

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**MODELO DINÁMICO DE SIMULACIÓN PARA DECISIONES
DE CORTO PLAZO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
LECHE**

por

Ricardo MELLO ROBATTO

Tesis presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magíster en Ciencias Agrarias,
opción Ciencia Animal

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2011**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Ing. Agr. Mario García Ph. D., Ing. Agr. Grisel Fernández Ph. D., Dr. Daniel Laborde M. Sc. el 20 de diciembre del 2011. Autor: Ing. Agr. Ricardo Mello. Director: Ing. Agr. Pablo Chilibroste Ph. D., Co-director Ing. Agr. Santiago Dogliotti Ph. D.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a mi familia por haber tenido mucha paciencia y un gran apoyo moral.

A Pablo Chilibroste por sus invaluable aportes en la orientación de la maestría y la dirección del trabajo final. A Santiago Dogliotti por la conducción del trabajo final.

A Martín Mello y Elena Chilibroste por su colaboración en la correcciones de textos y diagramado.

A Juan Pablo Goyení y Diego Medina por la tarea de programación del modelo computacional desarrollado.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	3
2.1 <u>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO</u>	4
2.2 <u>SUBMODELO ANIMAL</u>	6
2.2.1 <u>Algoritmos del submodelo animal</u>	7
2.2.1.1 Producción potencial de leche por vaca y por día (PPLV/d).....	7
2.2.1.2 Consumo Potencial de Materia Seca (CPMS).....	7
2.2.1.3 Requerimientos Energéticos.....	8
2.2.1.4 Requerimientos Proteicos.....	11
2.2.1.5 Efecto conjunto del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) sobre el Consumo (RCITH).....	12
2.2.1.6 Efecto del Grado de Condición Corporal (GCC).....	13
2.3 <u>SUBMODELO VEGETAL</u>	17
2.3.1 <u>Producción potencial</u>	18
2.3.2 <u>Factor de corrección por disponibilidad de agua</u>	20
2.3.3 <u>Algoritmos usados en factor limitante agua</u>	27
2.3.3.1 Cantidad de Agua disponible en el perfil del suelo al inicio de la simulación.....	27
2.3.3.2 Variación del agua disponible en el perfil del suelo.....	28
2.3.3 <u>Factor de corrección por temperatura</u>	31
2.3.4 <u>Factor de corrección por grado de enmalezamiento</u>	34
2.3.5 <u>Factor de corrección por disponibilidad de forraje</u>	39
2.4 <u>SUBMODELO INTERFASE ANIMAL-VEGETAL</u>	42
2.4.1 <u>Manejo de potreros</u>	42
2.4.1.1 Uso de potreros.....	42
2.4.1.2 Selección de pastura.....	43
2.4.1.3 Metodología de siembra empleada.....	43
2.4.1.4 Disponibilidad inicial de pastura.....	43
2.4.2 <u>Limitadores de manejo del pastoreo</u>	43
2.4.3 <u>Asignación de pasturas</u>	44
2.4.4 <u>Asignación de reservas forrajeras y complementos</u>	44
2.4.5 <u>Algoritmos del submodelo interfase animal vegetal</u>	44
2.4.5.1 Vinculación Asignación-Consumo.....	44
2.4.5.2 Consumo total de materia seca y nutrientes.....	47
2.5 <u>SALIDAS DEL MODELO</u>	48
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	49
3.1 <u>EXPERIMENTOS DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE</u>	49

3.1.1 <u>Efecto de condiciones de balance hídrico y temperaturas en otoño-invierno</u>	49
3.1.1.1 Experimento “Verdeos Invierno I”.....	49
3.1.1.2 Experimento “Verdeos Invierno II”.....	52
3.1.1.3 Experimento “Praderas Permanentes I”.....	54
3.1.1.4 Experimento “Praderas Permanentes II”.....	57
3.1.1.5 Experimento “Praderas Permanentes III”.....	59
3.1.2 <u>Experimentos en condiciones estivales</u>	64
3.1.2.1 Experimento “Cultivos Verano Ensilaje I”.....	65
3.1.3 <u>Efecto de la presencia de malezas en la productividad de pasturas y verdes de invierno</u>	70
3.1.3.1 Experimento “Enmalezamiento en Avena I”.....	70
3.1.3.2 Experimento “Enmalezamiento en implantación de praderas I”.....	72
3.1.4 <u>Síntesis de los resultados obtenidos con el uso del modelo en la producción de forraje</u>	74
3.2 EXPERIMENTOS INTEGRANTES DEL SUB-MODELO ANIMAL-VEGETAL.....	75
3.2.1 <u>Experimentos de otoño</u>	75
3.2.1.1 Experimento I.....	78
3.2.1.2 Experimento II.....	83
3.2.2 <u>Experimentos de invierno</u>	87
3.2.2.1 Experimento III.....	90
4. <u>CONCLUSIONES</u>	106
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	108
6. <u>ANEXOS</u>	112
6.1 <u>SÍNTESIS DE ANTECEDENTES</u>	112
6.1.1 <u>El enfoque sistémico</u>	112
6.1.2 <u>El uso de modelos en Sistemas agropecuarios</u>	112
6.1.2.1 Características generales.....	112
6.1.2.2 Modelos de simulación.....	113
6.1.2.3 Construcción de modelos de simulación.....	114
6.1.2.4 Uso de modelos a nivel internacional.....	115
6.1.2.5 Sistemas lecheros en el Uruguay.....	118
6.1.3 <u>Uso de modelos en sistemas de producción de leche en Uruguay</u>	120
6.1.3.1 Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros, Raúl Leborgne.....	120
6.1.3.2 Modelo de simulación para el estudio del manejo de sistemas pastoriles de producción de leche (Plan-T), Henry Durán.....	123
6.1.4 <u>Síntesis de antecedentes nacionales e internacionales</u>	126

RESUMEN

Los modelos permiten tanto representar procesos biológicos principales como cuantificar las interacciones entre los componentes principales. En nuestro país se han desarrollado herramientas de simulación que permiten contestar preguntas estratégicas (mediano plazo) a nivel de los sistemas de producción, aunque los asesores técnicos que concurren en forma periódica a los predios no cuentan con herramientas de apoyo en la decisiones de carácter táctico y/u operacional. El objetivo de la investigación fue el diseño de un modelo dinámico de simulación que opera a escala predial y en el que se cuantifica el impacto a nivel bio-económico de decisiones de manejo de corto plazo. Experimentos virtuales de manejo, demostraron la utilidad del modelo para uso en la experimentación con fines de explorar nuevas opciones de manejo en forma compleja. Con el modelo desarrollado se puede cuantificar los efectos de intervención en la fase pastura, animal o interacción e entre ambas sobre producción de leche, condición corporal, cuantificación del crecimiento de pasturas y balance nutricional de los animales lecheros. La sustitución de forraje por concentrado así como la respuesta en producción de leche es calculada por el modelo dado determinadas condiciones iniciales de las variables de estado. El modelo integra conocimientos generados en la investigación analítica tal como el efecto de la presencia de malezas sobre la productividad de las pasturas: este componente le permiten al técnico asesor observar y cuantificar el estado de las variables de estado de campo y en función de ellas predecir el comportamiento del sub-modelo forrajero y su interacción con el resto de los sub - modelos. A partir del presente trabajo, se genera posibilidades de incorporación de nuevo conocimiento y/o representación de nuevos procesos los que permitirán lograr mayor precisión en las estimaciones y/o utilidades de ésta herramienta en el apoyo al trabajo de los técnicos asesores de los sistemas de producción de leche en Uruguay.

