por carecer de datos que no fueran empleados en su desarrollo.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Calibración de la técnica del aparato de agujas

Las determinaciones de IAF por la técnica de la aguja inclinada y por medición de AFE, se refieren exclusivamente al IAF de láminas debido a la inexactitud en la determinación de IAF de pseudotallos.

En el cuadro 6 se observa que la técnica de agujas presentó baja correlación con el IAF por componente y estrato (los desvíos medios de regresión -DMR- fueron de 0.4 IAF y los r^2 de 0.5), en cambio el IAF estimado por corte, separación y determinación del AFE estuvo altamente correlacionado con la energía incidente (cuadro 7 y 8). La baja precisión de esta técnica se debe a varios factores, los más importantes son: área de la aguja (teóricamente debe ser cero), inclinación e irregularidad del área medida, orientación del follaje, factores propios del observador y aspectos estadísticos (Rhodes y Collins, 1993). La técnica de la aguja inclinada resultó en este caso poco precisa para estimar el IAF, por lo que esta variable se estimó por corte, identificación de componentes morfológicos por análisis microhistológico y determinación del AFE.

Cuadro 6. Relación entre lecturas de agujas (variable dependiente) y el IAF de avena y raigrás anual estimado por corte, separación manual y determinación del AFE (variable independiente).

Componente	R^2	DMR	b0	Pb0	b1	Límite inf b1	Límite sup b1
Avena+Raigrás	0.47	0.40	0.20	<0.05	0.042	0.030	0.054
Avena	0.56	0.37	0.32	<0.05	0.036	0.022	0.050
Raigrás anual	0.47	0.42	0.28	>0.05	0.054	0.029	0.078

Cuadro 7. Area Foliar Específica (cm^2 g^{-1}) de avena y raigrás anual en diferentes estratos.

Estrato (cm a partir del suelo)	Avena	Raigrás anual	Media
0-5	277[a]	253[a]	265[a]
5-10	249[a]	237[a]	244[a]
10-15	260[a]	227[a]	244[a]
15-20	267[a]	227[a]	247[a]
20-25	208[a]	178[a]	193[a]
Media	252 A	224 A	240

* medias con la misma literal por columna no son diferentes ($\alpha \geq 0.05$)

Cuadro 8. Relación entre la energía incidente (variable dependiente).y el IAF de avena y raigrás anual determinado por corte(variable independiente).

Cuadro	R^2	DMR	b0	L.I. b0	L.S. b0	b1	L. I. b1	L.S. b1
3	0.96	0.36	-0.89	-1.66	-0.11	-0.65	-0.90	-0.39
4	0.92	0.48	-0.44	-1.95	1.06	-1.39	-2.66	-0.12
5	0.93	0.44	-0.67	-2.57	1.23	-0.58	-1.06	-0.10
Total	0.84	0.57	-0.91	-1.42	-0.39	-0.60	-0.78	-0.43

5.2 Selección de cuadros de muestreo

En el cuadro 9 se presentan las medias de estas variables para parcelas y cuadros en los diferentes experimentos, y en el cuadro 10 se presentan las ecuaciones de regresión empleando el valor de parcela como variable independiente y el del cuadro como dependiente.

Cuadro 9. Medias de altura y radiación interceptada en cultivos de avena y raigrás anual en parcelas y cuadros seleccionados.

	Altura cm			Radiación interceptada %		
Experimento	Cuadro	Parcela	Probab.	Cuadro	Parcela	Probab.
Densidad	19.4	19.0	>0.05	71.9	68.9	>0.05
Altura de corte	25.6	24.3	>0.05	87.8	80.9	>0.05
Fertilización	26.1	25.5	>0.05	76.2	84.4	<0.05

En el experimento de densidad de siembra en los muestreos de las semanas 2, 3 y 5 se presentó una tendencia ($0.05<p<0.11$) a que los cuadros fuesen más altos que las parcelas, mientras que en el muestreo 4 para el caso de raigrás anual los cuadros resultaron más bajos ($p<0.05$) que las parcelas.

Dado que el análisis de varianza indicó que no hubo mayores diferencias entre experimentos, se procedió a un análisis de regresión con el conjunto de datos, los resultados se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión entre la altura y la radiación interceptada en parcelas (variable independiente) y cuadros seleccionados (variable dependiente).

Parámetro o coeficiente	Altura cm	Radiación interceptada %
R^2	0.92	0.88
DMR	2.2	7.8
$\beta 0$	2.9	9.7
p $\beta 0$	0.001	0.003
$\beta 1$	0.94	0.90
Límite inferior I. C. $\beta 1$	0.87	0.82
Límite superior I. C. $\beta 1$	1.00	0.98

Tomando en consideración que los coeficientes de determinación fueron altos y los desvíos medios de regresión bajos, se consideró que los cuadros fueron representativos de las parcelas; aun cuando los $\beta 0$ fueron ligeramente superiores a 0 y los $\beta 1$ inferiores a 1, lo que indica que con los cuadros se tendió a sobrestimar la situación de la parcela al comienzo del rebrote.

5.3 Area Foliar Específica (AFE)

En el cuadro 11 se presentan resultados de las determinaciones de área foliar específica (AFE). Los valores encontrados son, en términos generales, algo inferiores a los reportados para estas especies (Garnier *et al.*, 1997). Se observó una tendencia a incrementar el AFE en los estratos superiores -en el caso de avena se detectaron algunas diferencias significativas ($p<0.05$)-, y a que raigrás anual presentara AFE ligeramente superior a avena.

Estas tendencias son opuestas a las encontradas durante el primer ciclo de crecimiento en las muestras de calibración de la técnica de agujas (cuadro 6), ya que en ese caso AFE tendió a reducirse con la altura y avena tendió a presentar mayores valores que raigrás anual. Es probable que estas diferencias se deban a cambios morfológicos asociados con el rebrote, ya que dado que en los estratos inferiores se encuentran las hojas de mayor edad que comienzan a senescer y, por lo tanto, a exportar constituyentes, era de esperar que en esos estratos el AFE fuese mayor (Brady, 1973).

Cuadro 11. AFE ($cm^2\ g^{-1}$) de avena y raigrás anual en diferentes estratos .

Estrato	Raigrás anual	Avena
0	170.3 a	132.6 a
5	211.3 a	147.5 ab
10	247.2 a	224.4 bc
15	253.8 a	232.7 c
20	258.5 a	

* medias por columna con la misma literal no son diferentes ($\alpha \geq 0.05$)

5.4 Indice de Area Foliar (IAF)

La evolución del IAF se presenta en la figura 3 y en los anexos 1 y 2. En esta figura se observa que en el caso de los monocultivos la evolución fue exponencial, mientras que en la asociación fue logística, tendiendo a nivelarse con IAF entre 7 y 9. El crecimiento acelerado del IAF se presentó a partir de la segunda semana de rebrote, con excepción del monocultivo de avena, en el cual se presentó una semana más tarde. El incremento del IAF se produjo en los estratos superiores, ya que el primer estrato decreció aproximadamente 10% hasta la segunda semana para luego aumentar levemente manteniéndose con valores de IAF entre 1 y 2.

En el caso de los monocultivos el incremento del IAF no fue afectado ($p>0.05$) por la densidad de siembra, raigrás presentó un incremento más marcado que avena: al comienzo la diferencia en IAF entre ambas especies fue 0.14 unidades, para luego crecer hasta más de tres unidades al final del rebrote. La asociación con altura de corte 5 cm presentó una evolución muy parecida a la del monocultivo de raigrás anual (también

cortado a 5 cm de altura), en tanto que la asociación cortada a 8 cm de altura inició con un IAF 0.44 unidades mayor que el del cultivo cosechado a 5 cm de altura, en tanto que hacia el final del rebrote esa diferencia fue del orden de 2 unidades. De esta forma se detectaron efectos de especies y de intensidad de la defoliación.

De acuerdo a King *et al.* (1979; citado por Davies, 1988), los factores que influyen en el rebrote son de dos tipos: los que afectan la fotosíntesis directamente y aquellos que afectan la habilidad de la planta para generar nuevo tejido fotosintético. Quiere decir que para la formación de nuevo tejido se requieren por un lado nutrientes y por otro tejidos en condiciones de crecer (meristemos).

En el caso de gramíneas C3, Marshall y Sagar (1965; 1968) y Gifford y Marshall (1972) demostraron que los metabolitos necesarios para la formación de nuevas hojas provienen de las reservas ubicadas en la base de las vainas y de la fotosíntesis del área foliar remanente (cuya capacidad fotosintética inmediatamente despues de un corte puede aumentar, permanecer constante o disminuir); la función de las reservas es muy importante cuando el IAF remanente es bajo.

De acuerdo a Langer (1979), los meristemos involucrados en el rebrote de gramineas C3 son de dos tipos, los meristemos foliares de hojas ya formadas y parcialmente expandidas y los apices de hijatos, a su vez señala que la expansión del área foliar es la resultante de dos procesos diferentes, la tasa de aparición de nuevas hojas y su tasa de elongación, estando la primera fuertemente asociada a la tasa de ahijamiento y densidad de hijatos.

Las diferencias entre intensidades de defoliación pudieron en parte deberse al mayor IAF remanente en la intesidad 8 cm que debió implicar una mayor disponibilidad de metabolitos para el crecimiento. Sin embargo al observar la diferencia entre avena y raigrás anual, que se agudiza a pesar de la escasa diferencia en IAF remanente, resulta evidente que la densidad de meristemos debió jugar un papel preponderante. Esta evidencia se confirmó con los resultados de la determinación de densidad de hijatos (cuadro 13). En ambas especies la densidad de hijatos no fue afectada por la densidad de siembra, indicando que aún en los casos de las densidades de siembra menores, éstas permitieron una densidad de plantas suficiente para que la densidad de hijatos dependiera del autoraleo producto de la competencia. Tal como lo indica Harper (1978), la masa total es un balance entre densidad y tamaño individual, por lo que resultaría en primera instancia lógico que raigrás anual con hijatos más pequeños presente una densidad de hijatos vivos 70% mayor que la de avena. Sin embargo, la intensidad 5 cm resultó aparentemente excesiva para avena ya que de acuerdo a Flores Brito[1] (1999) la mortalidad de hijatos de avena fue claramente mayor en la intensidad 5 cm en comparación a la intensidad 8 cm. En resumen, en primer lugar el menor incremento de IAF en avena se debió a la menor densidad de hijatos, en parte producto de una defoliación escesivamente intensa; en segundo lugar la similitud en la evolución de la asociación defoliada a 5 cm con el monocultivo de raigrás anual se debería a que esta intensidad de defoliación agudizó la dominancia de raigrás anual que regularmente se presenta en la primavera (Améndola y Morales, 1997). Por otra parte, tanto el mayor IAF remanente como la mayor densidad de hijatos debieron contribuir para que al

[1] Flores Brito. 1999. Comunicación personal. Universidad Autónoma Chapingo.

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

defoliar a 8 cm de altura se presentara una evidente superioridad en el rebrote de la asociación.

Las figuras 4 y 5 muestran la evolución del IAF por estratos de los monocultivos y la asociación a diferentes días de rebrote. Para todos los casos se aprecia que el estrato inferior aportó la mayor parte de IAF, y conforme avanza el rebrote el aporte de los estratos superiores se incrementa. En el caso de los monocultivos para el día 32, el raigrás anual mostró una disminución de IAF en los estratos superiores, mientras que la avena mostró una tendencia horizontal. La principal razón de este comportamiento es la diferencia en el hábito de crecimiento, el cual tiende a ser más erecto para el caso de avena.

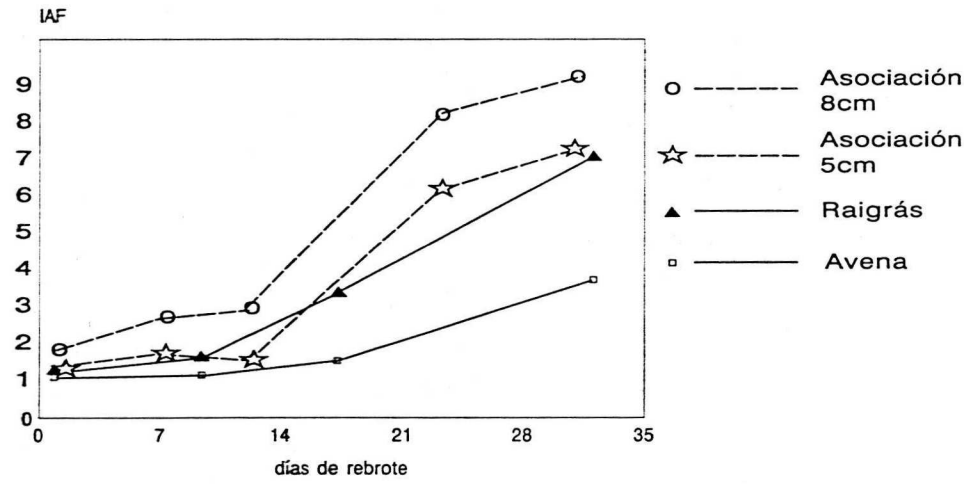


Figura 3. Evolución del IAF de avena y raigrás anual en monocultivo y asociación.

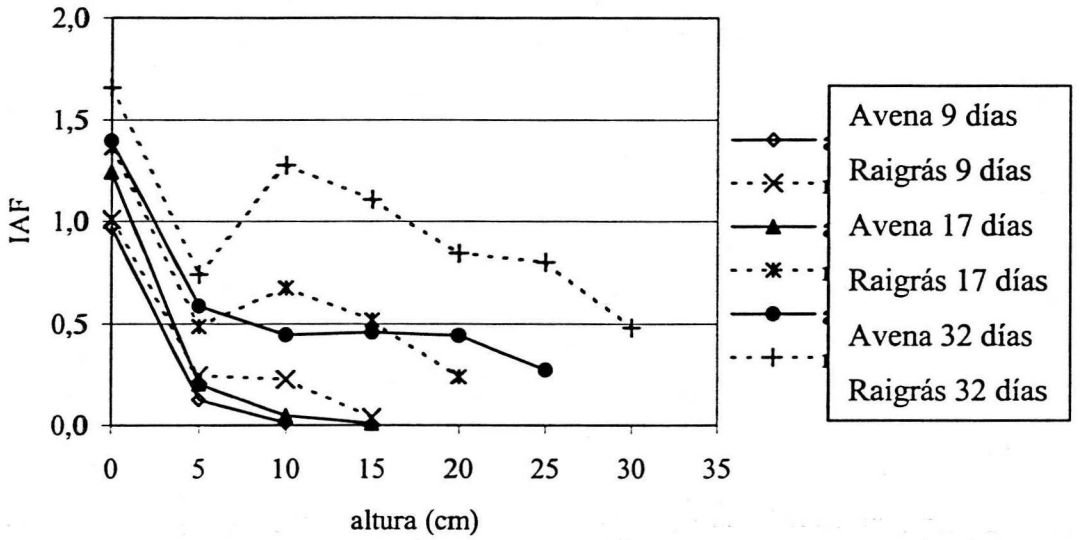


Figura 4. Evolución de la estructura del área foliar en avena y raigrás anual en monocultivo.

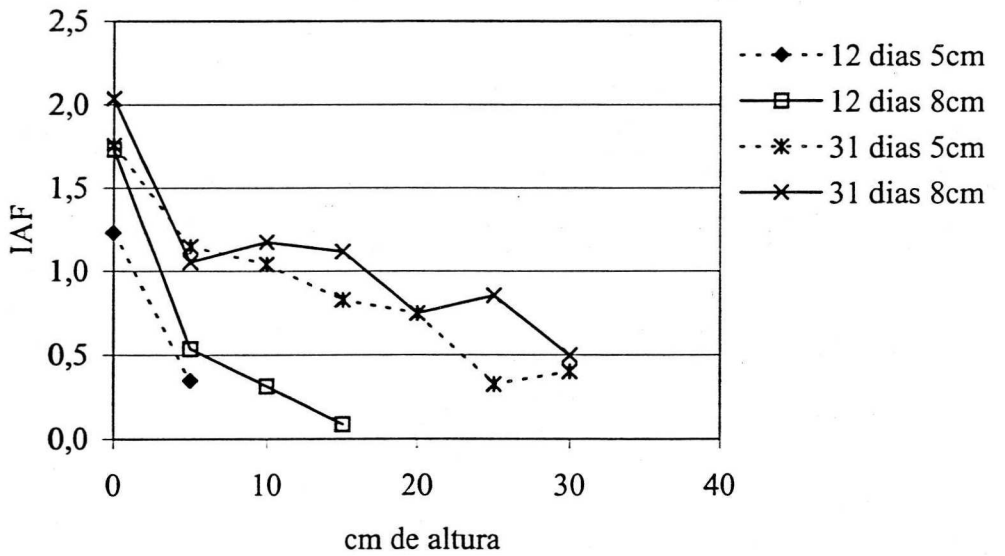


Figura 5. Evolución de la estructura del área foliar en la asociación avena-raigrás anual

5.5 Coeficiente de extinción (*k*)

En el cuadro 12 se muestran los valores de *k* para los experimentos de densidades de siembra y alturas de corte.

No existieron diferencias entre especies y asociación, aunque la asociación tendió a presentar los valores más bajos y el raigrás los más altos. Existen reportes que indican variaciones para *k* con la altura del dosel y el tiempo para monocultivos y asociaciones (Kropff, 1993; Meinke, 1996; Inoue, 1995; citados por Nassiri *et al.*, 1998). El *k* depende de factores como ángulo de la luz incidente, arreglo geométrico y características de transmisión de la luz de las hojas en el dosel (Sheehy y Johnson, 1988).

Los mayores valores de *k* para el raigrás se debieron a la inclinación de las hojas, mientras que la avena y la asociación tuvieron valores de *k* más bajos probablemente debido a que sus hojas fueron más erectas. El *k* es también influenciado por la distribución horizontal y vertical de las hojas dentro del dosel. Valores de *k* más bajos se logran en comunidades de plantas con hojas separadas y regularmente distribuidas que en aquellas donde la distribución es más al azar (Loomis y Williams, 1969; citados por Wilson, 1973). El *k* presentó algunas diferencias entre semana de rebrote. La geometría de una pradera puede cambiar durante el desarrollo de la misma. Así, la marcada elongación de tallos en la etapa de floración en los pastos va acompañada de una disminución en los valores de *k* y un incremento en IAF, debido a que las hojas se distribuyen en una distancia vertical mayor en los tallos. Además, durante el período vegetativo, la proporción de hojas horizontales puede cambiar considerablemente (de

Wit, 1965; citado por Wilson, 1973). La relación entre arquitectura del dosel, distribución de la luz y producción de la pradera cambia claramente con la hora del día, clima, estación, estado de desarrollo del cultivo y componentes individuales de las plantas (Wilson, 1973). En general, los valores de *k* encontrados se encuentran dentro del intervalo típico para las praderas de gramíneas, el cual va de 0.3 a 0.5 (Loomis *et al.* 1967).

Cuadro 12. Coeficientes de extinción (*k*) durante el período de rebrote.

Semana de rebrote	Avena	Raigrás anual	Asociación
2	0.40 a	0.50 ab	0.42 a
3	0.53 ab	0.66 b	0.41 a
5	0.48 ab	0.52 ab	0.47 ab

* medias con la misma literal no son diferentes ($\alpha \geq 0.05$)

En las figuras 6 y 7 se muestra el comportamiento de la luz al penetrar en el dosel de los monocultivos de avena y raigrás anual y en la asociación avena-raigrás anual. En los tres casos la extinción de la luz tiene un comportamiento similar, dicho comportamiento ha sido descrito como la ley de Lambert-Beer. De acuerdo a esta ley, la intensidad de la luz es reducida logarítmicamente con la distancia o con el índice de área foliar acumulado (Wilson, 1973).

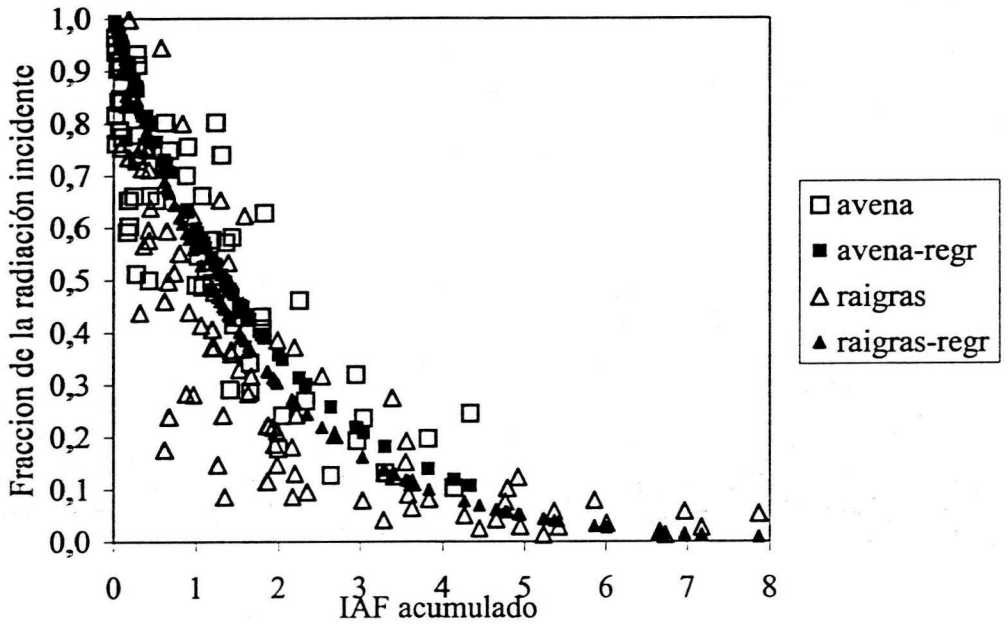


Figura 6. Extinción de la radiación en monocultivos de avena y raigrás anual.

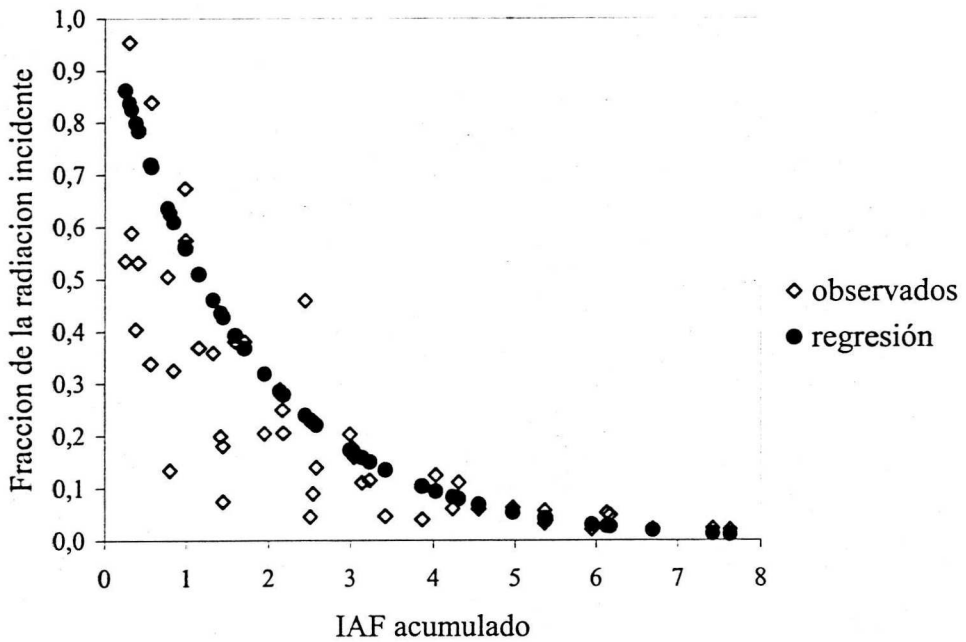


Figura 7. Extinción de la radiación en la asociación avena-raigrás anual.

5.6 Fotosíntesis bruta (Pb)

En las figuras 8 y 9 se muestra la evolución de Pb para avena y raigrás anual, la cual cambió por estrato y a través del período de rebrote.

Las tasas de fotosíntesis bruta fueron menores para el estrato inferior y las mayores tasas correspondieron a los estratos intermedio y superior. Conforme avanzó el período de rebrote, la Pb del estrato inferior mostró un incremento y luego llegó a un máximo, para después decrecer, esto probablemente se deba a que las primeras determinaciones se hicieron en hojas remanentes, las cuales son de mayor edad; posteriormente al iniciarse el rebrote, aparecieron nuevas hojas mientras que las hojas remanentes murieron, estas nuevas hojas tuvieron una capacidad fotosintética mayor, pero conforme el ciclo de rebrote avanzó, comenzaron a ser sombreadas. Como efecto de la edad y del ambiente pobre en radiación, al final del ciclo las hojas del estrato inferior presentaron una reducción en su capacidad fotosintética.

Resultados similares son reportados por Woledge (1977), quien afirma que después de la defoliación, nuevas hojas son producidas con una capacidad fotosintética alta, la cual disminuye progresivamente conforme el área foliar de la pradera se incrementa.

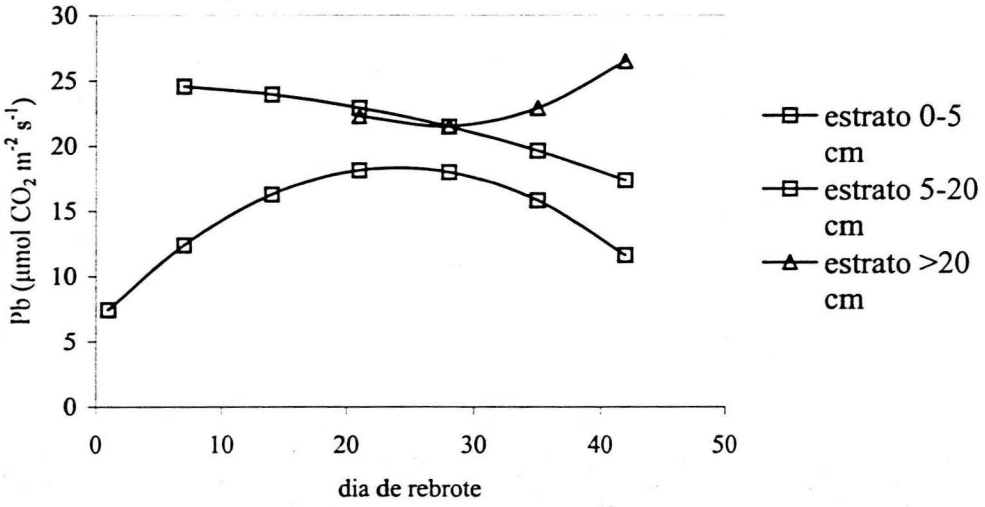


Figura 8. Fotosíntesis bruta (Pb) de hojas de avena de diferentes estratos durante un período de rebrote.

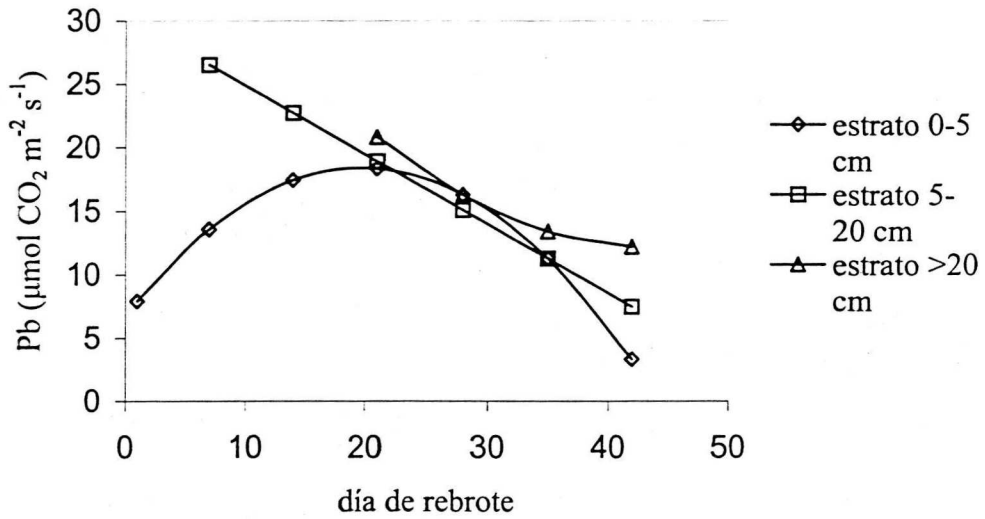


Figura 9. Fotosíntesis bruta (Pb) de hojas de raigrás anual de diferentes estratos durante un período de rebrote.

La capacidad fotosintética inicial tendió a ser mayor en el estrato intermedio que en el estrato superior, ya que las hojas del estrato intermedio crecieron en un ambiente con mayor incidencia de luz y una menor competencia por este recurso. Woledge y Leafe (1976) reportan que al principio del período de crecimiento, el área foliar viva es pequeña y las hojas nuevas son bien iluminadas, lo que causa un aumento en la capacidad fotosintética. Sin embargo, conforme la pradera crece, hay un incremento en área foliar, y aunque una mayor cantidad de luz es interceptada, el sombreado de hojas aumenta y la tasa fotosintética de las hojas disminuye. Estas diferencias se deben a la posición de la hoja en el dosel, la cual determina su capacidad fotosintética. Las hojas de los pastos desarrolladas en altas intensidades de luz tienen una eficiencia mayor que aquellas que crecen en la sombra (Hodgson, 1990).

La proporción de luz incidente que un cultivo intercepta es una determinante muy importante de la fotosíntesis del dosel, sin embargo, los efectos del hábito de crecimiento del dosel parecen ser más pequeños que aquellos que resultan de los cambios en la capacidad fotosintética de las hojas individuales (Robson *et al.*, 1988). Se ha observado una disminución progresiva en la capacidad fotosintética de las hojas despúes de alcanzar la madurez, y debido a la aparición de nuevas hojas, las hojas de estratos inferiores crecen en un ambiente pobre en luz, lo que dá como resultado una más rápida saturación por luz (Wilson, 1973).

La respiración, aunque juega un papel importante, tiene un comportamiento similar al de fotosíntesis neta y bruta (anexo 3); así, cuando fotosíntesis neta se incrementa, también se incrementa el gasto de energía por respiración, y viceversa. La tasa de respiración de

la planta es afectada por el tamaño de la planta y se incrementa con los incrementos en fotosíntesis (McCree, 1970; citado por Sheehy yJohnson, 1988). Los valores de respiración son un poco mayores a los reportados en la literatura, los cuales pueden ser desde 30 hasta 50% de los valores de fotosíntesis bruta (McCree y Troughton, 1966; citados por Robson *et al.*, 1988; Robson *et al.*, 1988)

Como resultado de los factores anteriores y del incremento del IAF por estratos, el aporte de éstos en fotosíntesis cambia a través del tiempo (figuras 10 y 11), donde al principio del período de rebrote, el mayor aporte correspondió para el estrato inferior, pero a medida que los días de rebrote aumentaron, el aporte del estrato inferior disminuyó, mientras que aumentó el de los estratos superiores. En el monocultivo de avena, aun en el día 32 de rebrote, el estrato inferior tiene un aporte mayor que cada uno de los estratos superiores.

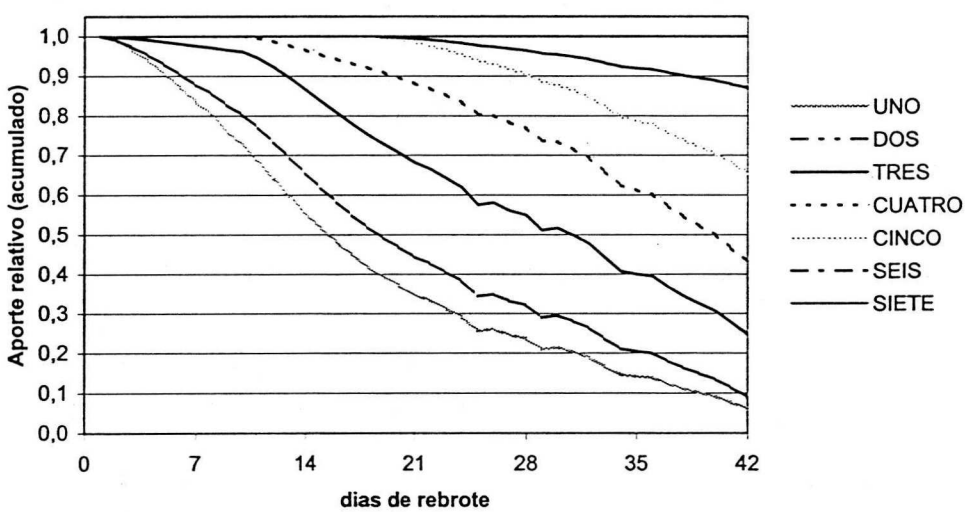


Figura 10. Aporte relativo por estrato a la fotosintesis bruta del dosel de riagrás.

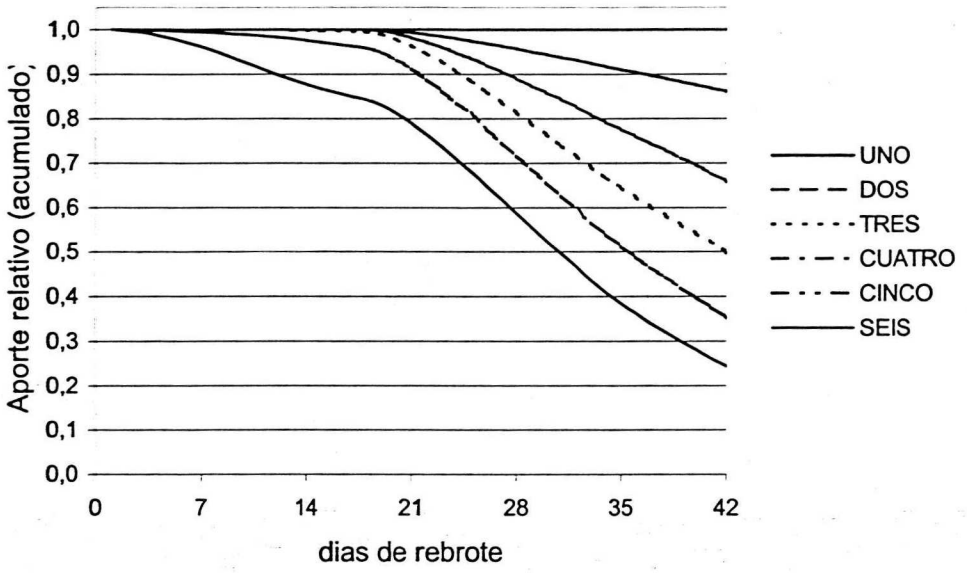


Figura 11. Aporte relativo por estrato a la fotosintesis bruta del dosel de avena.

5.7 Composición Botánica

En la figura 12 se muestra la evolución de la estructura de la asociación avena-raigrás anual. Es clara la dominancia del raigrás anual los primeros 12 días de rebrote, principalmente en los estratos inferiores. Sin embargo, el día 31 después de 10 cm de altura, la avena mostró una dominancia completa. Estas diferencias se deben principalmente a la estructura de cada especie, mientras el raigrás anual tiende a ser de hábito un poco inclinado, la avena muestra un crecimiento más erecto, esta situación se hace más crítica en asociación debido a la competencia y al final del ciclo de crecimiento debido a la entrada en la etapa reproductiva de la avena.

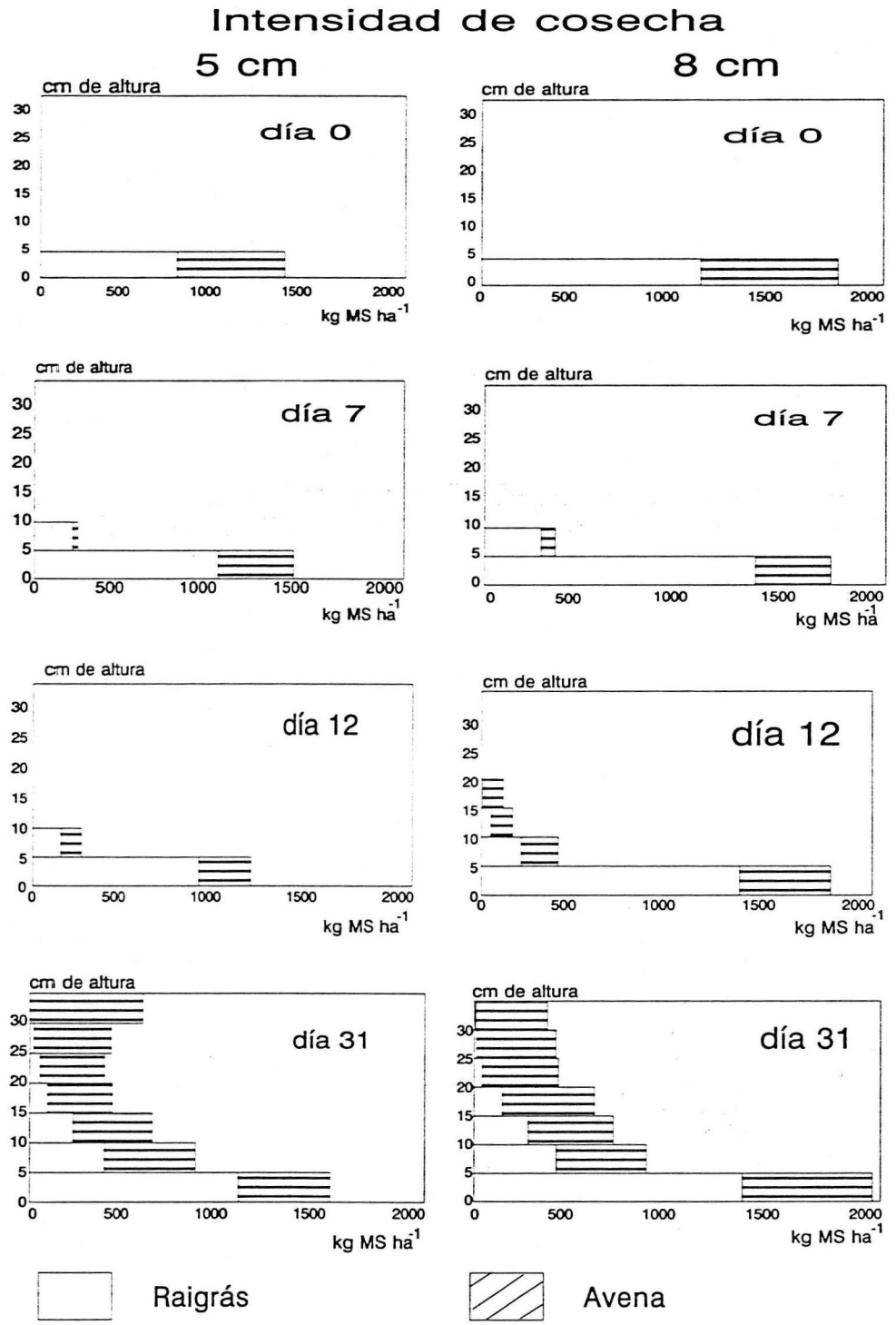


Figura 12. Composición botánica por estratos a cada 5 cm de la asociación avena-raigrás anual cosechada a dos intensidades de corte durante un período de rebrote en marzo.

5.8 Rendimiento

En el experimento de densidades de siembra, las diferencias en producción de materia seca no fueron significativas para densidades por especie, no así entre especies (figura 13). Las mayores producciones de materia seca se presentaron para el raigrás anual. Estas diferencias se deben principalmente a la mayor capacidad del raigrás anual para producir hijatos y a un menor porcentaje de hijatos muertos (cuadro 13). No hubo diferencias signifivativas en materia seca residual entre especies.

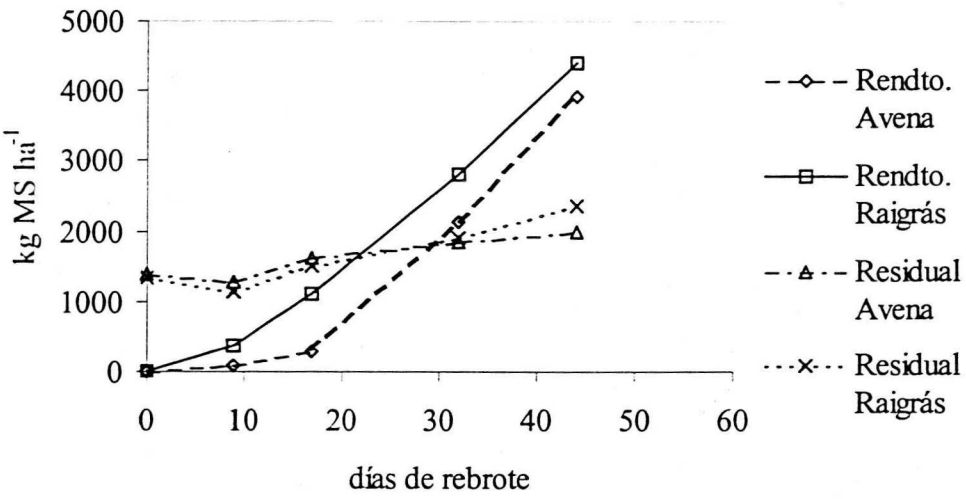


Figura 13. Producción de materia seca cosechable y residual para avena y raigrás anual en un período de rebrote.

Para el caso del raigrás anual, la densidad de hijatos tendió a ser 6% mayor con la densidad de siembra 200, el cultivo estabilizó el número de hijatos vivos (2172 y 2187

para las densidades de siembra 100 y 200, respectivamente), tendiendo a presentarse 4% mayor mortalidad con la densidad de siembra 200.

Cuadro 13. Número de hijatos por m^2 y proporción de hijatos muertos para avena y raigrás anual a diferentes densidades de siembra.

Especie	Densidad de siembra	# hijatos m^{-2}	% hijatos muertos
Avena	100	1735 b	29.8 b
Avena	200	1933 b	30.8 b
Raigrás anual	100	2401 a	9.5 a
Raigrás anual	200	2548 a	13.9 a

* medias con la misma literal por columna no son diferentes ($\alpha \geq 0.05$)

Al aplicar diferentes alturas de corte para la asociación, la altura de corte 8 presentó una mayor producción de materia seca y de materia seca residual durante todo el ciclo de rebrote, mostrándose una diferencia de 500 kg MS que fue relativamente constante de a partir del día 23 (figura 14) . Solo al principio del período de rebrote, cuando se determinó rendimiento, el comportamiento fue inverso. Las diferencias en producción de materia seca se debieron a la masa de forraje inicial, y a una mayor muerte de hijatos de avena en la altura de corte 8 (Flores,1999). Estas diferencias se consercaron hasta el final del período de crecimiento.

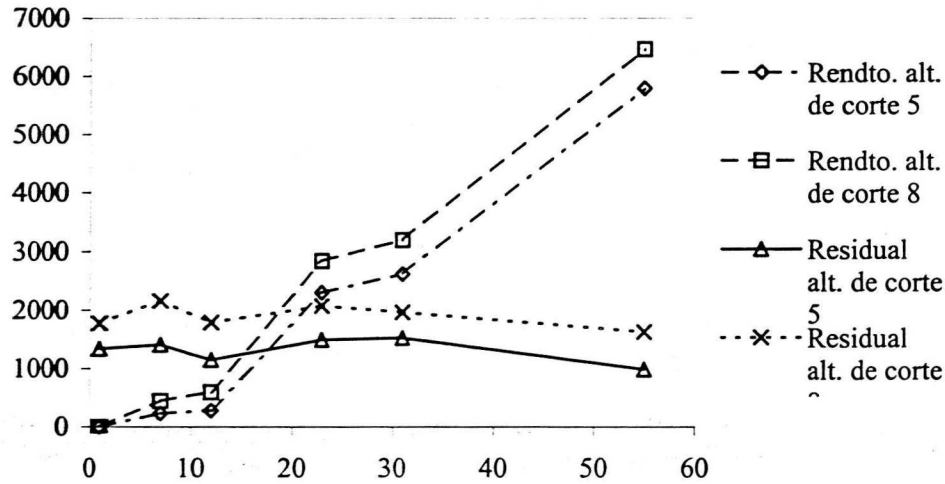


Figura 14. Producción de materia seca cosechable y residual para la asociación avena-raigrás anual a diferentes alturas de corte para un período de rebrote.

Al comparar los rendimientos de los monocultivos con la asociación, los mayores rendimientos fueron para la asociación con altura de corte 8, y los menores para la avena en monocultivo (figura 15). La asociación con altura de corte 5 tuvo la misma producción de materia seca que el raigrás anual en monocultivo, el cual también fue cortado a una altura de residual de 5 cm. Las diferencias en producción de materia seca que se observaron fueron de aproximadamente 500 kg a partir del día 20, conservándose esta diferencia durante el resto del período de crecimiento.