Palabras clave: lechería, modelo simulación, estrategias de corto plazo.

SUMMARY

Dynamic simulation model to support tactical decisions on grazing systems for milk production

Models enable the representation of the main biological processes and the quantification of the interactions between main components. Simulation models have been developed in our country to answer strategic questions (medium term) about behavior of dairy production systems, although the technical advisers that periodically visit dairy farms do not have at their disposal the tools to support tactical and/or operational decisions. The aim of the investigation was the design of a simulation dynamic model that operates on a dairy farm scale and in which an impact of short term decisions on a biological-economic level is predicted. Virtual experiments on the operations demonstrated the potential of the model to analyze and choose different strategies to assign resources which improve the efficiency on a short term basis. With the developed model it is possible to quantify the intervention effects in the plant, animal or interactions between them over milk production, body condition, quantification of the pasture growth and the nutritional balance of dairy cows. The substitution of forage for concentrate and the response of milk production is calculated by the model taking into account certain state variable initial conditions. The model integrate knowledge that results of the analytic research, such as the effect of the weeds over the productivity of the pastures: this allows the technical adviser to observe and quantify the condition of certain state variables and based on these observations to predict the performance of the PLANT sub-model as well as its interaction with the other sub-models. This work is the starting point to incorporate new information and/or to represent new processes which will allow more accurate estimations and/or use of this tool to support the work of the technical adviser's of dairy production systems in Uruguay.

Key words: Dairy, simulation model, short term strategies.

1. INTRODUCCIÓN

Las preguntas más interesantes y críticas con las cuales se enfrentan los administradores de recursos tienen mucho que ver con sistemas complejos. En las ciencias agrarias, Fischer citado por Aguilar y Cañas (1992) fue uno de los pioneros en visualizar el uso del enfoque sistémico, al verificar la complejidad e interacciones de las variables biológicas y la aleatoriedad en algunos procesos, y/o partes de los mismos. Intentos para resolver problemas complejos de manera estrecha o fragmentaria ha llevado mayoritariamente a un diseño de investigación insuficiente, y también a errores en las decisiones de administración y gobierno de las naciones (Lovatto y Sauvart, 2002).

Los sistemas de producción se ven enfrentados a incrementos de la variabilidad climática y de relaciones insumo/ producto (Artagaveytia y Giudice, 2009). En Uruguay se dispone de sistemas de evaluación de gestión bio-económica a nivel de predios comerciales (FUCREA, CONAPROLE), a escalas de ejercicios contables. Existen metodologías de planificación y evaluación de manejo de recursos biológicos (Durán, 1983) que se diseñaron para proyección y evaluación bio-económica de sistemas de producción de leche.

No se disponen aún de herramientas para evaluar los resultados de estrategias de decisiones tácticas y operacionales en sistemas de producción de leche, en intervalos de tiempo menores a un año. El técnico que concurre en forma frecuente al sistema productivo debe tomar decisiones que pueden variar de acuerdo a las condiciones ambientales actuales y pronosticadas así como al estado actual de los recursos involucrados. Poder documentar el menú de decisiones consideradas, detallar las finalmente seleccionadas y evaluar el resultado obtenido de las mismas, permitiría acumular conocimientos en un sistema de producción particular y sobre la interacción entre variables. Disponer de herramientas computacionales modernas para poder evaluar estrategias de manejo, que permitan darle soporte técnico a la toma de decisiones en forma rápida, es una oportunidad para lograr una mejor

eficiencia en el trabajo de los profesionales. La presente investigación tiene como objetivo el desarrollo de una herramienta informática para apoyar la toma de decisiones tácticas y operacionales de técnicos, investigadores, estudiantes y productores que trabajan de la fase primaria de la cadena láctea. Esta herramienta pretende brindar un soporte para que rápidamente se puedan evaluar y responder opciones de manejo a escala predial de los sistemas lecheros en Uruguay.

El objetivo general de esta investigación es el desarrollo de un modelo de soporte para la toma de decisiones tácticas y operacionales por parte de asesores técnicos a nivel de sistemas comerciales de producción de leche.

Los objetivos específicos son:

Cuantificar respuestas a decisiones tácticas de manejo ante diferentes escenarios de disponibilidad de recursos alimenticios, características genotípicas y fenotípicas del rodeo, clima y relaciones de precios insumo: producto.

Diseñar y analizar estrategias innovadoras utilizando el modelo como simulador de experimentos virtuales.

La hipótesis experimental es que el modelo de simulación predice con un nivel de precisión aceptable el resultado de las principales decisiones tácticas y operacionales diseñadas por los técnicos asesores de sistemas de producción de leche.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Un sistema puede ser definido como una parte limitada de la realidad que contiene elementos relacionados Becht (citado por Hart, 2002), constituyendo una entidad para cumplir un determinado objetivo. La teoría general de sistemas, ha sido base para la aparición y desarrollo de metodologías para la resolución de problemas agrícolas (Aguilar y Cañas, 1992). En base a ello, los sistemas tienen una determinada estructura y función, que se encuentran en permanente interacción. La estructura de un sistema, comprende la identificación de los componentes del sistema, las interacciones entre componentes, entradas, salidas y límites.

Un modelo de simulación es la construcción de modelos matemáticos y el estudio de su comportamiento. El objetivo principal de los mismos es poder predecir el comportamiento del modelo, ante cambios de condiciones definidas por el investigador experto y/o cambios en las condiciones de escenarios externos. La mayoría de los modelos de simulación se caracterizan por ser dinámicos.

Simulación es entonces una de las herramientas utilizadas para poder ayudar a contestar preguntas que se diseñan cuando se definen objetivos y alcances de un modelo conceptual y cuantificado a través de de la construcción de interrelaciones matemáticas de un sistema real (Aguilar y Cañas, 1992).