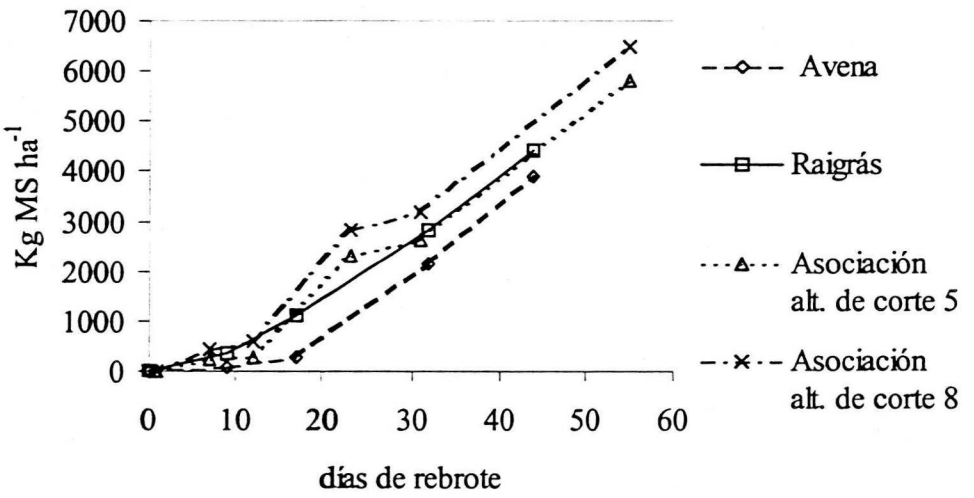


Figura 15. Producción de materia seca para avena, raigrás anual y la asociación a diferentes alturas de corte durante un período de rebrote.

5.9 Efecto nitrógeno

En el cuadro 14 se muestra el efecto de aplicaciones de niveles crecientes de N en algunas características de la asociación avena-raigrás anual.

Para AFE en raigrás anual se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa, donde los tratamientos de 100 y 150 tuvieron valores más altos que el tratamiento 0. Estos resultados coinciden con lo reportado por Willman y Wright (1983) en praderas de raigrás anual perenne, donde el peso seco por unidad de área de hoja disminuyó ligeramente conforme la tasa de aplicación de N se incrementó. Nassiri (1998) encontró que el AFE en praderas de raigrás anual perenne aumenta con la aplicación de niveles crecientes de N.

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas para los valores de Pb en ambas especies, existen reportes que sugieren un aumento en ésta por efecto N (Robson y Parson, 1978; Willman y Wright, 1983; Woledge y Pearse, 1985). Este efecto se nota principalmente en la expansión de las hojas, lo que afecta la intercepción de luz (Robson *et al.*, 1988), lo que finalmente se refleja en el rendimiento final (cuadro 14). Hubo una mayor concentración de N en los tratamientos 100 y 150. Datos experimentales sugieren que la disponibilidad de N afecta la actividad fotosintética de las hojas, lo cual parece estar correlacionado con el contenido de N en la materia seca. A bajos niveles de N disponible la parte aérea de las plantas crece menos, mientras que el crecimiento radicular aumenta, presumiblemente para aumentar la extracción de N, lo que reduce la actividad fotosintética de las hojas (Charles-Edwards, 1981).

Cuadro 14. Efecto de dosis crecientes de N en la asociación avena-raigrás anual.

Tratamiento	AFE en raigras[1]	Rendto.[2]	Residual[2]	Pb en avena[3]	Pb en raigras[3]	Conc. de N[4]
0	227.43 c	766 b	1330 a	29.50 a	24.05 a	1.79 b
50	258.00 bc	1543 ab	1465 a	26.96 a	26.30 a	2.64 b
100	288.13 ab	1830 a	1635 a	30.28 a	29.87 a	4.09 a
150	309.37 a	2112 a	1581 a	30.82 a	28.60 a	3.94 a

* medias por columna con la misma literal no son diferentes ($\alpha \geq 0.05$). [1] $cm^2 g^{-1}$, [2] kg MS ha^{-1}, [3] $\mu mol\ m^{-2} s^{-1}$, [4] %.

5.10 Resultados del modelo de simulación

En el anexo 4 se presenta el listado de ecuaciones del programa correspondiente al modelo para la simulación del crecimiento de raigrás anual, el modelo correspondiente a

avena solo implicó cambios en algunos parámetros (anexo 5). En el caso de la asociación avena-raigrás anual, se incorporaron módulos para simular cada componente por separado, pero en lo esencial el modelo conserva la misma estructura, en el anexo 6 se presenta el listado del modelo correspondiente a la asociación.

Las lineas del programa presentado en el anexo 4 han sido numeradas para facilitar su descripcion. Las primeras 70 lineas del programa se emplean para calcular el área foliar, para lo cual se generaron 7 estratos de 5 cm cada uno a partir del nivel del suelo.

En las lineas 001 a 007 se calcula el área de laminas de cada estrato (LA1 a 7) como la integral de las tasas de incremento del área de laminas (TLA1 a 7). La tasa de incremento es una función del incremento diario del área foliar del estrato mutiplicado por la fracción lámina del mismo (lineas 015 a 021). De la misma forma se calcula el área de vainas (AV1 a 7 y TAV1 a 7, lineas 008 a 014 y 022 a 028). Tanto los incrementos del área foliar por estrato (TAL1T a TAL7T) como las fracciones vaina (PV1 a 7) son funciones meramente descriptivas que incorporan los resultados encontrados en marzo-abril 1999 (Figuras 4, 5 y 6). En las lineas 043 a 056 se definen las condiciones inciales de áreas de láminas y vainas al iniciarse el periodo de rebrote. El área foliar de cada estrato y la total se calculan como la suma de área de vainas y laminas en las lineas 057 a 063, en tanto que el área foliar superior a cada estrato (necesario para calcular la energia incidente sobre ese estrato) se calcula en las lineas 064 a 070.

En la medida que se incremente la base de datos se podrá en el futuro incorporar un enfoque mas mecánico del incremento del área foliar, en el que éste se calcule como producto de la asimilación del cultivo (tal como tiene lugar en SUCROS), incluyendo una función de distribución vertical del área foliar. El enfoque descriptivo asumido en la presente versión representa una severa limitación para la extrapolación de resultados.

La radiación incidente por estrato en un día claro (sin nubes) se calcula en las lineas 071 a 079, para lo cual se asumió la extinción exponencial dentro del dosel, los valores del coeficiente de extinción k se presentan en forma tabulada en función del tiempo (lineas 080 a 081) y corresponden a los resultados reportados en el cuadro 12.

Las ecuaciones incorporadas en las lineas 082 a 084 describen la evolución de la fotosíntesis con altos niveles de radiación (PMAX) tal como fueron reportadas en la figura 9 y anexo 3; en el punto 4.8.3, se senañó que no se detectaron diferencias en PMAX de los estratos 2, 3 y 4, de tal forma se identifican como diferentes el primer estrato de 5 cm, los estratos ubicados entre 5 y 20 cm y por ultimo los ubicados por encima de 20 cm. Los resultados de las mediciones realizadas en vainas fueron inconsistentes por lo que se tomó la opción de no emplearlos y se asumió que PMAX de vainas representa el 50% de PMAX de hojas inferiores (linea 089). Estas inconsistencias quiza se deben a la dificultad encontrada para colocar las vainas dentro de la camara del IRGA.

A partir de esas PMAX y de una eficiencia incial de 0.45 (kgCO2/(ha*hora))/(J/(m2*s)) linea 127), empleando la exponencial negativa (Acock *et al.* 1970; citado por Acock,

1991) se calcula la fotosíntesis bruta (kg CO_2 ha^{-1} h^{-1}) de cada estrato por hectárea de hoja (lineas 086 a 99) y se le convierte a fotosíntesis actual multiplicándola por el área del estrato respectivo y sumando fotosíntesis de vainas y láminas (lineas 100 a 120). En la linea 121 se calcula la fotosíntesis bruta del dosel en un día claro como la suma de la fotosíntesis de los diferentes estratos.

La correción empleada en SUCROS para el efecto de días nublados o parcialmente nublados, no se pudo emplear por el cambio de enfoque a simular la fotosíntesis de diferentes estratos del dosel. Para incorporar esta correción se realizaron corridas de SUCROS con diferentes niveles de nubes e índice de área foliar y con los resultados se calcularon ecuaciones de regresión, mismas que se incorporaron en las lineas 122 a 125. En la linea 126 se convierte la fotosíntesis bruta de kg CO_2 a kg de carbohidratos que serán las unidades empleadas de ahi en adelante.

El calculo de la radiación diaria (lineas 131 a 147) fue tomado en forma textual de SUCROS (Van Keulen *et al.*, 1982), este cálculo toma en cuenta la latitud y el día del año. En las lineas 148 a 150 se toma en cuenta la radiación actual, misma que se considera para el cálculo de la fracción en que el día estuvo nublado (linea 137).

Empleando el calendario juliano, las lineas 151 y 152 definen el día de comienzo de la simulación a partir del corte.

En las lineas 153 a 184, se convierte el resultado de fotosíntesis bruta en crecimiento del cultivo, empleando para ello parametros, que en su mayoría provienen de SUCROS

(Goudriaan y Van Laar, 1994). Las lineas 153 a 157 calculan los requerimientos para la respiración de mantenimiento de la parte aérea y la raiz en función de su biomasa. Al descontar esos requerimientos, se calcula los carbohidratos disponibles para el crecimiento (linea 158). Estos carbohidratos se distribuirán entre la parte aérea y la raiz de acuerdo a la función de distribución DISTR (lineas 164 y 165) que depende del balance funcional entre estas partes, controlado por la magnitud de la fotosíntesis bruta (Amendola, 1981). Una vez conocidos los carbohidratos disponibles para el crecimiento de la parte aérea y la raiz, estos son convertidos a tejidos de acuerdo a diferentes eficiencias que dependen de la composición quimica de los tejidos (lineas 159, 161,162, 163). A partir de estas tasas de incremento de peso se calcula la biomasa aérea (linea 168) y de raiz (linea 160).

5.10.1 Resultados de las corridas de los modelos

En esta primera fase, los resultados de las corridas de los modelos se compararon solo con los datos obtenidos en los experimentos (figuras 16, 17 y 18), y debido a que no se contó con datos que se emplearan en el desarrollo de los modelos, no fue posible la validación de éstos, de ahí que el enfoque de estos modelos sea descriptivo.

Para el caso de la asociación, la cual muestra un crecimiento exponencial, el modelo predice con bastante precisión el rendimiento para la altura de corte 8; sin embargo, para la altura de corte 5, el modelo tiende a sobrestimar. En el experimento de raigrás anual, el modelo tiende a subestimar el rendimiento hasta el día 30, a partir de ese día el modelo sobrestima; mientras que en experimento de avena, el modelo tiene un

comportamiento inverso: sobrestima al inicio del período de crecimiento y subestima al final del ciclo.

El grado de precisión de un modelo depende en gran parte de su percepción conceptual. Sin embargo, para determinar si el modelo corresponde cualitativamente con la realidad, se debe realizar una comparación cuantitativa y una evaluación del éxito predictivo del modelo. En esta fase, las herramientas estadísticas puden ser de gran ayuda. La evaluación de los modelos a menudo resulta superficial como resultado de una base de datos demasiado pequeña. Muchos modelos son solo evaluados para establecer una buena correspondencia entre los resultados predichos y los observados, pero esos mismos resultados fueron utilizados para derivar constantes en el modelo. Para aumentar el grado de precisión de predicción y explicación, es necesario una fuerte experimentación paralela a la construcción de modelos (Penning de Vries, 1982).

Los más difíciles y fundamentales errores son de tipo conceptual. Además, los programas a menudo contienen errores técnicos simples, los cuales aparecen cuando el modelo es empleado para simular nuevas situaciones, o cuando alguien estudia el programa de simulación. Antes de la liberación de un programa, se debe realizar una vigorosa evaluación para eliminar los errores mayormente posibles (Penning de Vries, 1982).

Aunque existen herramientas que han hecho que la construcción de modelos sea más fácil, aun son necesarios algunos principios matemáticos y técnicas básicas para un entendimiento propio de los problemas numéricos que puedan surgir. En la simulación

del crecimiento de cultivos, es necesario la integración del conocimiento de diferentes disciplinas y el tiempo de escala del proceso. Muchas veces, el sistema se encuentra cambiando debido a fuerzas externas, por lo que el tiempo de dominio de las fuerzas externas debe ser tomado en cuenta (Goudriaan y Van Laar, 1994).

Con sus ventajas y desventajas, el desarrollo de modelos jugará un papel significante sobre las mejoras futuras en la producción y utilización de los pastos. Debido a que el uso de las computadoras en la industria de la agricultura son cada vez más comunes, el uso de modelos de los cultivos como ayuda de manejo se incrementará. La construcción de modelos para cubrir esas demandas representa un reto inmediato para fisiólogos y matemáticos (Sheehy y Jhonson, 1988).

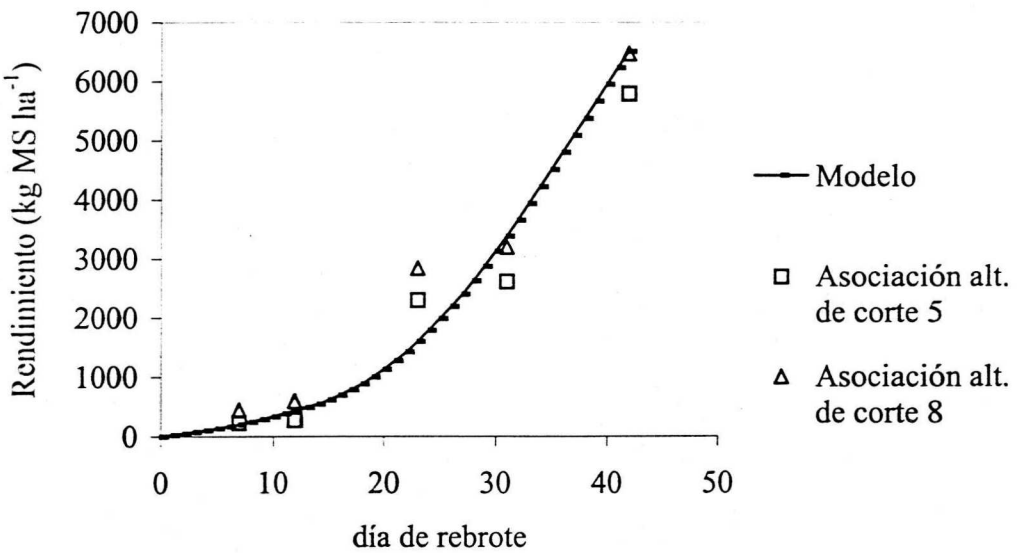


Figura 16. Rendimiento de materia seca de la asociación avena-raigrás anual predicho por el modelo y obtenido en el experimento.

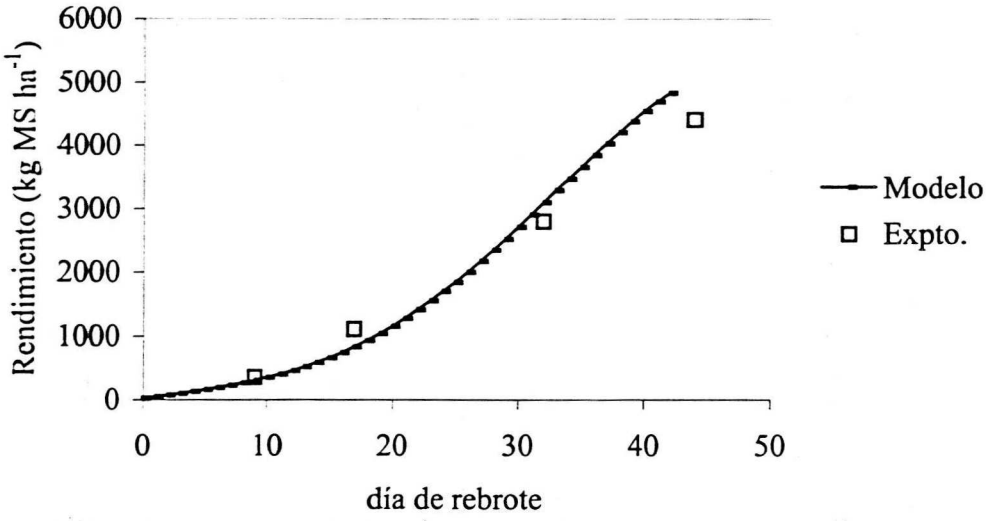


Figura 17. Rendimiento de materia seca en raigrás anual predicho por el modelo y obtenido en el experimento.

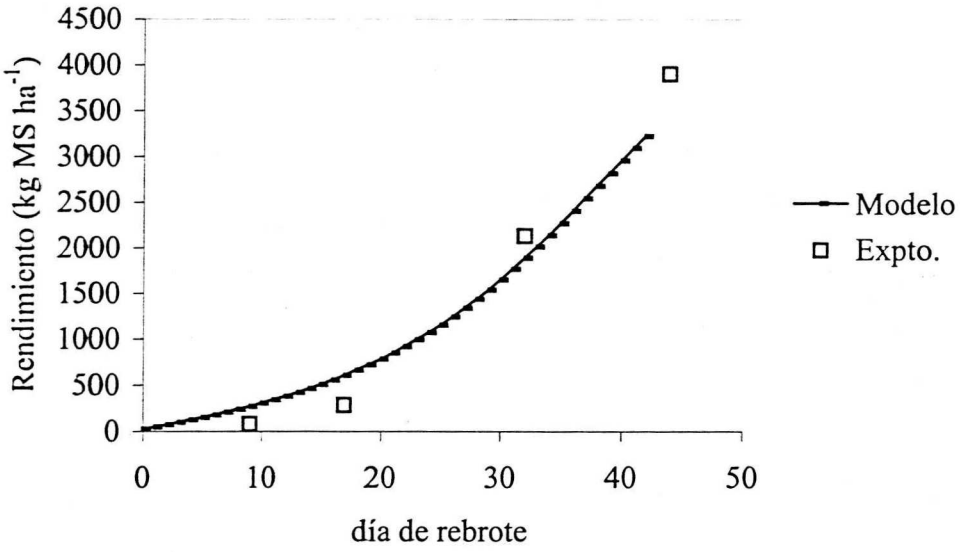


Figura 18. Rendimiento de materia seca en avena predicho por el modelo y obtenido en el experimento.

VI. CONCLUSIONES

Con base a los resultados y bajo las condiciones en que se realizó el presente estudio, se concluye lo siguiente:

- La fotosíntesis máxima de hojas individuales disminuyó hacia los estratos inferiores y conforme aumentó la edad del cultivo, como efecto de la edad de la hoja y el autosombreado del cultivo.

- La densidad de siembra y la altura de corte afectaron la evolución del índice de área foliar y la intercepción de luz, pero no tuvieron efecto en la fotosíntesis y respiración de la asociación avena-raigrás anual.

- El principal efecto de la fertilización nitrogenada fue sobre el índice de área foliar, lo que provocó que hubiera una mayor intercepción de luz.

- El modelo construido permitió simular la producción de forraje de un cultivo de avena-raigrás anual, pero se debe seguir estudiando para encontrar los errores que causan las fallas en la predicción y simplificar en lo más posible el modelo.

- Es necesario realizar mayor investigación en el área para aumentar la base de datos disponibles para la validación de los modelos.

VII. LITERATURA CITADA

Acock B. 1991. Modelling canopy photosyntetic response to carbon dioxide, light interception, temperature and leaf traits. En: Boote K. J. y S. Loomis R. (eds.). Modelling Crop Photosynthesis: From Biochemistry to Canopy. CSSA publicación especial num. 19. Madison, Wisconsin, USA. pp:41-55.

Améndola M. R. D. y B. Morales M. 1997. Competition between oats and annual ryegrass under grazing. Proceedings of the XVIII Intnal. Grassland Congress. (8-9 junio). Winnipeg-Saskatoon, Canada. pp: 22-119 22-120.

Amendola R. 1982. Een dinamisch verklarend model voor de grasgroei eerste en tweede snede. Universidad Agricola Wageningen (mimeo). 58 pp.

Anslow C. R. 1966. The rate of appearance of leaves on tillers of the gramineae. Herbaje Abstacts. 36(3): 149-155.

Brady J. C. 1973. Changes Accompanying Growth and Senescence and Effect of Physiological Stress. En: Butler W. G. y R. W. Bailey. (eds.). Chemistry and Biochemistry of herbage. Volumen II. Academic Press. Londres. pp: 317-351.

Brown R. H. y E. Blaser R. 1968. Leaf area index in pasture growth. Herbage Abstracts. 38(1): 1-9.

Cachón A. L. E. Y H. E. Cuanalo de la C. 1976. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Colegio de Posgraduados. E. N. A. Chapingo, México. 79 pp.

Charles-Edwards D. A. 1981. The Mathematics of Photosyntesis and Productivity. Academic Press London. Londres, Inglaterra. 127 pp.

Cooper J. P. y N. Tainton M. 1968. Light and temperature requeriments for the growth of tropical and temperate grasses. Herbage Abstracts. 38(3): 167-176.

Cortés A. M. 1989. Efecto de la asignación de forraje sobre la selectividad de bovinos pastoreando una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* var Valenciana) y zacate Orchard (*Dactylis glomerata* var Potomac). Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 65 pp.

Cortez A. J. 1998. Pastoreo de la asociación avena (*Avena sativa* var. Cocker) – raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam) para la producción invernal de leche. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 148 pp.

Criswell J. C. y R. Shibles M. 1971. Physiological basis for genotypic variation in net photosynthesis of oat leaves. Crop Sci. 11: 550-553.

Davies A. 1988. The regrowth of grass sward. En: The Grass Crop: The physiological basis of production. Jones M. B. y A. Lazenby (eds.). Champtan and Hall. Londres. pp: 85-127.

De Wit C. T. 1982. Simulation of living systems. En: Simulation of plant growth and crop production. Penning de Vries F. W. T. y H. Van Laar H. (eds.). PUDOC. Wageningen, Holanda. pp: 3-8.

Dorantes J. J. 1997. Evaluación de la inclusión de diferentes leguminosas en la asociación avena-raigrás anual bajo pastoreo en invierno, en Capingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 77 pp.

Esqueda C. M., H. O. Rubio A. y M. A. Flores O. 1995. Evaluación de seis variedades de avena para producción intensiva de forraje en tres fechas de siembra. Técnica Pecuaria. 33(2):74-86.

Farías F. J. M., H. M. Quiroga G., R. A. Martínez P. Y H. Salinas G. 1983. Ballico anual: una alternativa invernal para producir forraje en la Comarca Lagunera. SARH. México. 9 pp.

Fernández R. E. J. Y L. López-Bedillo. 1993. Modelos de simulación en cultivos herbáceos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 262 pp.

Flores P. M. M., R. D. Améndola M. y J. A. Burgueño F. 1999. Fertilización nitrogenada en una asociación de avena y ballico anual. En: XXXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán, México. p 125.

Frank A. B. 1981. Effect of leaf age and position on photosynthesis and stomatal conductance of forage grasses. Agronomy Journal. 73:78-90.

García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. OFFSET LARIOS. México, D. F. 217 pp.

García E. M., J. L. Hernández M. y V. López L. 1994. Evaluación de dos especies de avena y dos variedades de raigrás anual bajo pastoreo en Chapingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 110 pp.

Garnier E., P. Cordonnier, J.-L. Guillerm y L. Sonié. 1997. Specific leaf area and leaf nitrogen concentration in annual and perennial grass species growing in Meiterranean old-fields. Oecologia. 111:490-498.

Gifford R. M. y C. Marshall. 1972. Photosynthesis and assimilate distribution in *Lolium multiflorum* Lam. Following differential tiller defoliation. Australian Journal of biological Sci. 26:517-26.

Goudriaan J. y H. van Laar H. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 238 pp.

Harper J. L. 1978. Plant relations in pastues. En Wilson J.R. (Ed) Plant Relations in Pastures. CSIRO. Australia. pp 3-14.

Hernández G. F. Y J. A. Eguiarte. 1992. Aprovechamiento de especies forrajeras de invierno en el centro de Michoacan. Técnica Pecuaria. 30(1):85-90.

Hodgson J. 1990. Grazing Management: science into practice. Longman Scientific & Technical. New York, E. U. 203 pp.

Jansen D. M., D. Djerks T., H. Van Laar H., y M. Alagos M. 1988.PCSMP ON IBM PC – AT's or PC XT's and Compatibles. Simulation Reports CABO-TT. A Joint Publication of Centre for Agrobiological Research and Department of Theoretical Production Ecology. Agricultural University. Holanda. 64 pp.

Jones M. B. 1988. Water relations. En: Jones M. B. y A. Lazenby (eds.). The Crass Crop: The physiological basis of production. Champtan and Hall. Londres. pp: 205-242.

Kemp D. R. 1984. Temperate Pastures. En: Control of Crop Productivity. Pearson C. J. (ed.). Academic Press. Londres. pp: 159-184.

Langer R. H. M. 1979. How grasses grow. 2a. edición. University Park Press. Baltimore. 66 pp.

LI-COR Inc. 1987. Manual del usuario del LI-6200 Photosynthesis system. Nebraska, E.U. 1-6 9-8 pp.

Long S. P. Y J-E. Hällgren. 1985. Measurement of CO_2 assimilation by plants in the field and the laboratory. En: J. Coombs, D. Hall O., S. Long P. y J. M. Scurlock O. (eds.). Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. 2a. edición. Pergamon Press. Gran Bretaña. pp: 62-82.

Loomis R. S., A. Williams W. y G. Duncan W. 1967. Community architecture and the productivity of terrestrial plant communities. En: San Pietro A., F. A. Greer. y T. J. Army (eds.) Harvesting the Sun: Photosynthesis in plant life. Academic Press. Nueva york, E. U. pp: 291-308.

Ludlow M. M. 1978. Light relations in pasture plants. En: Wilson J. R (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO. Australia. pp: 35-49.

Marshal C. y G. Sagar R. 1965. the influence of defoliation on the distribution of assimilates in *Lolium multiflorum* Lam. Ann. Bot. 29(115):365-372.

Marshal C. y G. Sagar R. 1968. The distribution of assimilates in *Lolium multiflorum* Lam. Following differential defoliation. Ann. Bot. 32:715-19.

Martínez C. M. A. 1999. Suplementación con ensilado de maíz a vacas lecheras en pastoreo. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 107 pp.

Melgoza O, O. Rubio A. y R. Nuñez S. 1991. Proporciones de rye grass-avena para producción de forraje bajo riego en Ojinaga, Chihuahua. En: Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Tamaulipas, México. p 332.

Morales M. B. 1995. Evaluación de tres cultivares de avena forrajera bajo pastoreo en Chapingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 78 pp.

Nassiri M. E. Lantinga A. y A. Elgersma. 1998. Effects of nitrogen on light competition, partitioning and radiation use efficiency in pure stands and mixtures of perennial ryegrass and white clover cultivars: simulation and experiment. En: Nassiri M. E. Modelling interactions in grass-clover mixtures. Ph. D. Thesis. Wageningen Agricultural University. Holanda. pp:99-119.

Nobel P. S. y S. Long P. 1985. Canopy structure and light interception. En: J. Coombs, D. Hall O., S. Long P. y J. M. Scurlock O. (eds.). Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. 2a. edición. Pergamon Press. Gran Bretaña. pp: 41-49.

Penning de Vries F. W. T. 1982. Phases of development of models. En: Penning de Vries F. W. T. y H. van Laar H. (eds.). Simulation of plant growth and crop production. PUDOC. Wageningen, Holanda. pp: 20-25.

Penning de Vries F. W. T., D. M. Jansen, H. F. M. ten Berge y A. Bakema. 1989. Simulation of ecophysiologycal processes of growth in several annuals crops. PUDOC. Wageningen, Holanda. 271 pp.

Robson M. J. y J. Parson a. 1978. Nitrogen deficiency in small closed communities of S24 ryegrass. I. Photosynthesis, respiration, dry matter production and partition. Ann. Bot. 42:1185-97.

Robson M. J., J. A. Ryle G. Y J. Woledge. 1988. The grass plant: its form and function. En: Jones M. B. y A. Lazenby (eds.). The grass crop: En: The Crass Crop: The physiological basis of production. Champtan and Hall. Londres. pp: 25-83.

Rodhes y Collins. 1993. Canopy Structure. En: Davies A., D. Baker R., A. Grant S. Y S. Lidlaw A. (eds.). Sward Measurement Handbook. 2nd edition. British Grassland Society. Reading. Reino Unido. pp: 139-156.

Statistical Analisys System (SAS). 1998. The SAS system for Windows Release 6.12. SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA.

Sestak Z. 1971. Radiation and Crop Structure. En: J. Catstky y G. Jarvis P (eds). Plant photosynthesis production: manual of methods. Publishers, The Hague. Holanda. 818 pp.

Sheehy J. E. y I. R. Johnson. 1988. Physiological models of grass growth. En: Jones M. B. y A. Lazenby (eds.). The Crass Crop: The physiological basis of production. Champtan and Hall. Londres. pp:243-275.

Sheehy J. E., F. Minchin R. y A. McNeill. 1992. Physiological principles governing the growth and development of Lucerne, sainfon and red clover. Grassland Research Institute. Maidenhead, Berkshire. SL6 5LR.

Thomas H. 1980. Terminology and definitions in studies of grassland plants. Grass and Forage Sci. 35:13-23.

Van Keulen H., Penning de Vries F.W.T. y Drees E.M. 1982. A summary model ofr crop growth. En: F.W.T Penning de Vries y H.H. van Laar (Eds.) Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. pp 87-97.

Whitehead D. C. 1995. Grassland Nitrogen. CAB Intnal. Wallingfford, U.K. 397 pp.

Willman D. y Wright P. T.1983. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical composition of temperate grasses. Herbage Abstracts. 53:387-393.

Wilson D. 1973. 1973. Phisiology of light utilization by swards. En: Butler W. G. Y R. W. Bailey. (eds). Chemistry and Biochemistry of Herbage. Academic Press. Londres. pp: 57-101.

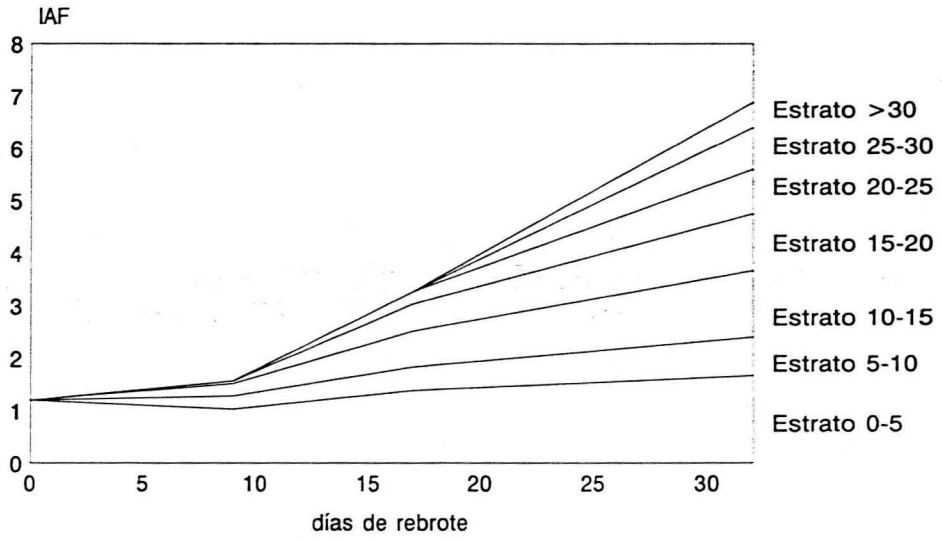
Woledge J. 1977. The effects of shading and treatments on the photosynthetic rate of ryegrass leaves. Ann. Bot. 41:1279-86.

Woledge J. y E. L. Leafe. 1976. Single leaf and canopy photosynthesis in a riegrass sward. Ann. Bot. 40:773-83.

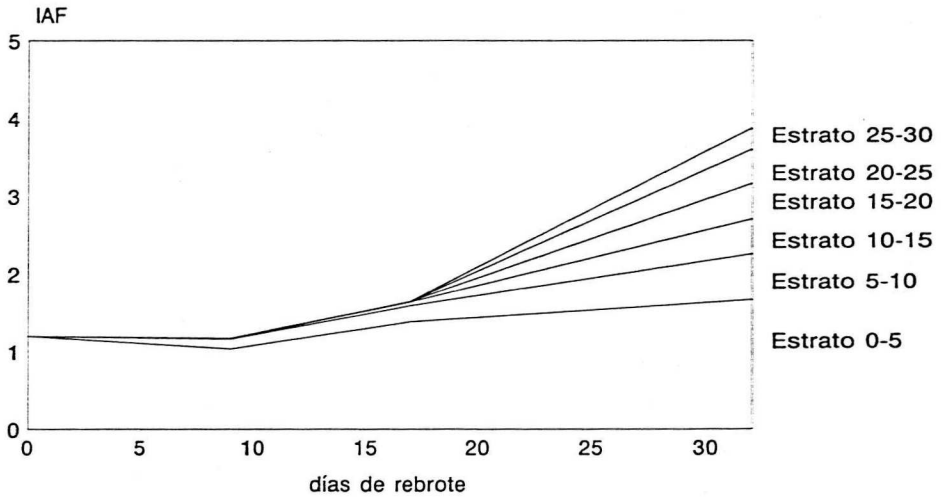
Woledge J. y P. J. Pearse. 1985. The effect of nitrogenous fertilizer on the photosynthesis of leaves of a ryegrass sward. Grass and Forage Sc. 40: 305-309.

Anexo 1. Evolución del área foliar de avena y raigrás anual en monocultivo con dos diferentes densidades de siembra

Ballico

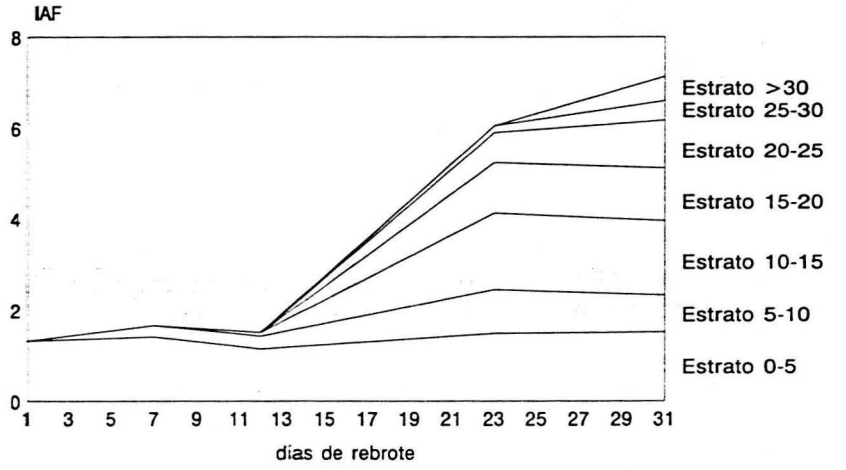


Avena

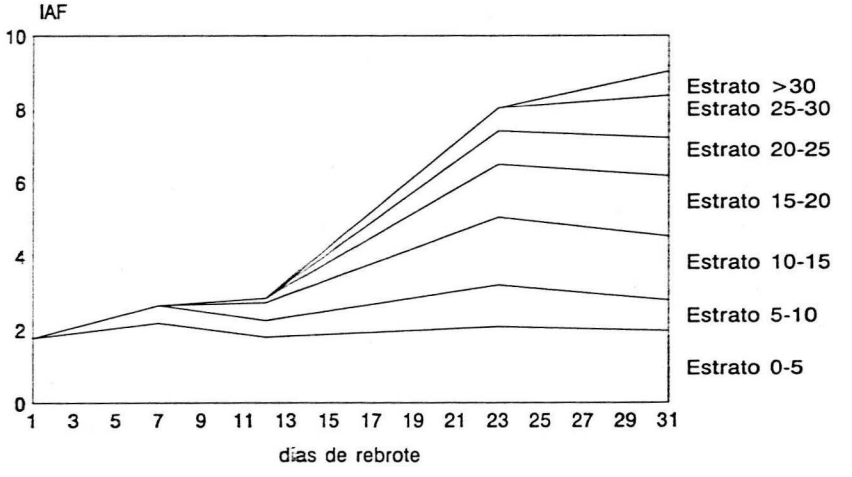


Anexo 2. Evolución del IAF en la asociación avena-raigrás anual con dos intensidades de corte.

Asociación 5 cm



Asociación 8 cm



Anexo 3. Ecuaciones de Pn, Resp y Pb.

		Avena			Ballico		
		β_0	β_1	Intercepto	β_0	β_1	Intercepto
Estrato 1	Pn	4.04 (0.06)	-0.48 (0.08)	0.01 (0.99)	4.49 (0.18)	-0.70 (0.17)	-0.21 (0.90)
	Resp	-3.88 (0.24)	0.53 (0.22)	-2.75 (0.6)	-4.71 (0.33)	0.74 (0.31)	-3.23 (0.69)
	Pb	7.92 (0.006)	-1.01 (0.006)	2.08 (0.43)	9.13 (0.16)	-1.43 (0.15)	3.13 (0.79)
Estrato 2, 3 y 4	Pn	-1.25 (0.0097)		16.56 (0.0001)		-0.30 (0.0015)	13.05 (0.0001)
	Resp				1.69 (0.003)		-15.76 (0.0001)
	Pb		-0.18 (0.01)	25.08 (0.0001)	-3.94 (0.0001)		32.49 (0.0001)
Estrato 5	Pn	-5.37 (0.09)	0.66 (0.06)	23.56 (0.007)	-2.3894 (0.01)	0.32 (0.65)	18.51 (0.001)
	Resp	4.12 (0.30)	-0.42 (0.33)	-18.59 (0.057)	2.41 (0.04)	-0.48 (0.62)	-20.70 (0.002)
	Pb	-9.48 (0.02)	1.09 (0.02)	42.14 (0.001)	-4.79 (0.01)	0.82 (0.57)	39.22 (0.0009)