La actividad lechera en Uruguay se considera de base pastoril, dicha característica se basa en que el rodeo lechero cosecha en forma directa a través del pastoreo, el 50 % o más de la materia seca consumida, en el promedio del año (Chilibroste, 2009). La base pastoril del sistema, implica que hay una producción vegetal primaria, la cual es diseñada y ejecutada sobre un determinado estado del recurso natural fundamental, que es el suelo. La rotación forrajera constituye el arreglo espacial y temporal de la asignación de determinadas especies y/o combinaciones de especies, con el objetivo de obtener una determinada producción estacional y anual de forraje. Dicha rotación forrajera es la manifestación de decisiones estratégicas, tácticas y/o operacionales.

La demanda animal en el planteo pastoril está dada por diferentes arreglos de los

componentes de carga animal, producción individual y de la distribución de la parición.

En este contexto las decisiones estratégicas, tácticas y operacionales, requieren ser revisadas a una escala de tiempo reducida, a los efectos de mantener la operatividad del sistema en el mediano plazo. Decisiones operativas a escala diaria, afectan la respuesta productiva rápidamente y generan respuestas residuales a nivel de todo el sistema productivo, tanto en los componentes vegetales y animales.

Los sistemas de producción pastoriles se enfrentan ante la necesidad de tomar decisiones complejas, que requieren disponer de herramientas de apoyo para la toma de decisiones en forma rápida.

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO

El modelo se define como mecanístico, dinámico, de carácter predictivo. El modelo pretende responder a preguntas tácticas/operacionales de corto plazo. La simulación trabaja a escala diaria. El límite temporal en que opera el modelo es entre 1 a 120 días. No obstante el espacio temporal sugerido de mejor aplicabilidad es de 30 a 60 días.

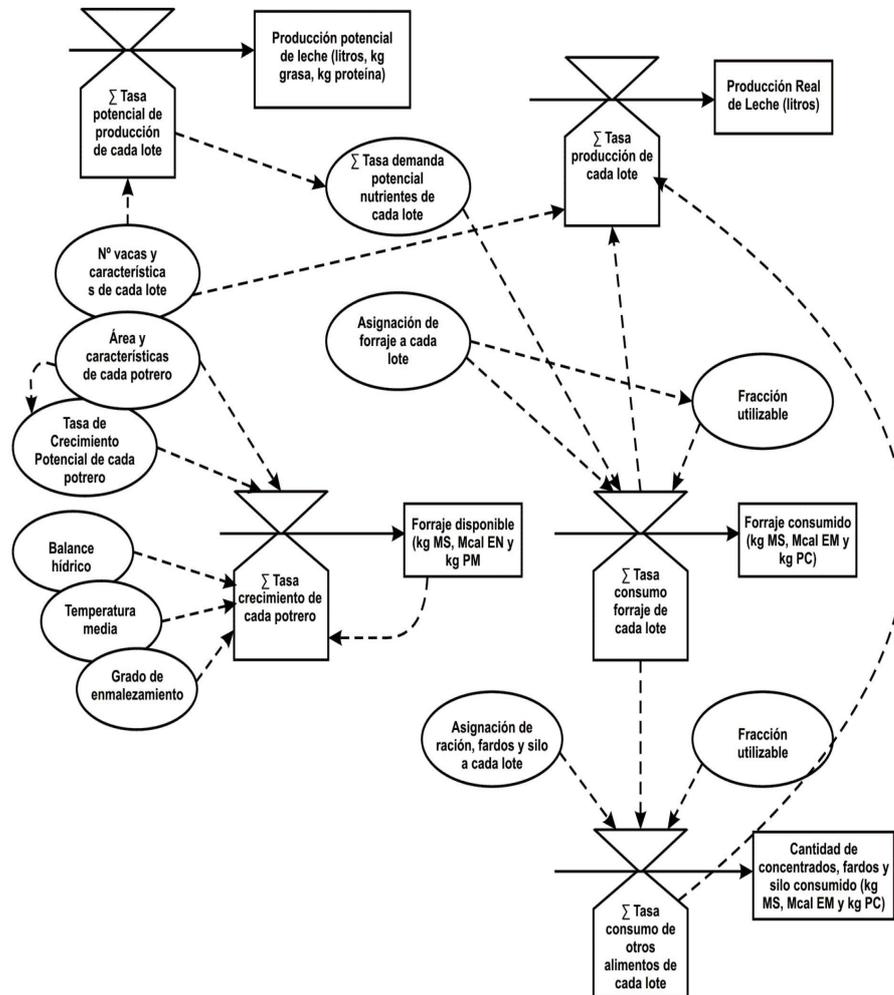
Los límites de aplicabilidad corresponden a un sistema que opera sobre una rotación forrajera destinada al uso del rodeo adulto, caracterizado por vacas masa (vacas ordeño y vacas secas). No se contempla la simulación de la recría animal, en la medida que el modelo se diseña para sistemas lecheros especializados, donde el componente leche es el producto principal del sistema.

La estructura y funcionalidad del modelo, se ha desarrollado para ser usado por un técnico asesor que concurre al sistema productivo en forma periódica (un vez por mes mínimo), de forma tal de poder cuantificar el estado de las variables relevantes del modelo y de esta forma realizar una permanente evaluación y adecuación de las decisiones de corto plazo.

El modelo se subdivide en 3 submodelos: el submodelo animal, el submodelo vegetal y el submodelo integración interfase animal-vegetal. En la integración de la interfase animal-vegetal se toma o ingresa información de salidas de los otros submodelos y/o escenarios simulados por el técnico asesor. El estado inicial de las variables más importantes es actualizado por el usuario cada vez que evalúa y actualiza la información del sistema.

El siguiente diagrama de información, representa la estructura y funcionamiento del modelo.

Figura N° 1: Diagrama conceptual del modelo de simulación.



2.2 SUBMODELO ANIMAL

En la presente sección, se presentan las definiciones y bases de cálculos que incluyen el modelo, básicamente a los efectos de cuantificar la demanda animal que se simula.

2.2.1 Algoritmos del submodelo animal

2.2.1.1 Producción potencial de leche por vaca y por día (PPLV/d)

Se deriva del potencial productivo y de los días de lactancia al inicio de la simulación en referencia a la fecha de parto ingresada para el lote animal. Expresa cual sería la producción de leche, en determinada etapa de la lactancia, sin restricciones nutricionales, sanitarias y sin limitantes de la condición corporal al momento del parto.

$$\text{PPLV/d} = (\text{PP} \cdot 0,00318) (\text{dl})^{0,1075} (e^{-0,003 \times \text{dl}}) \text{ (Chilibroste, 2010, com. pers.) [ec.1]}$$

Donde:

PP: Potencial productivo, en litros por lactancia.

dl: Días de lactancia transcurrida desde la fecha de parto del lote al día 1 de la simulación.

2.2.1.2 Consumo Potencial de Materia Seca (CPMS)

En el modelo se utilizan diferentes ecuaciones de acuerdo a la definición de cada lote seleccionado. *Para vacas en ordeño (NRC, 2001):*

$$\text{CPMSvo (kg/d)} = (0,372 \cdot \text{LCG4} + 0,0968 \cdot \text{PV}^{0,75}) (1 - e^{-0,192(\text{sl} + 3,67)}) \quad [\text{ec. 2}]$$

Donde:

CPMSvo: Consumo potencial de materia seca por vaca en ordeño y por día.

PV^{0,75}: Peso Vivo Metabólico, en kilos.

sl = semana de lactación.

LCG4: leche corregida al 4% de grasa según:

$$LCG4 = PL/d (0,4 + 0,15 \cdot \%G) \text{ (Tyrell, 1965)} \quad [\text{ec. 3}]$$

Donde:

%G: porcentaje de grasa en leche ingresado por usuario.

Para vacas Secas (NRC, 2001): Se aplican una de las 2 fórmulas que siguen, de acuerdo al número de lactancias previas.

$$CPMSvaq = [(((1,71-0,69e^{(0,35(DP-280))}))/100)]PV; \text{ para lactancia previa} = 0 \quad [\text{ec. 4}]$$

$$CPMSvs: [(((1,97-(0,75e^{(0,16(DP-280))}))/100)]PV \text{ para lactancia previa} > 1 \quad [\text{ec. 5}]$$

Donde:

CPMSvaq: Consumo potencial de materia seca por vaca sin ninguna lactancia previa.

CPMSvs: Consumo potencial de materia seca por vaca con al menos una lactancia previa.

DP: días de preñez. Los días de preñez surge de la diferencia del día 1 de la simulación y la fecha de servicio (ingresada por el usuario para cada lote).

PV: peso vivo (kg).

2.2.1.3 Requerimientos Energéticos

Mantenimiento (RMB): Los requerimientos de Metabolismo Basal (NRC, 2001) se calculan a partir de la función:

$$RMB \text{ (Mcal/d)} = 0,08PV^{0,75} \quad [\text{ec. 6}]$$

Se agregan requerimientos adicionales de mantenimiento contemplados de acuerdo a:

Requerimientos mantenimiento por traslado del potrero a sala de ordeño (RTr):

Los mismos son función del peso vivo y de la distancia recorrida por día, expresada en kilómetros (NRC, 2001):

$$RTr = D \cdot NV/d \cdot 0,00045 \cdot PV \quad [\text{ec. 7}]$$

Donde:

D: Distancia (expresada en kilómetros, y calculada desde el centro del potrero hasta la sala de ordeño). En el modelo cuando se ingresan los potreros, se agrega dicha distancia del potrero hasta sala de ordeño.

NV/d: Número de viajes por día.

Requerimientos adicionales de traslado, por efecto de calidad de caminería:

Existen muchos factores que condicionan la calidad de la caminería por donde los animales circulan diariamente del potrero a la sala y viceversa. El modelo agrega este elemento, adaptando información reportada por Dijkam and Lawrence (1997). El factor adicional a los costos de traslado oscila entre 1 y 2,17.

Se definen 3 posibles situaciones de estado de la caminería, y en función de ello es la ecuación que se aplica:

Sí el estado de la caminería es bueno y con poca pendiente, no hay costo adicional a los de caminata del potrero a sala por tanto

$$RTr = D \cdot NV/d \cdot 0,00045 \cdot PV \cdot 1 \quad [\text{ec. 8}].$$

Si la calidad de la caminería se encuentra en malas condiciones, tomando como referencia la visualización de suciedad en las vacas, y/o en la profundidad de que los animales hundan sus patas al caminar, el valor estimado de indicios evidentes de suciedad de las manos y las patas es mayor o igual a 30 centímetros, entonces el costo adicional de traslado es un 217 %, por lo se selecciona la ecuación.

$$RTr = D \cdot NV/d \cdot 0,00045 \cdot PV \cdot 2,17 \quad [\text{ec. 9}].$$

Finalmente, en situaciones intermedias, con un estado regular de la caminería:

$$RTr = D \cdot NV/d \cdot 0,00045 \cdot PV \cdot 1,6 \quad [\text{ec. 10}]$$

La sentencia o input, que el técnico asesor ingresa la calidad de la caminería es seleccionando la opción: buena (ec. 8), regular (ec. 10) o mala (ec. 9).

Requerimientos adicionales por cosecha de forraje dentro de la franja diaria de pastoreo (MBP): Los requerimientos del costo de cosecha del forraje dentro de la parcela asignada diariamente, pueden llegar a ser relevantes en caso de asignaciones muy bajas y/o tiempos de pastoreo muy limitados. Es un factor de mucha importancia en sistemas pastoriles, pero que a los efectos de simplificar se utiliza una función que solamente contempla el peso vivo del lote, sin tener en cuenta la estructura de la pastura. La ecuación seleccionada para cuantificar los requerimientos de mantenimiento por concepto de búsqueda de forraje dentro de la franja de pastoreo es:

$$MBP = (0,0012 \text{ Mcal} \cdot PV) \quad (\text{NRC, 2001}) \quad [\text{ec. 11}]$$

Requerimientos Energéticos Producción Leche (REPL): Los requerimientos unitarios por litro de leche, utilizan el contenido de grasa y proteína de la leche NRC (2001).

El primer cálculo es la concentración de energía por litro de leche:

$$E/l: (0,0929 \cdot \%G + 0,0547 \cdot \%P + 0,192) \quad [\text{ec. 12}]$$

Donde:

E/l: Energía por litro de leche es la densidad energética de un litro de leche en Megacalorías (Mcal/l).

%P: Porcentaje de proteína en leche.

Por lo que los requerimientos totales por vaca y por día se calculan como:

$$REPL (\text{Mcal}/v/d) = PL/v/d \cdot EN/l \quad [\text{ec. 13}]$$

Donde:

PL/v/d: producción diaria de leche por vaca.

Requerimientos Energéticos Gestación (REG): Los requerimientos adicionales por concepto de gestación, son relevantes a partir del día 190 de gestación (NRC, 2001).

$$\text{REG (Mcal/v/d)} = [(0,00318 \cdot \text{DP} - 0,0352)(\text{Pt}/45)]/0,218 \quad [\text{ec. 14}]$$

Donde:

Pt: Peso del ternero al nacimiento.

Para el cálculo del peso del ternero al nacimiento se lo referencia en relación al Peso Vivo Adulto (PVa), como cálculo intermedio.

Entonces:

$$\text{Pt (kg)} = 0,06275 \cdot \text{PVa (kg)} \quad [\text{ec. 15}]$$

Esta ecuación tiene ámbito de aplicación cuando DP > 189 días.