Anexo 4. Modelo de simulación del crecimiento de raigrás anual

```
***RAIGRAS MODELO DE SIMULACION DE UN CICLO DE REBROTE DE RAIGRAS
***incremento del area foliar
001     LA1  =INTGRL(LA1I,TLA1)
002     LA2  =INTGRL(LA2I,TLA2)
003     LA3  =INTGRL(LA3I,TLA3)
004     LA4  =INTGRL(LA4I,TLA4)
005     LA5  =INTGRL(LA5I,TLA5)
006     LA6  =INTGRL(LA6I,TLA6)
007     LA7  =INTGRL(LA7I,TLA7)
008     AV1   =INTGRL(AV1I,TAV1)
009     AV2   =INTGRL(AV2I,TAV2)
010     AV3   =INTGRL(AV3I,TAV3)
011     AV4   =INTGRL(AV4I,TAV4)
012     AV5   =INTGRL(AV5I,TAV5)
013     AV6   =INTGRL(AV6I,TAV6)
014     AV7   =INTGRL(AV7I,TAV7)
015     TLA1  =AFGEN(TAL1T,DREB)*(1.-PV1)
016     TLA2  =AFGEN(TAL2T,DREB)*(1.-PV2)
017     TLA3  =AFGEN(TAL3T,DREB)*(1.-PV3)
018     TLA4  =AFGEN(TAL4T,DREB)*(1.-PV4)
019     TLA5  =AFGEN(TAL5T,DREB)*(1.-PV5)
020     TLA6  =AFGEN(TAL6T,DREB)*(1.-PV6)
021     TLA7  =AFGEN(TAL7T,DREB)*(1.-PV7)
022     TAV1  =AFGEN(TAL1T,DREB)*(PV1)
023     TAV2  =AFGEN(TAL2T,DREB)*(PV2)
024     TAV3  =AFGEN(TAL3T,DREB)*(PV3)
025     TAV4  =AFGEN(TAL4T,DREB)*(PV4)
026     TAV5  =AFGEN(TAL5T,DREB)*(PV5)
027     TAV6  =AFGEN(TAL6T,DREB)*(PV6)
028     TAV7  =AFGEN(TAL7T,DREB)*(PV7)
029     PV1    =0.9
030     PV2    =0.89
031     PV3    =0.18
032     PV4    =0.09
033     PV5    =0.06
034     PV6    =0.
035     PV7    =0.
036 FUNCTION TAL1T=0.,0.,9.,-0.018,17.,0.044,32.,0.019,45.,0.019
037 FUNCTION TAL2T=0.,0.,9.,0.028,17.,0.025,32.,0.019,45.,0.019
038 FUNCTION TAL3T=0.,0.,9.,0.026,17.,0.056,32.,0.039,45.,0.039
039 FUNCTION TAL4T=0.,0.,9.,0.006,17.,0.058,32.,0.038,45.,0.038
040 FUNCTION TAL5T=0.,0.,9.,0.000,17.,0.029,32.,0.041,45.,0.041
041 FUNCTION TAL6T=0.,0.,9.,0.000,17.,0.000,32.,0.053,45.,0.053
042 FUNCTION TAL7T=0.,0.,9.,0.000,17.,0.000,32.,0.032,45.,0.032
043 INCON AV1I=0.95
044 INCON LA1I=0.385
045 INCON LA2I=0.
046 INCON LA3I=0.
047 INCON LA4I=0.
048 INCON LA5I=0.
049 INCON LA6I=0.
050 INCON LA7I=0.
051 INCON AV2I=0.
052 INCON AV3I=0.
053 INCON AV4I=0.
054 INCON AV5I=0.
055 INCON AV6I=0.
056 INCON AV7I=0.
057     LAI1 =LA1+AV1
```

```
058     LAI2 =LA2+AV2
059     LAI3 =LA3+AV3
060     LAI4 =LA4+AV4
061     LAI5 =LA5+AV5
062     LAI6 =LA6+AV6
063     LAI7 =LA7+AV7
064     LAI  =LAM1+LAI1
065     LAM1 =LAM2+LAI2
066     LAM2 =LAM3+LAI3
067     LAM3 =LAM4+LAI4
068     LAM4 =LAM5+LAI5
069     LAM5 =LAM6+LAI6
070     LAM6 =LAI7
***RADIACION INCIDENTE POR ESTRATO
071     RI7   =RAI
072     RI6   =RAI*EXP(-K*LAM6)
073     RI5   =RAI*EXP(-K*LAM5)
074     RI4   =RAI*EXP(-K*LAM4)
075     RI3   =RAI*EXP(-K*LAM3)
076     RI2   =RAI*EXP(-K*LAM2)
077     RI1   =RAI*EXP(-K*LAM1)
078     RIS   =RAI*EXP(-K*LAI)
079     K     =AFGEN(KTB,DREB)
080 FUNCTION
KTB=0.,0.345,3.5,.345,10.5,.498,17.5,.6617,31.5,.515,...
081              45.,.515
***FOTOSINTESIS BRUTA CON ALTA RADIACION EN FUNCION DE RESULTADOS
***DE DETERMINACIONES DE PMAX POR ESTVATO EGUACION
082     PMAX1 =1.584*(6.75+1.185*DREB-0.03025*DREB*DREB)
083     PMAX2 =1.584*(30.19-.53455*DREB)
084     PMAX5 =1.584*(44.19-1.466*DREB+0.01673*DREB*DREB)
***SE ASUME LA CAPACIDAD FOTOSINTETICA DE VAINAS COMO 0.5 LA DE
HOJAS
***INFERIORES POR INCONSITENCIA EN RESULTADOS EXPERIMENTALES
085     PMAXV =PMAX1/2.
***CALCULO DE P BRUTA/HA HOJA DE DIFERENTES ESTRATOS EN FUNCION
***DE LA RADIACION INCIDENTE EN UN DIA CLARO
***EMPLEANDO LA EXPONENCIAL NEGATIVA
086     PB1   =(1-EXP(-RI1*EFI/PMAX1))*PMAX1
087     PB2   =(1-EXP(-RI2*EFI/PMAX2))*PMAX2
088     PB3   =(1-EXP(-RI3*EFI/PMAX2))*PMAX2
089     PB4   =(1-EXP(-RI4*EFI/PMAX2))*PMAX2
090     PB5   =(1-EXP(-RI5*EFI/PMAX5))*PMAX5
091     PB6   =(1-EXP(-RI6*EFI/PMAX5))*PMAX5
092     PB7   =(1-EXP(-RI7*EFI/PMAX5))*PMAX5
093     PBV1  =(1-EXP(-RI1*EFI/PMAXV))*PMAXV
094     PBV2  =(1-EXP(-RI2*EFI/PMAXV))*PMAXV
095     PBV3  =(1-EXP(-RI3*EFI/PMAXV))*PMAXV
096     PBV4  =(1-EXP(-RI4*EFI/PMAXV))*PMAXV
097     PBV5  =(1-EXP(-RI5*EFI/PMAXV))*PMAXV
098     PBV6  =(1-EXP(-RI6*EFI/PMAXV))*PMAXV
099     PBV7  =(1-EXP(-RI7*EFI/PMAXV))*PMAXV
***CONVERSION A P BRUTA POR AREA REAL DE CADA ESTRATO
100     PBVA1 =PBV1*AV1
101     PBVA2 =PBV2*AV2
102     PBVA3 =PBV3*AV3
103     PBVA4 =PBV4*AV4
104     PBVA5 =PBV5*AV5
105     PBVA6 =PBV6*AV6
106     PBVA7 =PBV7*AV7
107     PB1A  =PB1*LA1
```

```
108     PB2A  =PB2*LA2
109     PB3A  =PB3*LA3
110     PB4A  =PB4*LA4
111      PB5A  =PB5*LA5
112      PB6A  =PB6*LA6
113      PB7A  =PB7*LA7
114      PBJ1  =PBVA1+PB1A
115      PBJ2  =PBVA2+PB2A
116      PBJ3  =PBVA3+PB3A
117      PBJ4  =PBVA4+PB4A
118      PBJ5  =PBVA5+PB5A
119      PBJ6  =PBVA6+PB6A
120      PBJ7  =PBVA7+PB7A
121      PBCL  =PBJ1+PBJ2+PBJ3+PBJ4+PBJ5+PBJ6+PBJ7
***CORRECCION DE EFECTO DE DIAS NUBLADOS EN FUNCION DE REGRESION
***DE RESULTADOS DE SUCROS
122      PBNUB =INSW(LAI-5.,MEN5,MAY5)
123  MEN5=PBCL*(0.65-(6.43E-02*LAI)+(5.06E-03*LAI**2.)+(1.49E-
04*LAI**3.))
124      MAY5=PBCL*(0.435+(2.121E-03*LAI))
125      PBCO=PBNUB*(FOV)+PBCL*(1.-FOV)*DLE
***CONVERSION DE P BRUTA EN KG CO2 A KG CH2O
126      PBD    =PBCO*30./44.
127 PARAM EFI=0.45
***CORRECCION POR EFECTO DE EVOLUCION DIARIA DE RADIACION
***REGRESION CON RESULTADOS DE CALCULOS CON DELTA=1 MINUTO
128      FPBD=0.582*PBD
129      FLAI=376.6*LAI-11.28*LAI**2.
130      FFOV=200.3*FOV**2.
131      DRMJ=DRC/1000.
132      FDRC=6.6*DRMJ-0.00025*DRMJ**2.
133      FK   =484.*K
134      PB   =-44182.+FPBD+FLAI+FDRC+FK+FFOV
***CALCULO DE LA RADIACION ASTRONOMICA
135     RAM    =AVRAD/(DLE*3600.)
136     RAI    =DRC
137     FOV    = (DRC-AVRAD)/(0.8*DRC)
138    DRC=0.5*1370.*RDN*EXP(-0.1/(RDN/(DL*3600.)))
139    RDN=3600.*(SINLD*DL+24./PI*COSLD*SQRT(1.-(SINLD/COSLD)**2))
140    SINLD=SIN(DEC*PI/180.)*SIN(LAT*PI/180.)
141    COSLD=COS(DEC*PI/180.)*COS(LAT*PI/180.)
142    DEC=-23.4*COS(2.*PI*(DAY+10.)/365.)
143    DL=12.*(PI+2.*ASIN(SINLD/COSLD))/PI
144    DLE=12.*(PI+2.*ASIN((-SIN(8.*PI/180.)+SINLD)/COSLD))/PI
145    DLP=12.*(PI+2.*ASIN((-SIN(-4.*PI/180.)+SINLD)/COSLD))/PI
146 CONSTANT PI = 3.1416
147 PARAM LAT = 19.5
***  WEATHER DATA
148       DAY    = AMOD(TIME,365.)
149       AVRAD = 0.5*41820.*AFGEN(AVRADT,DAY)
150 FUNCTION AVRADT=1.,392.,2.,409.,3.,396.,4.,383.,...
                 5.,378.,6.,404.,7.,405.,8.,406.,...
                 9.,418.,10.,341.,11.,403.,12.,410.,...
                13.,452.,14.,427.,15.,388.,16.,438.,...
                17.,445.,18.,438.,19.,490.,20.,424.,...
                21.,423.,22.,445.,23.,450.,24.,451.,...
                25.,450.,26.,490.,27.,500.,28.,413.,...
                29.,479.,30.,461.,31.,390.,32.,490.,...
                33.,542.,34.,442.,35.,463.,36.,461.,...
                37.,452.,38.,538.,39.,509.,40.,481.,...
                41.,461.,42.,375.,43.,442.,44.,250.,...
```

```
                45.,519.,46.,567.,47.,404.,48.,529.,...
                49.,538.,50.,519.,51.,529.,52.,446.,...
                53.,538.,54.,461.,55.,442.,56.,477.,...
                57.,481.,58.,490.,59.,567.,60.,471.,...
                61.,577.,62.,630.,63.,573.,64.,538.,...
                65.,558.,66.,557.,67.,563.,68.,559.,...
                69.,564.,70.,538.,71.,525.,72.,557.,...
                73.,509.,74.,577.,75.,538.,76.,495.,...
                77.,327.,78.,505.,79.,500.,80.,557.,...
                81.,423.,82.,588.,83.,586.,84.,577.,...
                85.,490.,86.,423.,87.,500.,88.,610.,...
                89.,571.,90.,565.,91.,585.,92.,634.,...
                93.,615.,94.,613.,95.,621.,96.,585.,...
                97.,611.,98.,625.,99.,605.,100.,615.,...
               101.,633.,102.,612.,103.,598.,104.,471.,...
               105.,461.,106.,413.,107.,404.,108.,471.,...
               109.,544.,110.,605.,111.,671.,112.,573.,...
               113.,515.,114.,481.,115.,544.,116.,538.,...
               117.,529.,118.,563.,119.,596.,120.,534.,...
               121.,841.,122.,509.,123.,609.,124.,577.,...
               125.,557.,126.,625.,127.,481.,128.,500.,...
               129.,442.,130.,500.,131.,548.,132.,519.,...
               133.,529.,134.,567.,135.,573.,136.,586.,...
               137.,619.,138.,663.,139.,697.,140.,669.,...
               141.,615.,142.,663.,143.,634.,144.,673.,...
               145.,625.,146.,557.,147.,346.,148.,557.,...
               149.,481.,150.,599.,151.,653.,152.,663.,...
               153.,682.,154.,538.,155.,519.,156.,423.,...
               157.,582.,158.,625.,159.,625.,160.,529.,...
               161.,615.,162.,548.,163.,557.,164.,605.,...
               165.,523.,166.,573.,167.,511.,168.,588.,...
               169.,388.,170.,607.,171.,498.,172.,607.,...
               173.,269.,174.,269.,175.,338.,176.,496.,...
               177.,480.,178.,573.,179.,557.,180.,577.,...
               181.,538.,275.,490.,276.,461.,277.,298.,...
               278.,433.,279.,393.,280.,442.,281.,269.,...
               282.,404.,283.,269.,284.,333.,285.,275.,...
               286.,231.,287.,404.,288.,297.,289.,442.,...
               290.,490.,291.,365.,292.,409.,293.,404.,...
               294.,330.,295.,457.,296.,196.,297.,317.,...
               298.,308.,299.,246.,300.,288.,301.,317.,...
               302.,404.,303.,394.,304.,423.,305.,394.,...
               306.,452.,307.,409.,308.,404.,309.,404.,...
               310.,394.,311.,429.,312.,450.,313.,346.,...
               314.,356.,315.,346.,316.,356.,317.,432.,...
               318.,452.,319.,448.,320.,317.,321.,279.,...
               322.,394.,323.,442.,324.,384.,325.,442.,...
               326.,317.,327.,365.,328.,346.,329.,111.,...
               330.,308.,331.,404.,332.,423.,333.,442.,...
               334.,471.,335.,467.,336.,442.,337.,432.,...
               338.,432.,339.,423.,340.,442.,341.,457.,...
               342.,404.,343.,406.,344.,384.,345.,442.,...
               346.,384.,347.,394.,348.,384.,349.,208.,...
               350.,413.,351.,417.,352.,432.,353.,346.,...
               354.,365.,355.,413.,356.,390.,357.,415.,...
               358.,438.,359.,384.,360.,423.,361.,404.,...
               362.,309.,363.,402.,364.,425.,365.,442.,...
               366.,419.
151         DREB=TIME-52.
152         DIA =TIME
***CON PARAMETROS DE LA LITERATURA CALCULO DEL CRECIMIENTO AEREO
```

```
***RESPIRACION DE MANTENIMIENTO Y CHO DISPONIBLES PARA CRECIMIENTO
153     RMANT =RMANTA+RMANR
154     RMANTA=MF*RESPA
155     RMANR =RAIZ*RESPR
156 PARAM RESPA=0.03
157 PARAM RESPR=0.015
***parametro a ajustar por ahora de p54 G&VL y refiere a CHO
158    DISP  =PB-RMANT
159    CRAER =DISPA*EFICA
160    RAIZ  =INTGRL(RAIZI,TRAIZ)
161    TRAIZ =DISPR*EFICR
162    DISPA =DISP*DISTR
163    DISPR =DISP*(1-DISTR)
164    DISTR=AFGEN(DIST,PB)
***FUNCION DE DISTRIBUCION ENTRE PARTE AEREA Y RAIZ QUE PRIORIZA
PARTE
***AEREA AL INICIO DEL REBROTE POR BALANCE FUNCIONAL (NIVEL DE PB)
165 FUNCTION DIST=0.,1.,90.,0.9,540.,0.7,700.,0.7
***EFICIENCIAS DE CONVERSION DE CHO EN TEJIDO DE PARTE AEREA Y RAIZ
***P65 G&VL
166     PARAM EFICA=0.61575
167     PARAM EFICR=0.85179
168     MF    =INTGRL(MFI,CRAER)
169     COSECH=MF-RESIDU
170 INCON MFI=1335.
171 INCON RAIZI=1700.
***CALCULO DEL CRECIMIENTO CON PB NO CORREGIDA POR CURSO DIARIO
(PBD)
172     DISPD =PBD-RMANT
173     CRAERD=DISPAD*EFICA
174     RAIZD =INTGRL(RAIZI,TRAIZD)
175     TRAIZD=DISPRD*EFICR
176     DISPRD=DISPD*(1-DISTR)
177     DISPAD=DISPD*DISTR
178     MFD   =INTGRL(MFI,CRAERD)
179     COSECD=MFD-RESIDU
180     RESIDU=MFD*(1.-0.0183*DREB+0.000864*(DREB**5./1000000.))
181     MFEXR =1342.-2.71*DREB+5.442*DREB**2.-0.05116*DREB**3.
182     MFEXP =AFGEN(MFEXT,DREB)
183     DIF   =MF-MFEXP
184     DIFD  =MFD-MFEXP
185 FUNCTION MFEXT=0.,1335.,9.,1485.,17.,2630.,32.,4708.,44.,6768.,
***  SIMULATION RUN SPECIFICATIONS
186 TIMER FINTIM = 97.,DELT = 1.,PRDEL=1.,TIME=53.
*   INITIAL VALUE OF DAY INDICATES STARTING DAY OF SIMULATION
187 METHOD RECT
188 PRINT DREB,MFEXP,MF,DIF,MFD,DIFD
189 END
190 STOP
191 ENDJOB
```

Anexo 5. Modelo de simulación del crecimiento de avena

```
***AVENA MODELO DE SIMULACION DE UN CICLO DE REBROTE DE AVENA
029     PV1     =0.87
030     PV2     =0.83
031     PV3     =0.36
032     PV4     =0.30
033     PV5     =0.38
034     PV6     =0.26
035     PV7     =0.
036 FUNCTION TAL1T=0.,0.,9.,-0.010,17.,0.0340,32.,0.010,45.,0.010
037 FUNCTION TAL2T=0.,0.,9.,0.0140,17.,0.0100,32.,0.026,45.,0.026
038 FUNCTION TAL3T=0.,0.,9.,0.0014,17.,0.0045,32.,0.027,45.,0.027
039 FUNCTION TAL4T=0.,0.,9.,0.0000,17.,0.0010,32.,0.030,45.,0.030
040 FUNCTION TAL5T=0.,0.,9.,0.0000,17.,0.0000,32.,0.030,45.,0.030
041 FUNCTION TAL6T=0.,0.,9.,0.0000,17.,0.0000,32.,0.018,45.,0.018
042 INCON AV1I=0.67
043 INCON LA1I=0.39
080 FUNCTION KTB=0.,0.40,10.5,.40,17.5,.53,
081 31.5,.48,50.,0.48
123 MEN5=PBCL*(0.65-(6.43E-02*LAI)+(5.06E-03*LAI**2.)+(1.49E-
04*LAI**3.))
124 MAY5=PBCL*(0.435+(2.121E-03*LAI))
181 MFEXR=1310+0.16.64*DREB+0.0835*DREB**2.
```