Requerimientos Energéticos Totales (REt): Están compuestos por la suma de los requerimientos de mantenimiento, producción y gestación.

$$\text{REt: RMB} + \text{RTr} + \text{REPL} + \text{REG} \quad [\text{ec. 16}]$$

2.2.1.4 Requerimientos Proteicos

Requerimientos de Proteína Metabolizable para mantenimiento (RPMm)(AFRC, 1996); la ecuación en el modelo es:

$$\text{RPMm (g/d)} = 2,3 \cdot \text{PV}^{0,75} \quad [\text{ec. 17}]$$

Requerimientos RTr de proteína metabolizable para gestación (RPMG); la ecuación en el modelo (NRC, 2001) es:

$$\text{RPMG (g/d)} = (((0,69 \cdot \text{DP}) - 69,2)(\text{Pt}/45))/0,33 \quad [\text{ec. 18}]$$

Requerimientos de proteína metabolizable para producción (RPMP); la ecuación

en el modelo (NRC, 2001):

$$RPMP \text{ (g/d)} = (P \text{ (g)}/0,67)1000 \quad [\text{ec. 19}]$$

Donde:

P: producción de proteína, tal que PPLV/d . %P

Los requerimientos de proteína metabolizable para lactación se basan en la cantidad de proteína secretada en leche y la eficiencia con la que se utiliza la PM en lactación (67%) (NRC 2001).

2.2.1.5 Efecto conjunto del del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) sobre el Consumo (RCITH)

La fórmula utilizada, que vincula la temperatura y humedad ambiente es la siguiente:

$$ITH = (1,8T + 32) - (0,55 - 0,55HR/100)(1,8T - 26)$$

Donde:

T: temperatura en grados centígrados

HR: Humedad Relativa del Aire (%)

(Cruz G, 2010).

Fórmula de cálculo:

Reducción de Consumo por ITH

$$RCITH = 0,23ITH. \text{ \u00c1mbito de aplicaci\u00f3n, s\u00ed } ITH > 72 \quad [\text{ec. 20}]$$

Donde:

ITH: variable ingresada por el usuario del programa.

A los efectos del modelo se ajusta un factor de reducci\u00f3n de consumo, que se activa

cuando el valor de ITH supera el valor de 72. Dicha referencia seleccionada ha sido reportada por Flamenbaun (1994), donde se utiliza el coeficiente de la pendiente de la regresión lineal, la cual indica una reducción de 0,23 kilos de materia seca consumida por cada unidad de ITH incremental, por encima del valor 72.

El usuario ingresa directamente el valor de ITH, en los meses que considere que es factible la ocurrencia de condiciones ambientales, que pueda afectar el consumo animal.

2.2.1.6 Efecto del Grado de Condición Corporal (GCC)

El técnico debe ingresar el valor de la condición corporal promedio de cada lote, en la escala 1-5 (Griggera y Bargo, 2004). El modelo aplica las ecuaciones del NRC (2001) a los efectos de la cuantificación de la disponibilidad de energía disponible en tejidos de los animales de acuerdo a su valor de GCC.

En el modelo se utilizan los siguientes pasos a los efectos de la integración numérica de este factor:

Para movilización de GCC, los pasos son:

Si el consumo de energía aportado por los alimentos ingeridos es < a los requerimientos energéticos totales, entonces la cantidad diaria a movilizar sigue los siguientes pasos:

Paso 1: Cambio de escala ($GCC_{(5)}$) se pasa a escala 1-9 (NRC) a través de

$$GCC_{(9)} = ((GCC_{(5)} - 1)2) + 1 \quad [\text{ec. 21}]$$

Paso 2: De acuerdo a la GCC inicial es la proporción de grasa y proteína corporal por cada kilo de peso vivo (PV) es posible de ser utilizada a los efectos de intentar la homeostasis.

Para determinar la proporción de grasa y proteína que aplica el modelo es:

$$\%GC = 0,037683GCC_{(9)} \quad [\text{ec. 22}]$$

$$\%PC = 0,200886GCC_{(9)}. \quad [\text{ec. 23}]$$

Donde:

%GC: porcentaje de grasa corporal

%PC: porcentaje de proteína corporal

Paso 3: Tomando las densidades energéticas de la grasa y proteína constantes, entonces se suman los aportes relativos a partir de la GCC inicial.

$$\text{Energía Grasa: } 9,4 \text{ Mcal/kg} \cdot \%GC$$

$$\text{Energía Proteína: } 5,55 \text{ Mcal/kg} \cdot \%PC$$

Entonces:

$$ABECC = 9,4 \cdot \%GC + 5,55 \cdot \%PC \quad [\text{ec. 24}].$$

Donde:

ABECC: es el aporte bruto de energía proveniente de movilizar 1 kg de peso vivo, de acuerdo al GCC.

Paso 4:

Dado que la eficiencia del aporte energético a la producción de leche desde las reservas corporales es del 82 % (NRC), entonces:

Paso 5: Aporte de Energía Neta a los requerimientos de producción de leche es igual al aporte de energía bruta desde las reservas corporales (rrcc),

$$ANRRCC: 0,82ABECC \quad [\text{ec. 25}]$$

Si el consumo de energía aportado por los alimentos ingeridos es = a los requerimientos energéticos totales, entonces no hay movilización corporal. (variación de GCC: cero)

Si el consumo de energía aportado por los alimentos ingeridos es > a los requerimientos energéticos totales, entonces hay ganancia de condición corporal. (variación de GCC > cero).

La cuantificación de la ganancia de condición corporal, se expresa de acuerdo a la eficiencia para depositar grasa en lactación. La eficiencia de deposición es de un 84-86 %. Por lo que por cada unidad de energía excedente, la cantidad de energía retenida es de 0.86 mega calorías.

El paso es calcular el balance entre Requerimientos de Energía y Oferta de Energía dietaria y si Oferta > Requerimientos, entonces la resultante de la resta se transfiere a GCC por esta vía.

Luego el paso sigue igual que en ecuaciones [21, 22, 23].

Para transformar ganancia de GCC a kilos, se ha confeccionada una escala aproximada en función del Peso Vivo del lote (ver cuadro 1)

En el modelo se ha generado un límite para el aporte de reservas corporales a producción de leche fijado en 2,25.

La definición del límite inferior de condición corporal es la siguiente:

Sí el GCCt es \leq a 2,25, aporte de energía a través de la CC es igual a cero (=0)
[ec. 26]

El valor seleccionado como crítico tiene como respaldo los trabajos de investigación llevados a cabo en la EEMAC durante los últimos 10 años, donde sistemáticamente se ha monitoreado variaciones de GCC frente a cambios en el régimen de alimentación (Chilibroste, 2010, com. pers.) La relación entre los cambios de peso vivo (PV) y cambios en la condición corporal (CC) se estima en forma lineal, en función del tamaño del animal, expresado por su peso vivo, estableciéndose la siguiente escala (adaptado de NRC, 2001):

Cuadro N° 1: Equivalencias del aporte del cambio de 1 unidad de CC, de acuerdo al tamaño promedio del lote animal.

Peso (kg)	Equivalencia
< 550	1 punto CC: 30 kg
550 a 700	1 punto CC: 45 kg
> 700	1 punto CC: 55 kg

La cantidad de energía aportada, por cada cambio de una unidad de condición corporal, depende del nivel inicial del GCC (NRC, 2001).

El cuadro siguiente, refleja la metodología seguida por el NRC, adaptada en el modelo.

Cuadro N°2: Variación del aporte de energía por kilo de peso vivo de acuerdo a la condición corporal inicial.

Escala Modelo	Escala NRC	Grasa Corporal %	Aporte Grasa (Mcal)	Proteína Corporal (%)	Aporte Prot. (Mcal)	Grasa +Prot.	ENL: (G+P)* 0,82 Mcal / kg PV
2	3,0	0,11	1,1	0,18	0,99	2,1	1,7
2,25	3,5	0,13	1,2	0,18	0,98	2,2	1,8
2,5	4,0	0,15	1,4	0,17	0,96	2,4	1,9
2,75	4,5	0,17	1,6	0,17	0,94	2,5	2,1
3	5,0	0,19	1,8	0,17	0,92	2,7	2,2
3,25	5,5	0,21	1,9	0,16	0,90	2,9	2,3
3,5	6,0	0,23	2,1	0,16	0,88	3,0	2,5
3,75	6,5	0,24	2,3	0,16	0,87	3,2	2,6
4	7,0	0,26	2,5	0,15	0,85	3,3	2,7
4,5	8,0	0,30	2,8	0,15	0,81	3,6	3,0
5	9,0	0,34	3,2	0,14	0,77	4,0	3,2

Como se observa en el cuadro 2, a mayores condiciones corporales, al aporte energético por cada kilo de peso vivo, movilizado, se incrementa. La eficiencia de transformación de reservas corporales hacia la producción de leche es del 82%, los aportes neto se extiende desde 1,7 hasta 3,2 Mcal/kg de peso vivo de reducción. De acuerdo al tamaño promedio del lote (peso vivo), se calcula el aporte energético por cada unidad de cambio en la condición corporal.

2.3 SUBMODELO VEGETAL

El submodelo vegetal, dentro del modelo de simulación, presenta una metodología que aporta nuevos elementos para pronosticar el comportamiento del crecimiento de

las diferentes pasturas que integran la cadena forrajera de los sistemas lecheros. El modelo resalta la importancia de que el técnico asesor, realice la evaluación y actualice el estado de las variables principales que afectan la productividad de los mejoramientos forrajeros. En esta versión del modelo se han revisado y seleccionado algunos factores de manejo donde se utiliza información experimental. En el mismo sentido, en el modelo se propone una tipología de escenarios climáticos en base a información climática, que afectan el crecimiento vegetal. Esta información climática, ha sido adaptada de 30 años de registros de la estación meteorológica de INIA, W. Ferreira Aldunate (las Brujas, S 34° 40' 16,15"). Los factores que utiliza el modelo que cuantifican la producción esperada de forraje en cada potrero son el balance de agua, el efecto de bajas temperaturas promedio, el grado de enmalezamiento y la disponibilidad inicial de forraje.

2.3.1 Producción potencial

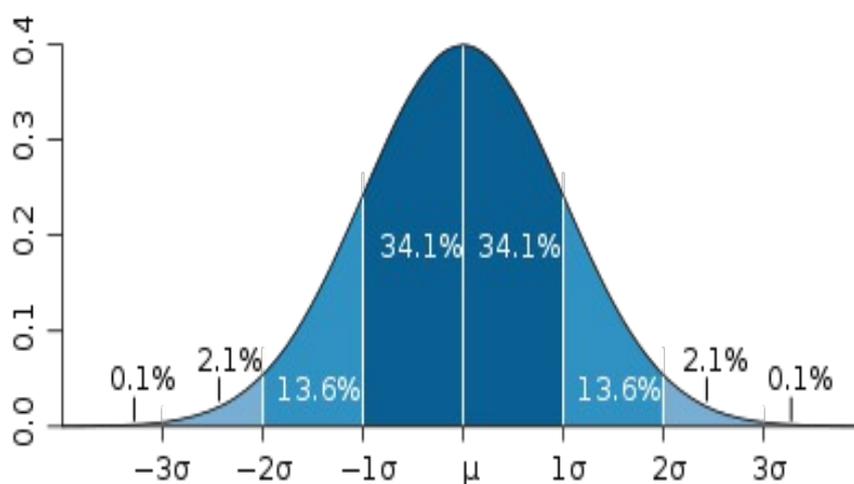
En Uruguay existe información básica del crecimiento de las principales especies forrajeras utilizadas en la producción lechera. No obstante no se han generado a la fecha funciones publicadas que vinculen información de producciones mínimas, promedio y máximas con variables meteorológicas.

En el modelo se ha definido un criterio de aproximación del crecimiento potencial de las especies forrajeras. En base a ello, se ha considerado que el límite superior de la variable Tasa de Crecimiento, se defina como el valor promedio más un desvío estándar. La selección de dicho valor se basa en la función de probabilidad estadística, donde dentro del valor promedio ± 1 desvío estándar quedan contempladas el 68% de los posibles valores en una distribución normal del recorrido de la variable. Valores por encima del promedio + 1 desvío tienen una menor probabilidad de ocurrir. Información nacional (Formoso, 2007), para la mayoría de las especies utilizadas en los sistemas lecheros del Uruguay presenta información del promedio y la variabilidad (desvío) entre años. El modelo generaliza

las tasas de crecimiento para las pasturas permanentes poli-específicas. Se utilizan además valores de crecimiento de pasturas, en particular los verdeos de verano, recopiladas en el modelo de simulación de Durán (1983) y síntesis de información recopilada por Zanoniani (2010, com. pers).

En el modelo se define la tasa de crecimiento potencial diario de cada pastura, como el valor promedio más un desvío estándar.

Gráfico N° 1: Distribución de densidad de probabilidades de Gauss.



La tasa de de crecimiento potencial se corrige de acuerdo al efecto multiplicativo de 4 factores comprendidos en el modelo. Los cuatro factores que afectan la tasa de crecimiento potencial (TCP) de las pasturas, operan en forma multiplicativa en el transcurso de a simulación de escenarios en el modelo.