Anexo 6. Modelo de simulación del crecimiento de la asociación avena-raigrás anual

```
***ASOCIACION  SIMULACION DE UN CICLO DE REBROTE DE RAIGRAS-AVENA
***incremento del area foliar
***MODULO RGRAS (R)
    RLA1  =INTGRL(RLA1I,RTLA1)
    RLA2  =INTGRL(RLA2I,RTLA2)
    RLA3  =INTGRL(RLA3I,RTLA3)
    RLA4  =INTGRL(RLA4I,RTLA4)
    RLA5  =INTGRL(RLA5I,RTLA5)
    RLA6  =INTGRL(RLA6I,RTLA6)
    RLA7  =INTGRL(RLA7I,RTLA7)
    RAV1   =INTGRL(RAV1I,RTAV1)
    RAV2   =INTGRL(RAV2I,RTAV2)
    RAV3   =INTGRL(RAV3I,RTAV3)
    RAV4   =INTGRL(RAV4I,RTAV4)
    RAV5   =INTGRL(RAV5I,RTAV5)
    RAV6   =INTGRL(RAV6I,RTAV6)
    RAV7   =INTGRL(RAV7I,RTAV7)
    RTLA1  =AFGEN(RTAL1T,DREB)*(1.-RPV1)
    RTLA2  =AFGEN(RTAL2T,DREB)*(1.-RPV2)
    RTLA3  =AFGEN(RTAL3T,DREB)*(1.-RPV3)
    RTLA4  =AFGEN(RTAL4T,DREB)*(1.-RPV4)
    RTLA5  =AFGEN(RTAL5T,DREB)*(1.-RPV5)
    RTLA6  =AFGEN(RTAL6T,DREB)*(1.-RPV6)
    RTLA7  =AFGEN(RTAL7T,DREB)*(1.-RPV7)
    RTAV1  =AFGEN(RTAL1T,DREB)*(RPV1)
    RTAV2  =AFGEN(RTAL2T,DREB)*(RPV2)
    RTAV3  =AFGEN(RTAL3T,DREB)*(RPV3)
    RTAV4  =AFGEN(RTAL4T,DREB)*(RPV4)
    RTAV5  =AFGEN(RTAL5T,DREB)*(RPV5)
    RTAV6  =AFGEN(RTAL6T,DREB)*(RPV6)
    RTAV7  =AFGEN(RTAL7T,DREB)*(RPV7)
***  MODULO AVENA (A)
    ALA1  =INTGRL(ALA1I,ATLA1)
    ALA2  =INTGRL(ALA2I,ATLA2)
    ALA3  =INTGRL(ALA3I,ATLA3)
    ALA4  =INTGRL(ALA4I,ATLA4)
    ALA5  =INTGRL(ALA5I,ATLA5)
    ALA6  =INTGRL(ALA6I,ATLA6)
    ALA7  =INTGRL(ALA7I,ATLA7)
    AAV1   =INTGRL(AAV1I,ATAV1)
    AAV2   =INTGRL(AAV2I,ATAV2)
    AAV3   =INTGRL(AAV3I,ATAV3)
    AAV4   =INTGRL(AAV4I,ATAV4)
    AAV5   =INTGRL(AAV5I,ATAV5)
    AAV6   =INTGRL(AAV6I,ATAV6)
    AAV7   =INTGRL(AAV7I,ATAV7)
    ATLA1  =AFGEN(ATAL1T,DREB)*(1.-APV1)
    ATLA2  =AFGEN(ATAL2T,DREB)*(1.-APV2)
    ATLA3  =AFGEN(ATAL3T,DREB)*(1.-APV3)
    ATLA4  =AFGEN(ATAL4T,DREB)*(1.-APV4)
    ATLA5  =AFGEN(ATAL5T,DREB)*(1.-APV5)
    ATLA6  =AFGEN(ATAL6T,DREB)*(1.-APV6)
    ATLA7  =AFGEN(ATAL7T,DREB)*(1.-APV7)
    ATAV1  =AFGEN(ATAL1T,DREB)*(APV1)
    ATAV2  =AFGEN(ATAL2T,DREB)*(APV2)
    ATAV3  =AFGEN(ATAL3T,DREB)*(APV3)
    ATAV4  =AFGEN(ATAL4T,DREB)*(APV4)
    ATAV5  =AFGEN(ATAL5T,DREB)*(APV5)
    ATAV6  =AFGEN(ATAL6T,DREB)*(APV6)
```

```
    ATAV7  =AFGEN(ATAL7T,DREB)*(APV7)
***PROPORCIONES SEUDOTALLO/LAMINA
***RAIGRAS
    RPV1    =0.49

    RPV2    =0.19
    RPV3    =0.15
    RPV4    =0.05
    RPV5    =0.03
    RPV6    =0.
    RPV7    =0.
***AVENA
    APV1    =0.22
    APV2    =0.31
    APV3    =0.24
    APV4    =0.26
    APV5    =0.33
    APV6    =0.25
    APV7    =0.32
***INCREMENTO EN AREA FOLIAR
***RAIGRAS
FUNCTION RTAL1T= 0.,0.0372 ,7.0 ,0.0372 ,8.0 ,-0.0247,...
                 12.,-0.0247,13.0,0.0092 ,31.0,0.0092,50.,.0092
FUNCTION RTAL2T= 0.,0.0314,7.0 ,0.0314 ,8.0 ,-0.0122,...
                 12.,-0.0122,13.0,0.0107 ,31.0,0.0107,50.,.0107
FUNCTION RTAL3T= 0.,0.,12.,0.,13.0,0.0298 ,31.,0.0298,50.,.0298
FUNCTION RTAL4T= 0.,0.,12.,0.,13.0,0.0135 ,31.,0.0135,50.,.0135
FUNCTION RTAL5T= 0.,0.,12.,0.,13.0,0.0078 ,31.,0.0078,50.,.0078
FUNCTION RTAL6T= 0.,0.,12.,0.,13.0,0.0012 ,31.,0.0012,50.,.0012
FUNCTION RTAL7T= 0.,0.,12.,0.,13.0,0.0,31.,0.0,50.,0.
***AVENA
FUNCTION ATAL1T= 0.,-0.0244,7.0 ,-0.0244,8.0 ,-0.0273,...
                 12.,-0.0273,13.0,0.0102 ,31.0,0.0102,50.,.0102
FUNCTION ATAL2T= 0.,0.0043 ,7.0 ,0.0043 ,8.0 ,0.0182 ,...
                 12.,0.0182 ,13.0,0.0172 ,31.0,0.0172,50.,.0172
FUNCTION ATAL3T=0.,0.,12.0,0.,13.0,0.056  ,31.,0.056,50.,.056
FUNCTION ATAL4T=0.,0.,12.0,0.,13.0,0.0476 ,31.,0.0476,50.,.0476
FUNCTION ATAL5T=0.,0.,12.0,0.,13.0,0.0474 ,31.,0.0474,50.,.0474
FUNCTION ATAL6T=0.,0.,12.0,0.,13.0,0.0215 ,31.,0.0215,50.,.0215
FUNCTION ATAL7T=0.,0.,12.0,0.,13.0,0.0279 ,31.,0.0279,50.,.0279
INCON RAV1I=0.382
INCON RLA1I=0.354
INCON AAV1I=0.403
INCON ALA1I=0.181
INCON RLA2I=0.
INCON RLA3I=0.
INCON RLA4I=0.
INCON RLA5I=0.
INCON RLA6I=0.
INCON RLA7I=0.
INCON RAV2I=0.
INCON RAV3I=0.
INCON RAV4I=0.
INCON RAV5I=0.
INCON RAV6I=0.
INCON RAV7I=0.
INCON ALA2I=0.
INCON ALA3I=0.
INCON ALA4I=0.
INCON ALA5I=0.
INCON ALA6I=0.
```

```
INCON ALA7I=0.
INCON AAV2I=0.
INCON AAV3I=0.
INCON AAV4I=0.
INCON AAV5I=0.
INCON AAV6I=0.
INCON AAV7I=0.
***RAIGRAS
    RLAI1 =RLA1+RAV1
    RLAI2 =RLA2+RAV2
    RLAI3 =RLA3+RAV3
    RLAI4 =RLA4+RAV4
    RLAI5 =RLA5+RAV5
    RLAI6 =RLA6+RAV6
    RLAI7 =RLA7+RAV7
    RLAI  =RLAM1+RLAI1
    RLAM1 =RLAM2+RLAI2
    RLAM2 =RLAM3+RLAI3
    RLAM3 =RLAM4+RLAI4
    RLAM4 =RLAM5+RLAI5
    RLAM5 =RLAM6+RLAI6
    RLAM6 =RLAI7
***AVENA
   ALAI1 =ALA1+AAV1
   ALAI2 =ALA2+AAV2
   ALAI3 =ALA3+AAV3
   ALAI4 =ALA4+AAV4
   ALAI5 =ALA5+AAV5
   ALAI6 =ALA6+AAV6
   ALAI7 =ALA7+AAV7
    ALAI  =ALAM1+ALAI1
    ALAM1 =ALAM2+ALAI2
    ALAM2 =ALAM3+ALAI3
    ALAM3 =ALAM4+ALAI4
    ALAM4 =ALAM5+ALAI5
    ALAM5 =ALAM6+ALAI6
    ALAM6 =ALAI7
***ESTE ES EL CONJUNTO
    LAM1 =LAM2+ALAI2+RLAI2
    LAM2 =LAM3+ALAI3+RLAI3
    LAM3 =LAM4+ALAI4+RLAI4
    LAM4 =LAM5+ALAI5+RLAI5
    LAM5 =LAM6+ALAI6+RLAI6
    LAM6 =RLAI7+ALAI7
    LAI     =ALAI+RLAI
***OJO ESTE ES EL MODULO CONJUNTO
***RADIACION INCIDENTE POR ESTRATO
    RI7   =RAI
    RI6   =RAI*EXP(-K*LAM6)
    RI5   =RAI*EXP(-K*LAM5)
    RI4   =RAI*EXP(-K*LAM4)
    RI3   =RAI*EXP(-K*LAM3)
    RI2   =RAI*EXP(-K*LAM2)
    RI1   =RAI*EXP(-K*LAM1)
    RIS   =RAI*EXP(-K*LAI)
    K     =AFGEN(KTB,DREB)
FUNCTION KTB=0.,0.42,10.5,0.42,17.5,0.41,31.5,0.47,55.,0.47
***FOTOSINTESIS BRUTA CON ALTA RADIACION EN FUNCION DE RESULTADOS
***AQUI PARA CADA ESPECIE DE LA ASOCIACION SU PMAX
***DE DETERMINACIONES DE PMAX POR ESTRATO ECUACION
***ECUACIONES RAIGRAS
```

```
    RPMAX1 =1.584*(6.77+1.182*DREB-0.03016*DREB*DREB)
    RPMAX2 =1.584*(30.32-.54381*DREB)
    RPMAX5 =1.584*(44.22-1.468*DREB+0.01676*DREB*DREB)
***ECUACIONES AVENA
    APMAX1 =1.584*(6.47+0.9878*DREB-0.02059*DREB*DREB)
    APMAX2 =1.584*(24.77-0.00418*DREB*DREB)
    APMAX5 =1.584*(37.66-1.1994*DREB+0.022192*DREB*DREB)
***SE ASUME LA CAPACIDAD FOTOSINTETICA DE VAINAS COMO 0.5*LA DE
HOJAS
***INFERIORES POR INCONSITENCIA EN RESULTADOS EXPERIMENTALES
    RPMAXV =RPMAX1/2.
    APMAXV =APMAX1/2.
PARAM EFI=0.45
***CALCULO DE P BRUTA DIFERENTES ESTRATOS EN FUNCION
***DE LA RADIACION INCIDENTE EMPLEANDO LA EXPONENCIAL NEGATIVA
***RAIGRAS
    RPB1   =(1-EXP(-RI1*EFI/RPMAX1))*RPMAX1*RLA1
    RPB2   =(1-EXP(-RI2*EFI/RPMAX2))*RPMAX2*RLA2
    RPB3   =(1-EXP(-RI3*EFI/RPMAX2))*RPMAX2*RLA3
    RPB4   =(1-EXP(-RI4*EFI/RPMAX2))*RPMAX2*RLA4
    RPB5   =(1-EXP(-RI5*EFI/RPMAX5))*RPMAX5*RLA5
    RPB6   =(1-EXP(-RI6*EFI/RPMAX5))*RPMAX5*RLA6
    RPB7   =(1-EXP(-RI7*EFI/RPMAX5))*RPMAX5*RLA7
    RPBV1  =(1-EXP(-RI1*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV1
    RPBV2  =(1-EXP(-RI2*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV2
    RPBV3  =(1-EXP(-RI3*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV3
    RPBV4  =(1-EXP(-RI4*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV4
    RPBV5  =(1-EXP(-RI5*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV5
    RPBV6  =(1-EXP(-RI6*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV6
    RPBV7  =(1-EXP(-RI7*EFI/RPMAXV))*RPMAXV*RAV7
    RPBJ1  =RPBV1+RPB1
    RPBJ2  =RPBV2+RPB2
    RPBJ3  =RPBV3+RPB3
    RPBJ4  =RPBV4+RPB4
    RPBJ5  =RPBV5+RPB5
    RPBJ6  =RPBV6+RPB6
    RPBJ7  =RPBV7+RPB7
    RPBCO  =(RPBJ1+RPBJ2+RPBJ3+RPBJ4+RPBJ5+RPBJ6+RPBJ7)*DL
***CONVERSION DE P BRUTA EN KG CO2 A KG CH2O
    RPBCH  =RPBCO*30./44.
***AVENA
    APB1   =(1-EXP(-RI1*EFI/APMAX1))*APMAX1*ALA1
    APB2   =(1-EXP(-RI2*EFI/APMAX2))*APMAX2*ALA2
    APB3   =(1-EXP(-RI3*EFI/APMAX2))*APMAX2*ALA3
    APB4   =(1-EXP(-RI4*EFI/APMAX2))*APMAX2*ALA4
    APB5   =(1-EXP(-RI5*EFI/APMAX5))*APMAX5*ALA5
    APB6   =(1-EXP(-RI6*EFI/APMAX5))*APMAX5*ALA6
    APB7   =(1-EXP(-RI7*EFI/APMAX5))*APMAX5*ALA7
    APBV1  =(1-EXP(-RI1*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV1
    APBV2  =(1-EXP(-RI2*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV2
    APBV3  =(1-EXP(-RI3*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV3
    APBV4  =(1-EXP(-RI4*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV4
    APBV5  =(1-EXP(-RI5*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV5
    APBV6  =(1-EXP(-RI6*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV6
    APBV7  =(1-EXP(-RI7*EFI/APMAXV))*APMAXV*AAV7
    APBJ1  =APBV1+APB1
    APBJ2  =APBV2+APB2
    APBJ3  =APBV3+APB3
    APBJ4  =APBV4+APB4
    APBJ5  =APBV5+APB5
    APBJ6  =APBV6+APB6
```

```
    APBJ7  =APBV7+APB7
    APBCO  =(APBJ1+APBJ2+APBJ3+APBJ4+APBJ5+APBJ6+APBJ7)*DL
***CONVERSION DE P BRUTA EN KG CO2 A KG CH2O
    APBCH  =APBCO*30./44.
***CALCULO DE LA RADIACION PROMEDIO
    RAI    =AVRAD/(DL*3600.)
   SINLD=SIN(DEC*PI/180.)*SIN(LAT*PI/180.)
   COSLD=COS(DEC*PI/180.)*COS(LAT*PI/180.)
   DEC=-23.4*COS(2.*PI*(DAY+10.)/365.)
   DL=12.*(PI+2.*ASIN(SINLD/COSLD))/PI
CONSTANT PI = 3.1416
PARAM LAT = 19.5
***  DATOS DE RADIACION DE ESTACION METEOROLOGICA
      DAY    = AMOD(TIME,365.)
      AVRAD = 0.5*41820.*AFGEN(AVRADT,DAY)
FUNCTION AVRADT=1.,392.,2.,409.,3.,396.,4.,383.,...
                5.,378.,6.,404.,7.,405.,8.,406.,...
                9.,418.,10.,341.,11.,403.,12.,410.,...
                13.,452.,14.,427.,15.,388.,16.,438.,...
                17.,445.,18.,438.,19.,490.,20.,424.,...
                21.,423.,22.,445.,23.,450.,24.,451.,...
                25.,450.,26.,490.,27.,500.,28.,413.,...
                29.,479.,30.,461.,31.,390.,32.,490.,...
                33.,542.,34.,442.,35.,463.,36.,461.,...
                37.,452.,38.,538.,39.,509.,40.,481.,...
                41.,461.,42.,375.,43.,442.,44.,250.,...
                45.,519.,46.,567.,47.,404.,48.,529.,...
                49.,538.,50.,519.,51.,529.,52.,446.,...
                53.,538.,54.,461.,55.,442.,56.,477.,...
                57.,481.,58.,490.,59.,567.,60.,471.,...
                61.,577.,62.,630.,63.,573.,64.,538.,...
                65.,558.,66.,557.,67.,563.,68.,559.,...
                69.,564.,70.,538.,71.,525.,72.,557.,...
                73.,509.,74.,577.,75.,538.,76.,495.,...
                77.,327.,78.,505.,79.,500.,80.,557.,...
                81.,423.,82.,588.,83.,586.,84.,577.,...
                85.,490.,86.,423.,87.,500.,88.,610.,...
                89.,571.,90.,565.,91.,585.,92.,634.,...
                93.,615.,94.,613.,95.,621.,96.,585.,...
                97.,611.,98.,625.,99.,605.,100.,615.,...
                101.,633.,102.,612.,103.,598.,104.,471.,...
                105.,461.,106.,413.,107.,404.,108.,471.,...
                109.,544.,110.,605.,111.,671.,112.,573.,...
                113.,515.,114.,481.,115.,544.,116.,538.,...
                117.,529.,118.,563.,119.,596.,120.,534.,...
                121.,841.,122.,509.,123.,609.,124.,577.,...
                125.,557.,126.,625.,127.,481.,128.,500.,...
                129.,442.,130.,500.,131.,548.,132.,519.,...
                133.,529.,134.,567.,135.,573.,136.,586.,...
                137.,619.,138.,663.,139.,697.,140.,669.,...
                141.,615.,142.,663.,143.,634.,144.,673.,...
                145.,625.,146.,557.,147.,346.,148.,557.,...
                149.,481.,150.,599.,151.,653.,152.,663.,...
                153.,682.,154.,538.,155.,519.,156.,423.,...
                157.,582.,158.,625.,159.,625.,160.,529.,...
                161.,615.,162.,548.,163.,557.,164.,605.,...
                165.,523.,166.,573.,167.,511.,168.,588.,...
                169.,388.,170.,607.,171.,498.,172.,607.,...
                173.,269.,174.,269.,175.,338.,176.,496.,...
                177.,480.,178.,573.,179.,557.,180.,577.,...
                181.,538.,275.,490.,276.,461.,277.,298.,...
```

```
                278.,433.,279.,393.,280.,442.,281.,269.,...
                282.,404.,283.,269.,284.,333.,285.,275.,...
                286.,231.,287.,404.,288.,297.,289.,442.,...
                290.,490.,291.,365.,292.,409.,293.,404.,...
                294.,330.,295.,457.,296.,196.,297.,317.,...
                298.,308.,299.,246.,300.,288.,301.,317.,...
                302.,404.,303.,394.,304.,423.,305.,394.,...
                306.,452.,307.,409.,308.,404.,309.,404.,...
                310.,394.,311.,429.,312.,450.,313.,346.,...
                314.,356.,315.,346.,316.,356.,317.,432.,...
                318.,452.,319.,448.,320.,317.,321.,279.,...
                322.,394.,323.,442.,324.,384.,325.,442.,...
                326.,317.,327.,365.,328.,346.,329.,111.,...
                330.,308.,331.,404.,332.,423.,333.,442.,...
                334.,471.,335.,467.,336.,442.,337.,432.,...
                338.,432.,339.,423.,340.,442.,341.,457.,...
                342.,404.,343.,406.,344.,384.,345.,442.,...
                346.,384.,347.,394.,348.,384.,349.,208.,...
                350.,413.,351.,417.,352.,432.,353.,346.,...
                354.,365.,355.,413.,356.,390.,357.,415.,...
                358.,438.,359.,384.,360.,423.,361.,404.,...
                362.,309.,363.,402.,364.,425.,365.,442.,...
                366.,419.
***CON PARAMETROS DE LA LITERATURA CALCULO DEL CRECIMIENTO AEREO
***RESPIRACION DE MANTENIMIENTO Y CHO DISPONIBLES PARA CRECIMIENTO
***RAIGRAS
    RRMANT =RRMANA+RRMANR
    RRMANA=RMF*RESPA
    RRMANR =RRAIZ*RESPR
PARAM RESPA=0.03
PARAM RESPR=0.015
    RDISP  =RPBCH-RRMANT
    RDISPA =RDISP*RDISTR
    RDISPR =RDISP*(1-RDISTR)
    RDISTR=AFGEN(RDIST,RPBCH)
***FUNCION DE DISTRIBUCION ENTRE PARTE AEREA Y RAIZ QUE PRIORIZA
PARTE
***AEREA AL INICIO DEL REBROTE POR BALANCE FUNCIONAL (NIVEL DE PB)
FUNCTION RDIST=0.,1.,45.,0.9,270.,0.7,350.,0.7
    RCRAER =RDISPA*EFICA
    RMF    =INTGRL(RMFI,RCRAER)
    RCOSEC=RMF-RRESID
***DESCRIPCION DE LA EVOLUCION DEL ESTRATO NO COSECHABLE
    RRESID=RMF*(1.-0.0183*DREB+0.000864*(DREB**5./1000000.))
    RRAIZ  =INTGRL(RRAIZI,RTRAIZ)
    RTRAIZ =RDISPR*EFICR
***EFICIENCIAS DE CONVERSION DE CHO EN TEJIDO DE PARTE AEREA Y RAIZ
PARAM EFICA=0.61575
PARAM EFICR=0.85179
INCON RMFI=736.
INCON RRAIZI=850.
***NO INTERVIENE UNICAMENTE CALCULO DEL APORTE DE CADA ESTRATO
     RUNO   =RPBJ1/(RPBCO/DL)
     RDOS   =RPBJ2/(RPBCO/DL)
     RTRES  =RPBJ3/(RPBCO/DL)
     RCUATR =RPBJ4/(RPBCO/DL)
     RCINCO =RPBJ5/(RPBCO/DL)
     RSEIS  =RPBJ6/(RPBCO/DL)
     RSIETE =RPBJ7/(RPBCO/DL)
***AVENA
    ARMANT =ARMANA+ARMANR
```

```
      ARMANA=AMF*RESPA
      ARMANR =ARAIZ*RESPR
      ADISP  =APBCH-ARMANT
      ADISPA =ADISP*ADISTR
      ADISPR =ADISP*(1-ADISTR)
      ADISTR=AFGEN(ADIST,APBCH)
***FUNCION DE DISTRIBUCION ENTRE PARTE AEREA Y RAIZ QUE PRIORIZA
PARTE
***AEREA AL INICIO DEL REBROTE POR BALANCE FUNCIONAL (NIVEL DE PB)
FUNCTION ADIST=0.,1.,45.,0.9,270.,0.7,350.,0.7
      ACRAER =ADISPA*EFICA
      AMF    =INTGRL(AMFI,ACRAER)
      ACOSEC =AMF-ARESID
***DESCRIPCION DE LA EVOLUCION DEL ESTRATO NO COSECHABLE
      ARESID=AMF*(1.-0.0183*DREB+0.000864*(DREB**5./1000000.))
      ARAIZ  =INTGRL(ARAIZI,ATRAIZ)
      ATRAIZ =ADISPR*EFICR
INCON AMFI=584.
INCON ARAIZI=850.
***NO INTERVIENE UNICAMENTE CALCULO DEL APORTE DE CADA ESTRATO
      AUNO   =APBJ1/(APBCO/DL)
      ADOS   =APBJ2/(APBCO/DL)
      ATRES  =APBJ3/(APBCO/DL)
      ACUATR =APBJ4/(APBCO/DL)
      ACINCO =APBJ5/(APBCO/DL)
      ASEIS  =APBJ6/(APBCO/DL)
      ASIETE =APBJ7/(APBCO/DL)
***ESTRATOS JUNTOS
      UNO=(AUNO+RUNO)/2.
      DOS=(ADOS+RDOS)/2.
      TRES=(ATRES+RTRES)/2.
      CUATRO=(ACUATR+RCUATR)/2.
      CINCO=(ACINCO+RCINCO)/2.
      SEIS=(ASEIS+RSEIS)/2.
      SIETE=(ASIETE+RSIETE)/2.
***ASOCIACION
      PBCH=RPBCH+APBCH
      MF  =RMF+AMF
      RAIZ=ARAIZ+RRAIZ
      RMANT=RRMANT+ARMANT
      PRGRAS=RMF/MF
      PAVENA=AMF/MF
      PRFOT =RPBCH/PBCH
      PAFOT =APBCH/PBCH
      COSECH=ACOSEC+RCOSEC
      DREB=TIME-60.
      DIA =TIME
***  SIMULATION RUN SPECIFICATIONS
TIMER FINTIM =102.,DELT = 1.,PRDEL=1.,TIME=60.
METHOD RECT
PRINT DREB,COSECH,MF
END
STOP
ENDJOB
```

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

Anexo 7. Cálculo del area foliar específica (AFE) con la técnica de la aguja inclinada.

CUADRO	ESTRATO	COMPONENTE	AFE	CUADRO	ESTRATO	COMPONENTE	AFE
	10–5	LA	302		10–5	VA	47
	20–5	LA	320		20–5	VA	64
	30–5	LA	270		30–5	VA	38
	40–5	LA	244		40–5	VA	26
	50–5	LA	249		50–5	VA	33
	110–15	LA	321		10–5	VR	36
	210–15	LA	300		20–5	VR	75
	310–15	LA	250		30–5	VR	33
	410–15	LA	207		35–10	VR	53
	510–15	LA	224		40–5	VR	28
	115–20	LA	327		50–5	VR	26
	215–20	LA	276		35–10	VA	267
	315–20	LA	254				
	515–20	LA	210				
	120–25	LA	253				
	220–25	LA	244				
	320–25	LA	201				
	520–25	LA	135				
	15–10	LA	293				
	25–10	LA	271				
	35–10	LA	257				
	45–10	LA	209				
	55–10	LA	214				
	10–5	LR	265				
	20–5	LR	339				
	30–5	LR	248				
	40–5	LR	187				
	50–5	LR	209				
	110–15	LR	256				
	210–15	LR	318				
	310–15	LR	241				
	410–15	LR	133				
	510–15	LR	189				
	115–20	LR	217				
	215–20	LR	296				
	315–20	LR	211				
	515–20	LR	182				
	120–25	LR	187				
	220–25	LR	238				
	320–25	LR	161				
	520–25	LR	127				
	15–10	LR	250				
	25–10	LR	358				
	35–10	LR	238				
	45–10	LR	158				
	55–10	LR	189				

Anexo 8. Correspondencia parcela-cuadro.

		ALTURAS			fecha		RADIACION	
fecha	parc trat	parcela	cuadro		2-mar parc trat		parcela	cuadro
2-mar	2 rg100	11,7	14,5	2-mar	2 rg100	35,7	46,7	
2-mar	4 rg200	12,2	13,4	2-mar	4 rg200	41,5	59,4	
2-mar	5 av100	8,0	9,9	2-mar	5 av100	28,1	25,9	
2-mar	6 rg200	12,4	15,3	2-mar	6 rg200	48,5	55,2	
2-mar	7 av200	7,8	9,0	2-mar	7 av200	24,8	29,0	
2-mar	8 rg200	14,0	15,6	2-mar	8 rg200	48,0	50,7	
2-mar	9 rg100	15,1	17,5	2-mar	9 rg100	61,9	61,4	
2-mar	10 rg100	14,2	17,5	2-mar	10 rg100	48,4	38,1	
2-mar	11 av200	7,8	11,1	2-mar	11 av200	38,0	41,4	
2-mar	12 av100	8,3	10,6	10-mar	12 av100	39,5	42,7	
10-mar	1 av100	12,3	12,5	10-mar	1 av100	47,0	56,4	
10-mar	2 rg100	20,6	21,1	10-mar	2 rg100	76,0	78,8	
10-mar	3 av200	12,8	12,3	10-mar	3 av200	46,3	45,1	
10-mar	4 rg200	20,1	24,9	10-mar	4 rg200	73,8	85,3	
10-mar	5 av100	11,6	13,7	10-mar	5 av100	51,0	42,4	
10-mar	6 rg200	17,7	19,1	10-mar	6 rg200	73,5	88,7	
10-mar	7 av200	13,6	15,9	10-mar	7 av200	56,5	62,6	
10-mar	8 rg200	20,9	23,2	10-mar	8 rg200	80,3	93,7	
10-mar	9 rg100	17,9	20,9	10-mar	9 rg100	81,6	87,1	
10-mar	10 rg100	21,1	24,1	10-mar	10 rg100	81,8	91,1	
10-mar	11 av200	13,9	16,3	10-mar	11 av200	48,5	59,0	
10-mar	12 av100	13,6	15,1	17-mar	12 av100	47,0	57,6	
17-mar	1 av100	16,6	13,2	17-mar	1 av100	75,6	78,9	
17-mar	2 rg100	27,5	16,7	17-mar	2 rg100	94,7	90,0	
17-mar	3 av200	14,4	11,3	17-mar	3 av200	65,7	63,2	
17-mar	4 rg200	26,6	17,3	17-mar	4 rg200	96,0	94,9	
17-mar	5 av100	14,3	14,6	24-mar	5 av100	70,1	76,9	
17-mar	6 rg200	24,2	18,9	24-mar	1 av100	83,5	87,0	
17-mar	7 av200	16,8	13,8	24-mar	2 rg100	96,0	96,5	
17-mar	8 rg200	25,9	18,3	24-mar	3 av200	73,1	75,2	
17-mar	9 rg100	23,2	16,1	24-mar	4 rg200	97,3	98,1	
17-mar	10 rg100	27,3	22,9	24-mar	5 av100	78,1	79,7	
17-mar	11 av200	17,2	17,7	24-mar	6 rg200	92,9	94,2	
17-mar	12 av100	16,2	16,3	24-mar	7 av200	85,8	89,4	
23-mar	1 av100	23,9	27,4	24-mar	8 rg200	96,7	97,4	
23-mar	2 rg100	31,0	32,2	24-mar	9 rg100	94,4	94,5	
23-mar	3 av200	22,3	25,1	24-mar	10 rg100	97,0	98,7	
23-mar	4 rg200	35,9	35,6	24-mar	11 av200	81,8	76,1	
23-mar	5 av100	25,0	23,3	11-mar	12 av100	70,3	79,5	
23-mar	6 rg200	28,3	37,7	11-mar	2 h8	51,0	63,6	
23-mar	7 av200	27,7	28,5	11-mar	2 h8	71,8	82,1	
23-mar	8 rg200	33,9	32,9	11-mar	4 h5	50,9	62,4	
23-mar	9 rg100	27,1	30,8	11-mar	4 h5	70,5	80,4	
23-mar	10 rg100	33,6	35,8	11-mar	9 h5	72,2	86,1	
23-mar	11 av200	26,5	26,7	21-mar	9 h8	46,8	54,4	
23-mar	12 av100	25,7	27,0	21-mar	2 h5	81,0	93,6	
11-mar	2 h5	15,2	13,9	21-mar	2 h5	86,0	96,5	