La tasa de Crecimiento Real (TCR) por cada unidad de tiempo “i”, a escala espacial del potrero “t”, queda definida como:

$$TCR_{it} = TCP_{it}(FCA_{it} \cdot FCT_{it} \cdot FCM_{it} \cdot FCD_{it}) \quad [\text{ec. 27}]$$

Donde:

TCP_{it} : Tasa de Crecimiento Potencial por unidad de tiempo t, en el potrero i

FCA_{it} : Factor de corrección por disponibilidad de agua (0-1)

FCT_{it}: Factor de corrección por temperaturas (0-1)

FCM_{it}: Factor de corrección por grado de enmalezamiento (0-1)

FCD_{it}: Factor de corrección por disponibilidad de materia seca del día anterior (0-1)

Todos estos factores actúan como multiplicadores, expresados en términos relativos entre 0 y 1. En esta primera versión, no han sido contemplado el factor nutrición vegetal (aporte del suelo y/o fertilización). No se encontró información consistente, en la bibliografía nacional, como para construir algoritmos adecuados en esta primera etapa del modelo. El modelo opera bajo el supuesto que no hay limitantes nutricionales para el crecimiento potencial.

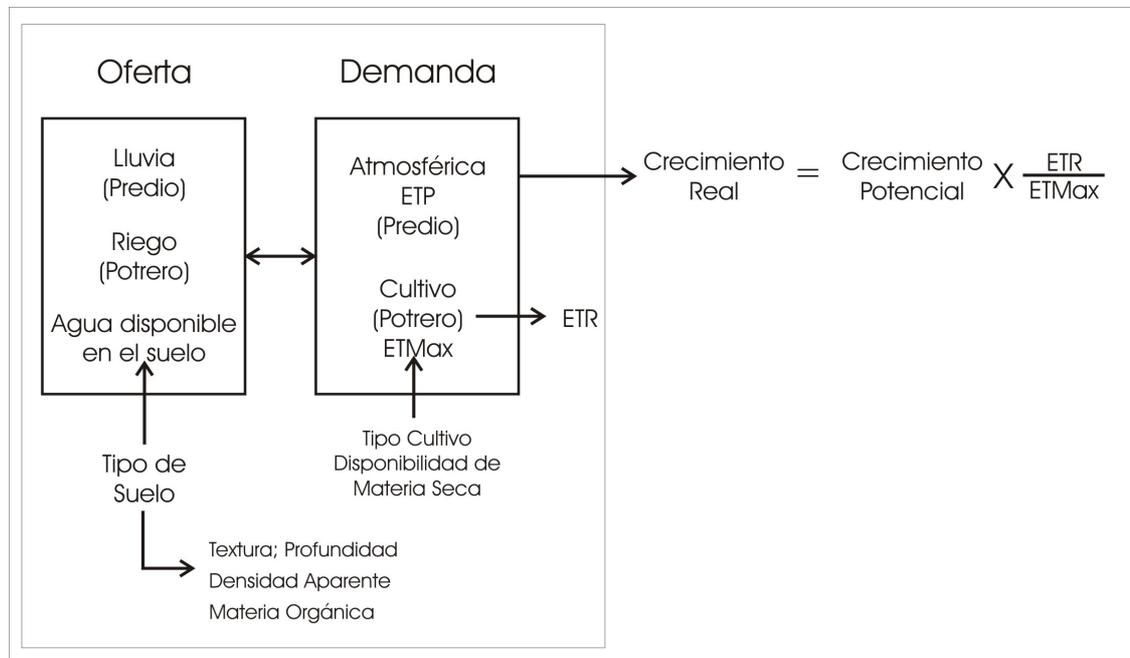
2.3.2 Factor de corrección por disponibilidad de agua

Las variables de clima, en términos estrictos, son variables externas no controlables. El modelo habilita a que el técnico asesor seleccione supuestos de comportamiento de las variables y analice estrategias tácticas y operacionales para cada contexto seleccionado. Simulando diferentes escenarios, el modelo cuantifica el resultado de las estrategias diseñadas por el usuario. En la presente sección se describe cuales son los factores que afectan la disponibilidad de agua sobre el crecimiento vegetal y los cálculos internos del modelo. El modelo utiliza como base de cálculo la ecuación de Penman-Monteith modificada por FAO (Allen et al., 1998). En esta versión, se ha tomado como referencia 29 años (1980 a 2008) de registros meteorológicos de la Estación Experimental del INIA W. Ferreira Aldunate (Las Brujas), 34° 40' S. Con dicha información diaria se calculó la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), de acuerdo a la fórmula de PM-FAO. Dada la imposibilidad estadística de simular escenarios diarios, asociado a la gran variabilidad del régimen de lluvias en el Uruguay, el modelo utiliza valores históricos agrupados cada 10 días, dividiendo a cada mes en 3 décadas (Munka y Cruz, 2010, com. pers.).

El siguiente diagrama describe el procedimiento que determina el efecto del agua

disponible en el suelo a través de un multiplicador que varía entre uno y cero.

Figura N° 2: Modelo para el cálculo de multiplicador por balance hídrico.



La escala espacial del régimen de lluvias opera a nivel de todo el predio, asumiendo como supuesto que cuando ocurren fenómenos de lluvia (P) la misma es de igual cuantía en todos los potreros del sistema simulado, del mismo modo la demanda potencial (ETP).

La información ha sido sistematizada en percentiles para las precipitaciones y Evapotranspiración Potencial. En función de las diferencias entre Precipitaciones y Evapotranspiración (P-ETP), cada 10 días, se han clasificado la información en tres percentiles de distribución. Dentro de cada percentil, se calcula la mediana y es el valor que se utiliza dentro del modelo para la selección de escenarios a ser ensayados por el técnico asesor. El técnico tiene posibilidades de ensayar hasta tres escenarios, sobre las condiciones ambientales en la cual simula las medidas de manejo y los resultados esperados. El término utilizado para seleccionar escenarios que utiliza el modelo se denomina como óptimo, intermedio, pesimista. Cada escenario, tiene 1/3 de probabilidad, de acuerdo a como se dividió la distribución de la información

histórica. El cuadro siguiente expresa, cómo la información se encuentra almacenada en la estructura del modelo.

Cuadro N° 3: Valores mediana para Lluvias (P), Evapotranspiración potencial (ETP) y diferencia entre P y ETP (en mm cada 10 días) para el mes de Enero.