11-mar	2 h8	21,2	17,2	21-mar	4 h8	81,0	98,1
11-mar	4 h5	14,1	15,6	21-mar	4 h8	91,0	93,1
11-mar	4 h8	17,8	18,8	21-mar	9 h5	80,0	92,4
11-mar	5 h5	12,5	13,0	31-mar	9 h5	89,0	94,1
11-mar	5 h8	19,6	17,6	31-mar	2 h5	97,8	98,0
21-mar	2 h5	21,0	22,0	31-mar	2 h8	97,3	97,7
21-mar	2 h8	23,0	27,4	31-mar	4 h5	98,5	98,2
21-mar	4 h5	20,0	24,4	31-mar	4 h8	97,5	96,7
21-mar	4 h8	25,0	27,4	31-mar	9 h8	96,2	94,7
21-mar	9 h5	22,0	26,6	22-abr	9 h8	98,5	97,9
21-mar	9 h8	24,0	27,9	22-abr	1 n	95,5	93,5
31-mar	2 h5	38,9	37,8	22-abr	2 n	89,4	85,1
31-mar	2 h8	37,8	38,9	22-abr	3 n	87,4	77,8
31-mar	4 h5	26,8	26,9	22-abr	5 n	93,9	93,5
31-mar	4 h8	30,9	35,5	22-abr	6 n	92,5	88,8
31-mar	5 h5	33,1	34,6	22-abr	7 n	63,3	49,6
31-mar	5 h8	35,0	34,9	22-abr	9 n	68,7	59,6
22-abr	1 n	30,9	33,7	22-abr	10 n	89,5	76,0
22-abr	2 n	24,3	24,3	22-abr	11 n	88,9	74,4
22-abr	3 n	24,8	27,6	22-abr	13 n	87,0	85,1
22-abr	5 n	29,2	32,1	22-abr	14 n	64,2	43,9
22-abr	6 n	25,9	30,0		15 n	92,4	87,2
22-abr	7 n	20,8	21,4				
22-abr	9 n	21,1	19,3				
22-abr	10 n	26,8	25,6				
22-abr	11 n	25,5	23,6				
22-abr	13 n	29,0	25,9				
22-abr	14 n	19,3	19,7				
22-abr	15 n	28,2	29,6				

Anexo 9. Area foliar específica (AFE).

fecha	parcela	Especie	componente	estrato	AFE (cm2,g-1)	fecha	parcela	estrato	componente	AFE (cm2,g-1)
31-Mar.	2h5	a	I	0	337,44	11-Mar.	av100	0	I	246,69
31-Mar.	2h8	a	I	0	236,39	18-Mar.	av100	0	I	217,04
12-Mar.	2h5	a	I	0	238,44	11-Mar.	av100	0	I	216,07
12-Mar.	2h8	a	I	0	229,52	18-Mar.	av100	0	I	215,13
31-Mar.	4h5	a	I	0	227,81	3-Mar.	av100	0	I	377,57
31-Mar.	4h8	a	I	0	285,22	12-Mar.	av100	0	I	195,36
12-Mar.	4h8	a	I	0	255,18	3-Mar.	av100	0	I	236,61
12-Mar.	4h5	a	I	0	226,25	11-Mar.	av100	5	I	237,12
12-Mar.	9h5	a	I	0	178,67	26-Mar.	av100	5	I	239,76
12-Mar.	9h8	a	I	0	237,33	11-Mar.	av100	5	I	233,87
12-Mar.	2h5	a	I	5	289,25	11-Mar.	av100	5	I	167,41
12-Mar.	2h8	a	I	5	339,31	18-Mar.	av100	5	I	149,03
12-Mar.	4h8	a	I	5	251,35	3-Mar.	av100	5	I	254,67
12-Mar.	4h5	a	I	5	235,7	12-Mar.	av100	5	I	194,09
12-Mar.	9h8	a	I	5	241,43	3-Mar.	av100	5	I	238,25
31-Mar.	2h8	a	I	10	325,9	11-Mar.	av100	10	I	212,73
12-Mar.	2h5	a	I	10	633,67	18-Mar.	av100	10	I	246,72
12-Mar.	2h8	a	I	10	277,34	11-Mar.	av100	10	I	198,22
12-Mar.	4h8	a	I	10	233,57	18-Mar.	av100	10	I	203,48
12-Mar.	4h5	a	I	10	253,54	3-Mar.	av100	10	I	217,55
31-Mar.	9h5	a	I	15	337,6	12-Mar.	av100	10	I	173,45
31-Mar.	4h5	a	I	20	237,38	3-Mar.	av100	10	I	192,93
31-Mar.	2h8	a	I	30	244,03	11-Mar.	av100	15	I	174,49
31-Mar.	2h5	av	v	0	62,15	18-Mar.	av100	15	I	224,87
31-Mar.	2h8	av	v	0	37,84	11-Mar.	av100	15	I	145,84
12-Mar.	2h5	av	v	0	42,24	18-Mar.	av100	15	I	162,59
12-Mar.	2h8	av	v	0	46,2	3-Mar.	av100	15	I	465,46
12-Mar.	2h8	av	v	0	35,28	11-Mar.	av100	0	v	34,38
31-Mar.	4h5	av	v	0	36,21	18-Mar.	av100	0	v	45,56
31-Mar.	4h8	av	v	0	36,27	18-Mar.	av100	0	v	39,79
12-Mar.	4h8	av	v	0	40,93	11-Mar.	av100	0	v	31,97
12-Mar.	4h5	av	v	0	37,29	18-Mar.	av100	0	v	36,3
31-Mar.	9h5	av	v	0	104,91	3-Mar.	av100	0	v	26,07
31-Mar.	9h8	av	v	0	34,61	12-Mar.	av100	0	v	28,31
12-Mar.	9h5	av	v	0	37,2	3-Mar.	av100	0	v	19,11
12-Mar.	9h8	av	v	0	45,44	18-Mar.	av100	10	v	36,66
12-Mar.	2h8	av	v	5	45,18	11-Mar.	av100	5	v	44,39
12-Mar.	4h8	av	v	5	46,37	26-Mar.	av100	5	v	38,93
12-Mar.	9h8	av	v	5	40,59	11-Mar.	av100	5	v	34,56
31-Mar.	2h5	rg	I	0	296,99	11-Mar.	av100	5	v	33,23
31-Mar.	2h8	rg	I	0	206,53	3-Mar.	av100	5	v	47,02
12-Mar.	2h5	rg	I	0	219,09	12-Mar.	av100	5	v	36,1
12-Mar.	2h8	rg	I	0	187,06	3-Mar.	av100	5	v	31,53
31-Mar.	4h5	rg	I	0	221,48	11-Mar.	av200	0	I	214,19
31-Mar.	4h8	rg	I	0	563,28	18-Mar.	av200	0	I	239,29
12-Mar.	4h8	rg	I	0	218,73	11-Mar.	av200	0	I	229,49
12-Mar.	4h5	rg	I	0	210,78	3-Mar.	av200	0	I	278,72
31-Mar.	9h5	rg	I	0	266,88	12-Mar.	av200	0	I	212,64

31-Mar.	9h8	rg	I	0	279,18	26-Mar.	av200	0	I	208,3
31-Mar.	9h8	rg	I	0	231,53	3-Mar.	av200	0	I	263,46
12-Mar.	9h5	rg	I	0	214,27	11-Mar.	av200	5	I	212,18
12-Mar.	9h8	rg	I	0	219,12	18-Mar.	av200	5	I	219,76
12-Mar.	2h5	rg	I	5	249,52	26-Mar.	av200	5	I	226,12
12-Mar.	2h8	rg	I	5	242,06	11-Mar.	av200	5	I	137,39
12-Mar.	4h8	rg	I	5	242,08	3-Mar.	av200	5	I	251,52
12-Mar.	4h5	rg	I	5	235,94	12-Mar.	av200	5	I	212,36
12-Mar.	9h5	rg	I	5	252,74	3-Mar.	av200	5	I	354,74
12-Mar.	9h8	rg	I	5	204,99	3-Mar.	av200	5	I	218,73
31-Mar.	2h8	rg	I	10	300,86	11-Mar.	av200	10	I	187,87
12-Mar.	2h5	rg	I	10	205,9	18-Mar.	av200	10	I	212,43
12-Mar.	2h8	rg	I	10	170,97	11-Mar.	av200	10	I	190,35
12-Mar.	4h8	rg	I	10	225,44	3-Mar.	av200	10	I	206,38
12-Mar.	4h5	rg	I	10	239,55	12-Mar.	av200	10	I	194,74
12-Mar.	9h5	rg	I	10	204	3-Mar.	av200	10	I	264,86
12-Mar.	9h8	rg	I	10	174,92	18-Mar.	av200	15	I	166,52
12-Mar.	4h8	rg	I	15	210,58	11-Mar.	av200	15	I	181,14
31-Mar.	9h5	rg	I	15	271,02	3-Mar.	av200	15	I	219,71
31-Mar.	4h5	rg	I	20	225,39	11-Mar.	av200	0	v	24,47
31-Mar.	2h8	rg	I	30	299,78	18-Mar.	av200	0	v	38,25
31-Mar.	2h5	rgv	v	0	49,83	11-Mar.	av200	0	v	32,42
31-Mar.	2h8	rgv	v	0	37,47	3-Mar.	av200	0	v	42,32
12-Mar.	2h5	rgv	v	0	44,73	12-Mar.	av200	0	v	34,2
12-Mar.	2h8	rgv	v	0	44,3	26-Mar.	av200	0	v	32,88
31-Mar.	4h5	rgv	v	0	32,89	3-Mar.	av200	0	v	29,25
31-Mar.	4h8	rgv	v	0	40,68	11-Mar.	av200	10	v	25,75
12-Mar.	4h8	rgv	v	0	59,78	11-Mar.	av200	5	v	32,79
12-Mar.	4h5	rgv	v	0	56,68	18-Mar.	av200	5	v	32,61
31-Mar.	9h5	rgv	v	0	42,57	26-Mar.	av200	5	v	41,78
31-Mar.	9h8	rgv	v	0	38,24	11-Mar.	av200	5	v	55,62
12-Mar.	9h5	rgv	v	0	48,57	3-Mar.	av200	5	v	55,41
12-Mar.	2h8	rgv	v	5	58,59	12-Mar.	av200	5	v	39,62
12-Mar.	4h8	rgv	v	5	52,15	3-Mar.	av200	5	v	44,73
12-Mar.	9h8	rgv	v	5	47,37	11-Mar.	rg100	0	I	302,4
31-Mar.	2h8	rgv	v	10	51,34	18-Mar.	rg100	0	I	340,86
						3-Mar.	rg100	0	I	362,19

PARCELA	BLOQUE	TRATAMIENTO	ESTRATO	COMPON.	AFE					
						11-Mar.	rg100	0	I	254,67
1	1	150	0I			333,8	26-Mar.	rg100	0	I	253,7
1	1	150	0v			44,5	3-Mar.	rg100	0	I	311,22
1	1	150	5I			371,5	12-Mar.	rg100	0	I	272,46
1	1	150	10I			343,9	3-Mar.	rg100	0	I	308,92
1	1	150	15I			367,3	11-Mar.	rg100	5	I	277,28
1	1	150	20I			323,3	18-Mar.	rg100	5	I	326,4
1	1	150	25I			250,6	3-Mar.	rg100	5	I	265,68
2	2	100	0I			254,5	11-Mar.	rg100	5	I	266,6
2	2	100	0v			42,3	3-Mar.	rg100	5	I	292,72
2	2	100	5I			307,3	12-Mar.	rg100	5	I	308,01
2	2	100	10I			316,1	3-Mar.	rg100	5	I	307,08
2	2	100	15I			323,3	11-Mar.	rg100	10	I	293,62

2	2	100	20 l	250,5	18-Mar.	rg100	10	l	384,49
3	3	50	0 l	291,4	3-Mar.	rg100	10	l	217,17
3	3	50	0 v	34,1	11-Mar.	rg100	10	l	263,88
3	3	50	5 l	308,3	3-Mar.	rg100	10	l	268,64
3	3	50	10 l	295,5	12-Mar.	rg100	10	l	349,92
3	3	50	15 l	290,3	3-Mar.	rg100	10	l	305,23
3	3	50	20 l	237,4	11-Mar.	rg100	15	l	241,31
5	1	100	0 l	334,2	18-Mar.	rg100	15	l	290,77
5	1	100	0 v	47,5	3-Mar.	rg100	15	l	135,17
5	1	100	5 l	323,4	11-Mar.	rg100	15	l	220,55
5	1	100	5 v	51,1	3-Mar.	rg100	15	l	210,09
5	1	100	10 l	320,2	12-Mar.	rg100	15	l	328,18
5	1	100	15 l	310,2	3-Mar.	rg100	15	l	267,98
5	1	100	20 l	306,4	18-Mar.	rg100	20	l	268,23
5	1	100	25 l	279,0	26-Mar.	rg100	20	l	277,92
6	2	150	0 l	306,6	12-Mar.	rg100	20	l	243,27
6	2	150	0 v	37,4	26-Mar.	rg100	30	l	227,33
6	2	150	5 l	323,8	11-Mar.	rg100	0	v	54,07
6	2	150	10 l	295,9	18-Mar.	rg100	0	v	63,16
6	2	150	15 l	310,7	3-Mar.	rg100	0	v	48,98
6	2	150	20 l	255,9	11-Mar.	rg100	0	v	42,79
6	2	150	25 l	235,8	26-Mar.	rg100	0	v	43,12
7	3	0	0 l	193,6	3-Mar.	rg100	0	v	58,01
7	3	0	0 v	23,6	12-Mar.	rg100	0	v	56,43
7	3	0	5 l	246,2	3-Mar.	rg100	0	v	66,97
7	3	0	10 l	253,9	18-Mar.	rg100	5	v	85,2
7	3	0	15 l	212,9	11-Mar.	rg100	5	v	43,18
9	1	0	0 l	278,4	3-Mar.	rg100	5	v	63,75
9	1	0	0 v	32,7	11-Mar.	rg200	0	l	283,55
9	1	0	5 l	253,9	18-Mar.	rg200	0	l	306,86
9	1	0	15 l	198,9	26-Mar.	rg200	0	l	322,36
10	2	50	0 l	72,4	3-Mar.	rg200	0	l	280,06
10	2	50	0 v	121,4	11-Mar.	rg200	0	l	271,81
10	2	50	5 l	306,6	3-Mar.	rg200	0	l	332,62
10	2	50	10 l	280,4	11-Mar.	rg200	0	l	303,08
10	2	50	15 l	270,3	26-Mar.	rg200	0	l	305,98
10	2	50	20 l	229,9	3-Mar.	rg200	0	l	323,84
11	3	100	0 l	243,8	11-Mar.	rg200	5	l	316,3
11	3	100	0 v	35,3	18-Mar.	rg200	5	l	332,18
11	3	100	5 l	271,2	3-Mar.	rg200	5	l	250,16
11	3	100	10 l	251,1	11-Mar.	rg200	5	l	275,45
11	3	100	15 l	233,1	3-Mar.	rg200	5	l	364,26
13	1	50	5 l	-47,8	11-Mar.	rg200	5	l	335,36
13	1	50	15 l	-49,0	26-Mar.	rg200	5	l	334,4
14	2	0	0 l	227,2	3-Mar.	rg200	5	l	364,39
14	2	0	0 v	35,5	3-Mar.	rg200	5	l	274,8
14	2	0	5 l	243,6	11-Mar.	rg200	10	l	316,41
14	2	0	10 l	248,1	11-Mar.	rg200	10	l	277,47
14	2	0	15 l	193,0	26-Mar.	rg200	10	l	308
15	3	150	0 l	302,2	3-Mar.	rg200	10	l	224,67
15	3	150	0 v	39,5	11-Mar.	rg200	10	l	249,29

15	3	150	5l	372,8	3-Mar.	rg200	10	l	251,64
15	3	150	10l	319,2	11-Mar.	rg200	10	l	279,84
15	3	150	15l	305,8	3-Mar.	rg200	10	l	314,14
15	3	150	20l	296,0	3-Mar.	rg200	10	l	239,92
15	3	150	20l	309,7	11-Mar.	rg200	15	l	285,99
15	3	150	25l	252,2	11-Mar.	rg200	15	l	234,18
					3-Mar.	rg200	15	l	266,01
					11-Mar.	rg200	15	l	265,91
					26-Mar.	rg200	15	l	305,72
					3-Mar.	rg200	15	l	273,77
					11-Mar.	rg200	20	l	224,92
					18-Mar.	rg200	20	l	292,32
					11-Mar.	rg200	20	l	235,67
					11-Mar.	rg200	20	l	247,46
					26-Mar.	rg200	20	l	297,11
					18-Mar.	rg200	25	l	245,46
					26-Mar.	rg200	25	l	310,86
					26-Mar.	rg200	25	l	260,47
					26-Mar.	rg200	35	l	221,85
					11-Mar.	rg200	0	v	55,08
					18-Mar.	rg200	0	v	63,69
					26-Mar.	rg200	0	v	58,14
					3-Mar.	rg200	0	v	52,76
					11-Mar.	rg200	0	v	43,68
					3-Mar.	rg200	0	v	47,9
					11-Mar.	rg200	0	v	64,59
					26-Mar.	rg200	0	v	46,82
					3-Mar.	rg200	0	v	44,34
					26-Mar.	rg200	10	v	61,48
					11-Mar.	rg200	5	v	74,05
					18-Mar.	rg200	5	v	87,17
					11-Mar.	rg200	5	v	48,07
					11-Mar.	rg200	5	v	35,8
					26-Mar.	rg200	5	v	60,03

Anexo 10. Indice de área foliar (IAF).

dia	ALT	REP	ESTR	IAF
12	5	1	0	1,70
12	5	1	5	0,25
12	5	2	0	1,45
12	5	2	5	0,38
12	5	3	0	1,59
12	5	3	5	0,41
12	8	1	0	2,99
12	8	1	5	0,84
12	8	1	10	0,33
12	8	2	0	2,44
12	8	2	5	0,99
12	8	2	10	0,57
12	8	3	0	2,58
12	8	3	5	0,98
12	8	3	10	0,30
31	5	1	0	7,42
31	5	1	5	6,17
31	5	1	10	4,97
31	5	1	15	4,03
31	5	1	20	3,05
31	5	1	25	2,17
31	5	2	0	5,95
31	5	2	5	3,87
31	5	2	10	2,50
31	5	2	15	1,45
31	5	2	20	0,80
31	5	3	0	5,36
31	5	3	5	3,42
31	5	3	10	2,54
31	5	3	15	1,42
31	5	3	20	0,56
31	8	1	0	8,65
31	8	1	5	6,70
31	8	1	10	5,36
31	8	1	15	4,31
31	8	1	20	3,03
31	8	1	25	2,14
31	8	2	0	6,13
31	8	2	5	4,24
31	8	2	10	3,23
31	8	2	15	2,18
31	8	2	20	1,32
31	8	2	25	0,77
31	8	3	0	7,64
31	8	3	5	5,38
31	8	3	10	4,56
31	8	3	15	3,15
31	8	3	20	1,95
31	8	3	25	1,15

dia	parc	blo	sp	dens	estr	iaf+
0	1		1av	100	0	1,022
0	7		1av	200	0	1,191
9	5		2av	100	0	1,305
9	5		2av	100	5	0,089
9	12		3av	100	0	1,068
9	12		3av	100	5	0,279
9	12		3av	100	10	0,050
9	7		1av	200	0	0,878
9	7		1av	200	5	0,081
9	11		2av	200	0	1,184
9	11		2av	200	5	0,101
17	1		1av	100	0	1,540
17	1		1av	100	5	0,272
17	1		1av	100	10	0,066
17	1		1av	100	15	0,020
17	5		2av	100	0	1,432
17	5		2av	100	5	0,267
17	5		2av	100	10	0,047
17	5		2av	100	15	0,009
17	12		3av	100	0	1,793
17	12		3av	100	5	0,241
17	12		3av	100	10	0,060
17	7		1av	200	0	1,568
17	7		1av	200	5	0,425
17	7		1av	200	10	0,109
17	7		1av	200	15	0,021
17	11		2av	200	0	1,451
17	11		2av	200	5	0,188
17	11		2av	200	10	0,024
17	3		3av	200	0	1,227
17	3		3av	200	5	0,166
17	3		3av	200	10	0,028
32	1		1av	100	0	3,306
32	1		1av	100	5	1,999
32	1		1av	100	10	1,411
32	1		1av	100	15	0,995
32	1		1av	100	20	0,518
32	1		1av	100	25	0,180
32	5		2av	100	0	2,964
32	5		2av	100	5	1,658
32	5		2av	100	10	1,079
32	5		2av	100	15	0,608
32	5		2av	100	20	0,277
32	12		3av	100	0	3,825
32	12		3av	100	5	2,332
32	12		3av	100	10	1,801
32	12		3av	100	15	1,358
32	12		3av	100	20	0,895
32	12		3av	100	25	0,397
32	7		1av	200	0	4,137

dia	parc	blo	sp	dens	estr	iaf+	32	7	1av	200	5	2,636
17	8		2rg	200	0	3,631	32	7	1av	200	10	2,047
17	8		2rg	200	5	2,352	32	7	1av	200	15	1,573
17	8		2rg	200	10	1,932	32	7	1av	200	20	1,071
17	8		2rg	200	15	1,062	32	7	1av	200	25	0,438
17	8		2rg	200	20	0,419	32	11	2av	200	0	4,336
17	6		3rg	200	0	3,636	32	11	2av	200	5	2,952
17	6		3rg	200	5	1,868	32	11	2av	200	10	2,256
17	6		3rg	200	10	1,222	32	11	2av	200	15	1,829
17	6		3rg	200	15	0,423	32	11	2av	200	20	1,238
17	6		3rg	200	20	0,089	32	11	2av	200	25	0,623
32	10		1rg	100	0	6,736	32	3	3av	200	0	3,043
32	10		1rg	100	5	5,234	32	3	3av	200	5	1,657
32	10		1rg	100	10	4,453	32	3	3av	200	10	1,117
32	10		1rg	100	15	3,293	32	3	3av	200	15	0,671
32	10		1rg	100	20	2,178	32	3	3av	200	20	0,286
32	10		1rg	100	25	1,347	0	10	1rg	100	0	1,294
32	10		1rg	100	30	0,619	0	4	1rg	200	0	0,965
32	2		2rg	100	0	6,011	9	10	1rg	100	0	1,589
32	2		2rg	100	5	4,659	9	10	1rg	100	5	0,829
32	2		2rg	100	10	3,839	9	10	1rg	100	10	0,575
32	2		2rg	100	15	2,687	9	10	1rg	100	15	0,179
32	2		2rg	100	20	1,637	9	2	2rg	100	0	1,387
32	2		2rg	100	25	0,878	9	2	2rg	100	5	0,399
32	2		2rg	100	30	0,314	9	2	2rg	100	10	0,184
32	9		3rg	100	0	7,872	9	9	3rg	100	0	1,988
32	9		3rg	100	5	5,858	9	9	3rg	100	5	0,733
32	9		3rg	100	10	4,923	9	9	3rg	100	10	0,424
32	9		3rg	100	15	3,395	9	9	3rg	100	15	0,060
32	9		3rg	100	20	2,198	9	4	1rg	200	0	1,198
32	9		3rg	100	25	1,192	9	4	1rg	200	5	0,326
32	9		3rg	100	30	0,364	9	4	1rg	200	10	0,115
32	4		1rg	200	0	6,666	9	8	2rg	200	0	1,400
32	4		1rg	200	5	4,948	9	8	2rg	200	5	0,340
32	4		1rg	200	10	4,265	9	8	2rg	200	10	0,134
32	4		1rg	200	15	3,033	9	6	3rg	200	0	1,563
32	4		1rg	200	20	1,984	9	6	3rg	200	5	0,445
32	4		1rg	200	25	1,265	9	6	3rg	200	10	0,163
32	4		1rg	200	30	0,673	17	10	1rg	100	0	3,584
32	8		2rg	200	0	7,176	17	10	1rg	100	5	2,206
32	8		2rg	200	5	5,417	17	10	1rg	100	10	1,874
32	8		2rg	200	10	4,768	17	10	1rg	100	15	1,419
32	8		2rg	200	15	3,420	17	10	1rg	100	20	0,647
32	8		2rg	200	20	2,223	17	2	2rg	100	0	1,982
32	8		2rg	200	25	1,329	17	2	2rg	100	5	0,968
32	6		3rg	200	0	6,972	17	2	2rg	100	10	0,619
32	6		3rg	200	5	5,362	17	2	2rg	100	15	0,183
32	6		3rg	200	10	4,794	17	9	3rg	100	0	3,310
32	6		3rg	200	15	3,563	17	9	3rg	100	5	1,954
32	6		3rg	200	20	2,530	17	9	3rg	100	10	1,427
32	6		3rg	200	25	1,674	17	9	3rg	100	15	0,661
32	6		3rg	200	30	0,910	17	4	1rg	200	0	3,553
17	4		1rg	200	15	0,797	17	4	1rg	200	5	2,169
17	4		1rg	200	20	0,282	17	4	1rg	200	10	1,523

Anexo 11. Luz interceptada.

fecha	sem	parc	trat	lint		dreb	sem	parc	est	luzin (%)
23-feb	1	1	av100	0	45,44%	6	1	2h5	0	28,07
23-feb	1	1	av100	5	4,33%	6	1	2h8	0	54,34
23-feb	1	4	rg200	0	37,57%	6	1	4h5	0	27,13
23-feb	1	4	rg200	5	2,51%	6	1	4h8	0	53,16
23-feb	1	7	av200	0	49,84%	6	1	9h5	0	22,33
23-feb	1	7	av200	5	15,83%	6	1	9h8	0	47,97
23-feb	1	10	rg100	0	35,72%	11	2	2h5	0	63,55
23-feb	1	10	rg100	5	11,15%	11	2	2h5	5	48,78
02-mar	2	1	av100	0	69,66%	11	2	2h5	10	12,03
02-mar	2	1	av100	5	20,83%	11	2	2h8	0	82,10
02-mar	2	1	av100	10	15,33%	11	2	2h8	5	59,86
02-mar	2	1	av100	15	7,34%	11	2	2h8	10	27,80
02-mar	2	2	rg100	0	46,74%	11	2	2h8	15	7,88
02-mar	2	2	rg100	5	25,02%	11	2	4h5	0	62,42
02-mar	2	2	rg100	10	14,19%	11	2	4h5	5	47,56
02-mar	2	2	rg100	15	6,22%	11	2	4h5	10	15,75
02-mar	2	3	av200	0	38,98%	11	2	4h8	0	80,37
02-mar	2	3	av200	5	5,46%	11	2	4h8	5	68,50
02-mar	2	3	av200	10	1,96%	11	2	4h8	10	39,12
02-mar	2	3	av200	15	0,98%	11	2	4h8	15	9,67
02-mar	2	4	rg200	0	59,38%	11	2	9h5	0	54,40
02-mar	2	4	rg200	5	24,86%	11	2	9h5	5	43,01
02-mar	2	4	rg200	10	9,78%	11	2	9h5	10	15,66
02-mar	2	4	rg200	15	5,21%	11	2	9h8	0	86,09
02-mar	2	5	av100	0	25,94%	11	2	9h8	5	32,63
02-mar	2	5	av100	5	9,26%	11	2	9h8	10	4,64
02-mar	2	5	av100	10	5,72%	21	3	2h5	0	88,90
02-mar	2	6	rg200	0	55,15%	21	3	2h5	5	87,70
02-mar	2	6	rg200	5	35,72%	21	3	2h5	10	70,80
02-mar	2	6	rg200	10	16,89%	21	3	2h5	15	48,10
02-mar	2	6	rg200	15	5,54%	21	3	2h5	20	22,30
02-mar	2	7	av200	0	28,96%	21	3	2h8	0	94,20
02-mar	2	7	av200	5	16,43%	21	3	2h8	5	92,30
02-mar	2	7	av200	10	5,12%	21	3	2h8	10	79,00
02-mar	2	8	rg200	0	50,73%	21	3	2h8	15	66,50
02-mar	2	8	rg200	5	28,34%	21	3	2h8	20	31,60
02-mar	2	8	rg200	10	9,67%	21	3	4h5	0	84,80
02-mar	2	8	rg200	15	2,43%	21	3	4h5	5	79,10
02-mar	2	9	rg100	0	61,43%	21	3	4h5	10	62,80
02-mar	2	9	rg100	5	48,67%	21	3	4h5	15	41,20
02-mar	2	9	rg100	10	28,70%	21	3	4h5	20	19,20
02-mar	2	9	rg100	15	5,84%	21	3	4h8	0	94,40
02-mar	2	10	rg100	0	38,08%	21	3	4h8	5	89,80
02-mar	2	10	rg100	5	19,44%	21	3	4h8	10	81,60
02-mar	2	10	rg100	10	6,08%	21	3	4h8	15	69,30
02-mar	2	10	rg100	15	0,83%	21	3	4h8	20	45,30
02-mar	2	11	av200	0	41,37%	21	3	9h5	0	87,50
02-mar	2	11	av200	5	17,31%	21	3	9h5	5	78,90
02-mar	2	11	av200	10	4,03%	21	3	9h5	10	68,40
02-mar	2	11	av200	15	4,28%	21	3	9h5	15	44,20
02-mar	2	12	av100	0	42,67%	21	3	9h5	20	23,60
02-mar	2	12	av100	5	27,86%	21	3	9h8	0	91,80

02-mar	2	12 av100	10	7,21%	21	3	9h8	5	86,50
02-mar	2	12 av100	15	2,89%	21	3	9h8	10	79,70
10-mar	3	1 av100	0	56,37%	21	3	9h8	15	65,90
10-mar	3	1 av100	5	49,68%	21	3	9h8	20	54,70
10-mar	3	1 av100	10	19,90%	30	5	2h5	0	97,71
10-mar	3	1 av100	15	4,71%	30	5	2h5	5	95,14
10-mar	3	2 rg100	0	78,81%	30	5	2h5	10	93,71
10-mar	3	2 rg100	5	71,85%	30	5	2h5	15	87,57
10-mar	3	2 rg100	10	54,01%	30	5	2h5	20	84,14
10-mar	3	2 rg100	15	26,59%	30	5	2h5	25	75,10
10-mar	3	2 rg100	20	11,14%	30	5	2h8	0	97,98
10-mar	3	3 av200	0	45,09%	30	5	2h8	5	96,09
10-mar	3	3 av200	5	31,80%	30	5	2h8	10	95,58
10-mar	3	3 av200	10	7,80%	30	5	2h8	15	92,35
10-mar	3	3 av200	15	0,69%	30	5	2h8	20	86,23
10-mar	3	4 rg200	0	85,30%	30	5	2h8	25	77,34
10-mar	3	4 rg200	5	82,56%	30	5	4h5	0	96,84
10-mar	3	4 rg200	10	65,89%	30	5	4h5	5	95,48
10-mar	3	4 rg200	15	42,78%	30	5	4h5	10	91,28
10-mar	3	4 rg200	20	23,11%	30	5	4h5	15	79,61
10-mar	3	5 av100	0	42,41%	30	5	4h5	20	65,22
10-mar	3	5 av100	5	23,07%	30	5	4h5	25	44,40
10-mar	3	5 av100	10	8,45%	30	5	4h8	0	98,21
10-mar	3	5 av100	15	2,44%	30	5	4h8	5	97,83
10-mar	3	6 rg200	0	88,67%	30	5	4h8	10	94,35
10-mar	3	6 rg200	5	88,52%	30	5	4h8	15	88,79
10-mar	3	6 rg200	10	53,36%	30	5	4h8	20	82,07
10-mar	3	6 rg200	15	27,91%	30	5	4h8	25	70,81
10-mar	3	6 rg200	20	5,58%	30	5	9h5	0	94,70
10-mar	3	7 av200	0	62,63%	30	5	9h5	5	93,87
10-mar	3	7 av200	5	49,22%	30	5	9h5	10	88,47
10-mar	3	7 av200	10	23,70%	30	5	9h5	15	79,64
10-mar	3	7 av200	15	6,34%	30	5	9h5	20	64,28
10-mar	3	8 rg200	0	93,73%	30	5	9h5	25	49,79
10-mar	3	8 rg200	5	90,72%	30	5	9h8	0	97,96
10-mar	3	8 rg200	10	77,66%	30	5	9h8	5	96,15
10-mar	3	8 rg200	15	57,76%	30	5	9h8	10	93,92
10-mar	3	8 rg200	20	39,30%	30	5	9h8	15	89,14
10-mar	3	8 rg200	25	19,90%	30	5	9h8	20	79,89
10-mar	3	9 rg100	0	87,07%	30	5	9h8	25	63,62
10-mar	3	9 rg100	5	81,64%					
10-mar	3	9 rg100	10	63,62%	fecha	sem	parc	trat	lint
10-mar	3	9 rg100	15	49,68%	24-mar	5	4	rg200	25 76,23%
10-mar	3	9 rg100	20	24,31%	24-mar	5	4	rg200	30 60,44%
10-mar	3	10 rg100	0	91,13%	24-mar	5	5	av100	0 79,73%
10-mar	3	10 rg100	5	87,24%	24-mar	5	5	av100	5 69,85%
10-mar	3	10 rg100	10	77,50%	24-mar	5	5	av100	10 48,89%
10-mar	3	10 rg100	15	62,85%	24-mar	5	5	av100	15 31,30%
10-mar	3	10 rg100	20	39,63%	24-mar	5	5	av100	20 10,90%
10-mar	3	11 av200	0	59,01%	24-mar	5	6	rg200	0 94,16%
10-mar	3	11 av200	5	40,32%	24-mar	5	6	rg200	5 94,16%
10-mar	3	11 av200	10	17,52%	24-mar	5	6	rg200	10 89,76%
10-mar	3	11 av200	15	5,92%	24-mar	5	6	rg200	15 78,75%
10-mar	3	12 av100	0	57,59%	24-mar	5	6	rg200	20 64,94%
10-mar	3	12 av100	5	34,88%	24-mar	5	6	rg200	25 51,25%
10-mar	3	12 av100	10	14,59%	24-mar	5	6	rg200	30 34,55%

10-mar	3	12 av100	15	1,72%	24-mar	5	7 av200	0	89,43%
17-mar	4	1 av100	0	78,90%	24-mar	5	7 av200	5	87,05%
17-mar	4	1 av100	5	70,23%	24-mar	5	7 av200	10	75,28%
17-mar	4	1 av100	10	45,05%	24-mar	5	7 av200	15	58,08%
17-mar	4	1 av100	15	14,82%	24-mar	5	7 av200	20	35,30%
17-mar	4	1 av100	20	3,02%	24-mar	5	7 av200	25	14,37%
17-mar	4	2 rg100	0	89,98%	24-mar	5	8 rg200	0	97,43%
17-mar	4	2 rg100	5	87,73%	24-mar	5	8 rg200	5	97,27%
17-mar	4	2 rg100	10	83,83%	24-mar	5	8 rg200	10	92,61%
17-mar	4	2 rg100	15	76,02%	24-mar	5	8 rg200	15	87,12%
17-mar	4	2 rg100	20	55,89%	24-mar	5	8 rg200	20	74,97%
17-mar	4	3 av200	0	63,20%	24-mar	5	8 rg200	25	58,01%
17-mar	4	3 av200	5	49,56%	24-mar	5	8 rg200	30	44,29%
17-mar	4	3 av200	10	12,46%	24-mar	5	9 rg100	0	94,51%
17-mar	4	3 av200	15	1,94%	24-mar	5	9 rg100	5	91,91%
17-mar	4	4 rg200	0	94,85%	24-mar	5	9 rg100	10	87,36%
17-mar	4	4 rg200	5	90,48%	24-mar	5	9 rg100	15	73,39%
17-mar	4	4 rg200	10	80,50%	24-mar	5	9 rg100	20	63,93%
17-mar	4	4 rg200	15	69,23%	24-mar	5	9 rg100	25	45,06%
17-mar	4	4 rg200	20	45,92%	24-mar	5	10 rg100	0	98,72%
17-mar	4	5 av100	0	76,85%	24-mar	5	10 rg100	5	98,72%
17-mar	4	5 av100	5	59,02%	24-mar	5	10 rg100	10	97,49%
17-mar	4	5 av100	10	38,88%	24-mar	5	10 rg100	15	95,92%
17-mar	4	5 av100	15	17,27%	24-mar	5	10 rg100	20	91,37%
24-mar	5	1 av100	0	87,04%	24-mar	5	10 rg100	25	82,26%
24-mar	5	1 av100	5	82,49%	24-mar	5	10 rg100	30	64,32%
24-mar	5	1 av100	10	71,41%	24-mar	5	11 av200	0	76,07%
24-mar	5	1 av100	15	50,00%	24-mar	5	11 av200	5	68,86%
24-mar	5	1 av100	20	33,43%	24-mar	5	11 av200	10	54,92%
24-mar	5	1 av100	25	10,99%	24-mar	5	11 av200	15	35,69%
24-mar	5	2 rg100	0	96,46%	24-mar	5	11 av200	20	17,90%
24-mar	5	2 rg100	5	95,83%	24-mar	5	11 av200	25	8,73%
24-mar	5	2 rg100	10	91,89%	24-mar	5	12 av100	0	79,52%
24-mar	5	2 rg100	15	79,68%	24-mar	5	12 av100	5	71,99%
24-mar	5	2 rg100	20	71,79%	24-mar	5	12 av100	10	57,58%
24-mar	5	2 rg100	25	56,30%	24-mar	5	12 av100	15	44,90%
24-mar	5	2 rg100	30	32,69%	24-mar	5	12 av100	20	27,17%
24-mar	5	3 av200	0	75,16%	24-mar	5	12 av100	25	8,59%
24-mar	5	3 av200	5	64,06%					
24-mar	5	3 av200	10	45,35%					
24-mar	5	3 av200	15	26,78%					
24-mar	5	3 av200	20	10,92%					
24-mar	5	4 rg200	0	98,07%					
24-mar	5	4 rg200	5	97,09%					
24-mar	5	4 rg200	10	94,95%					
24-mar	5	4 rg200	15	92,13%					
24-mar	5	4 rg200	20	85,39%					

Anexo 12. Rendimiento de materia seca (kg ha^{-1})

parc	blo	sp	dens	dia	rend	residual	parc	trat(N)	rendimiento	residual
1	1	av	100	0	3413	1384	7	0	851	1303
2	1	rg	100	0	3429	1279	9	0	689	1441
3	1	av	200	0	3699	1234	14	0	759	1247
4	1	rg	200	0	3543	1206	3	50	1964	1613
5	2	av	100	0	3024	1301	10	50	1394	1540
6	2	rg	200	0	3091	1445	13	50	1270	1241
7	2	av	200	0	3937	1525	2	100	1499	1565
8	2	rg	200	0	3851	1096	5	100	2371	1647
9	3	rg	100	0	2356	1367	11	100	1619	1693
10	3	rg	100	0	2570	1617	1	150	2086	1731
11	3	av	200	0	3609	1288	6	150	2064	1504
12	3	av	100	0	2150	1550	15	150	2187	1510
1	1	av	100	9	.	.				
2	1	rg	100	9	286	1150	blo	parcela	dia	rend	residual
3	1	av	200	9	.	.	1	2h5	1	0	1607
4	1	rg	200	9	244	1019	1	2h8	1	0	1761
5	2	av	100	9	54	1630	2	4h5	1	0	1616
6	2	rg	200	9	330	1231	2	4h8	1	0	2040
7	2	av	200	9	49	1016	3	9h5	1	0	794
8	2	rg	200	9	280	1291	3	9h8	1	0	1521
9	3	rg	100	9	510	1228	1	2h5	7	226	1629
10	3	rg	100	9	492	847	1	2h8	7	593	2157
11	3	av	200	9	61	1409	2	4h5	7	296	1382
12	3	av	100	9	164	1054	2	4h8	7	480	2404
1	1	av	100	17	297	1647	3	9h5	7	169	1210
2	1	rg	100	17	622	1220	3	9h8	7	265	1910
3	1	av	200	17	179	1344	1	2h5	12	244	1204
4	1	rg	200	17	1238	1531	1	2h8	12	549	2019
5	2	av	100	17	292	1573	2	4h5	12	278	1130
6	2	rg	200	17	1142	1824	2	4h8	12	649	*1486*
7	2	av	200	17	474	1478	3	9h5	12	314	1109
8	2	rg	200	17	1284	1524	3	9h8	12	585	1851
9	3	rg	100	17	1220	1457	1	2h5	23	2194	1672
10	3	rg	100	17	1164	1552	1	2h8	23	2892	2182
11	3	av	200	17	212	1647	2	4h5	23	1993	1746
12	3	av	100	17	272	1961	2	4h8	23	2797	2357
1	1	av	100	32	1934	1771	3	9h5	23	2713	1052
2	1	rg	100	32	2584	1668	3	9h8	23	2836	1672
3	1	av	200	32	1713	1774	1	2h5	31	3362	1439
4	1	rg	200	32	2695	1764	1	2h8	31	3871	1892
5	2	av	100	32	1873	1735	2	4h5	31	2260	1436
6	2	rg	200	32	2776	1771	2	4h8	31	2474	1898
7	2	av	200	32	2420	1989	3	9h5	31	2228	1697
8	2	rg	200	32	2896	2113	3	9h8	31	3251	2090
9	3	rg	100	32	3143	2511					
10	3	rg	100	32	2734	1594					
11	3	av	200	32	2631	1774					
12	3	av	100	32	2229	2078					

1	1	av	100	44	3780	1885
2	1	rg	100	44	4093	1992
3	1	av	200	44	3803	2327
4	1	rg	200	44	4506	2553
5	2	av	100	44	3653	1563
6	2	rg	200	44	4575	3050
7	2	av	200	44	4740	1969
8	2	rg	200	44	4821	1884
9	3	rg	100	44	3447	2341
10	3	rg	100	44	5010	2337
11	3	av	200	44	3883	1968
12	3	av	100	44	3584	2262

Anexo 13. Conteo de hijatos.

parc	blo	sp	dens	vivos	muertos
1	1	av	100	360	120
2	2	rg	100	439	40
3	3	av	200	306	157
4	1	rg	200	447	79
5	2	av	100	256	129
6	3	rg	200	516	95
7	1	av	200	354	182
8	2	rg	200	515	175
9	3	rg	100	514	41
10	1	rg	100	421	45
11	2	av	200	350	156
12	3	av	100	328	107
1	1	av	100	247	132
2	2	rg	100	571	72
3	3	av	200	330	174
4	1	rg	200	781	33
5	2	av	100	253	167
6	3	rg	200	580	102
7	1	av	200	363	157
8	2	rg	200	700	95
9	3	rg	100	502	23
10	1	rg	100	681	75
11	2	av	200	297	112
12	3	av	100	315	111
1	1	av	100	380	126
2	2	rg	100	746	52
3	3	av	200	312	185
4	1	rg	200	616	56
5	2	av	100	305	130
6	3	rg	200	503	103
7	1	av	200	347	138
8	2	rg	200	566	81
9	3	rg	100	536	86
10	1	rg	100	393	48
11	2	av	200	353	127
12	3	av	100	300	119
1	1	av	100	294	136
2	2	rg	100	786	60
3	3	av	200	263	147
4	1	rg	200	425	65
5	2	av	100	252	124
6	3	rg	200	334	85
7	1	av	200	374	123
8	2	rg	200	628	63
9	3	rg	100	342	64
10	1	rg	100	607	59
11	2	av	200	361	131
12	3	av	100	385	130

Anexo 14. Determinación de nitrógeno (N) total en el experimento dosis de N.

Par	tra	est	bloque	Ntotal
1	150	0-5	1	2,7
1	150	5–10	2	3,95
1	150	10–15	3	4,35
1	150	15-20	3	5,08
1	150	20-25	3	4,37
2	100	0-5	1	1,99
2	100	5–10	2	3,78
2	100	10–15	3	4,28
2	100	15-20	3	4,15
3	50	0-5	1	1,58
3	50	5–10	2	2,32
3	50	10–15	3	1,55
3	50	15-20	3	3,7
3	50	20-25	3	3,91
5	100	0-5	1	2,09
5	100	5–10	2	4,37
5	100	10–15	3	4,57
5	100	15-20	3	4,42
5	100	20-25	3	5,42
5	100	25-30	3	4,98
6	150	0-5	1	2,62
6	150	5–10	2	3,64
6	150	10–15	3	4,15
6	150	15-20	3	4,28
6	150	20-25	3	4,89
7	0	0-5	1	1,02
7	0	5–10	2	1,72
7	0	10–15	3	2,67
10	50	0-5	1	1,38
10	50	5–10	2	2,57
10	50	10–15	3	3,17
10	50	15-20	3	3,61
11	100	0-5	1	4,22
11	100	5–10	2	3,72
11	100	10–15	3	4,79
11	100	15-20	3	4,22
14	0	0-5	1	1,24
14	0	5–10	2	1,8
14	0	10–15	3	2,3
15	150	0-5	1	2,97
15	150	5–10	2	4,72
15	150	10–15	3	1,98
15	150	15-20	3	4,58
15	150	20-25	3	4,91