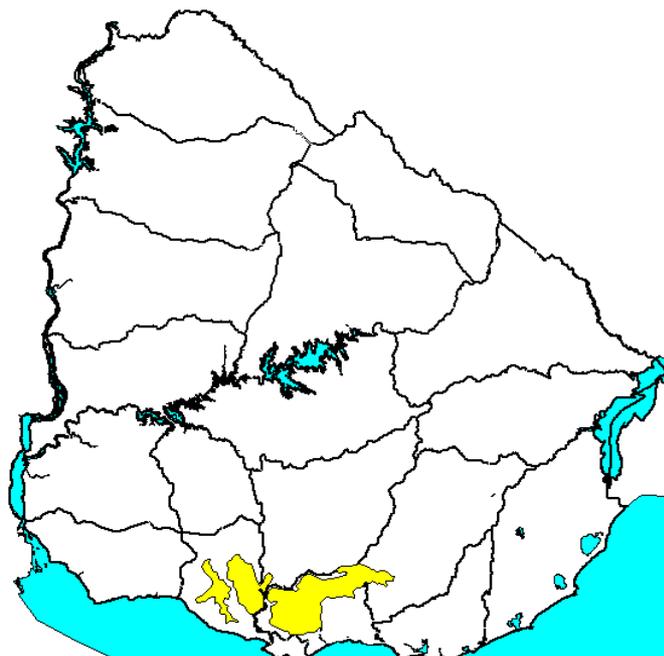
Mes	Decadala	Escenario	P	ETP	(P-ETP)
Enero	1	Óptimo	56	47	9
Enero	1	Intermedia	21	54	-33
Enero	1	Pesimista	3	61	-58
Enero	2	Óptimo	44	49	-5
Enero	2	Intermedia	17	54	-37
Enero	2	Pesimista	1	59	-58
Enero	3	Óptimo	61	50	11
Enero	3	Intermedia	17	57	-40
Enero	3	Pesimista	2	64	-62

El cuadro 3 presenta para el mes de enero los valores que utiliza el modelo de acuerdo a la selección de escenario definida por el técnico asesor. Para condiciones óptimas: los valores acumulados de los primeros diez días del mes, las lluvias superan la demanda potencial (56-47:9 mm), siendo la lluvia superior en 9 mm a la demanda. Si selecciona el escenario intermedio la mediana de la lluvia es de 21 mm y la demanda potencial atmosférica (ETP) es de 54 mm, por lo que la diferencia de 21-54: 33 milímetros en los 10 diez primeros se interpreta que hay un déficit potencial de 33 mm. Si el usuario selecciona el escenario pesimista la magnitud de la diferencia entre las lluvias y la demanda atmosférica es mayor, observándose valores entre 3 mm de lluvia y 61 mm de demanda atmosférica cada diez días, es decir que en esta opción el técnico selecciona simular un escenario de déficit hídrico importante.

La precipitación (P) opera a escala de todo el predio.

La opción de disponer de riego artificial (R) se logra a través de la selección de esta opción a escala de potrero. El modelo cuantifica la cantidad milímetros necesarios para que no existan restricciones hídricas para el crecimiento vegetal ($ETR / ETP_{max} = 1$). El agua disponible en el perfil del suelo (AD_{suelo}) es una variable de estado que presenta un valor inicial definido por el técnico. Los tipos de Suelos y las propiedades respectivas han sido seleccionadas y suministradas de la versión electrónica del Compendio de Suelos del Uruguay Versión 01 (MGAP, 2000). A manera de ejemplo, se muestra la ubicación de uno de los tipos de suelos más frecuentes en la cuenca lechera del sur del Uruguay. Esta Unidad Tala Rodríguez comprende aproximadamente 400,000 hectáreas de los departamentos del norte de Canelones, parte de San José y sur de Florida.

Figura N° 3: Distribución geográfica de la Unidad de Suelos Tala Rodríguez.



Fuente: Compendio de Suelos del Uruguay Versión 01 (MGAP, 2000).

El modelo tiene almacenado las características físico - química de acuerdo al perfil de suelo seleccionado. A partir de características tales como la textura, materia orgánica, profundidad de enraizamiento se ha definido la capacidad potencial de

almacenaje de agua de cada suelo de acuerdo a metodología documentada en el Manual de Agua Disponible de las Tierras de Uruguay (Molfino y Califra, 2001). Se han usado las ecuaciones para estimar densidad aparente, milímetros de agua a capacidad de campo (CC), coeficiente de marchitez permanente (CMP) y agua disponible (AD) para la profundidad a la cual se estima existe exploración radicular.

Cuadro N° 4: Tipos de Suelos dominantes de la Unidad Tala Rodríguez.

Unidad	Observaciones	N° perfil	Suelo Predominantes
Tala Rodríguez		L27-14	Brunosol Eutrítico Típico LAc, v
Tala Rodríguez	San José F. Superficial	L27-4	Vertisol Rúptico Lúvico Lac
Tala Rodríguez	San José F. Profunda	L27-4	Vertisol Rúptico Lúvico Lac

Para esta Unidad, cuando el técnico asesor selecciona el suelo predominante del potrero el modelo utiliza los atributos del perfil a los efectos de la creación de las propiedades inferidas.

Cuadro N° 5: Principales atributos de los Suelos-tipo de la unidad Tala Rodríguez.

Suelo Tipo	Horizonte	Profundidad	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M. Org. (%)
Brunosol Eutrítico Típico LAc, v	A	25	21,6	45,4	33	5,2
Brunosol Eutrítico Típico LAc, v	Bt	37	16,1	32,4	51,4	1,6
Brunosol Eutrítico Típico LAc, v	BC	28	16,2	31,6	52,2	0,8
Brunosol Eutrítico Típico LAc, v	Ck	10	15,8	33,7	50,1	0,3
Vertisol Rúptico Lúvico LAc	A1	20	14,7	24,7	35,6	5,89
Vertisol Rúptico Lúvico LAc	Cca		13,3	37	49,7	1,03
Vertisol Rúptico Lúvico LAc	A1	13	14,5	49,2	36,3	6,54
Vertisol Rúptico Lúvico LAc	B21	63	12,1	35,3	52,6	1,3
Vertisol Rúptico Lúvico LAc	B22	24	10	36,7	53,3	1,08
Vertisol Rúptico Lúvico LAc	Cca		11,8	37,7	50,5	0,53

El cuadro 5, indica las características texturales (arena, limo, arcilla), materia orgánica (M. Org. %), horizontes y profundidad. Dichos valores integran la base de datos del Compendio de Suelos. Los mismos expresan el valor representativo de los tipos de suelos que representan la Unidad. En esta versión del modelo, se utiliza dicha información a los efectos de las inferencias que se realizan. En futuras versiones, se habilitará la opción de que el técnico ingrese con datos físico-químicos de sus sistema específico a escala de predio y/ o potrero, logrando una mejor aproximación.

Cuadro N° 6: Inferencias utilizadas en el modelo para los horizontes de los suelos tipo de la unidad Tala Rodríguez.

Suelo Tipo	Densidad Aparente	Capacidad Campo (mm/10 cm)	C. Marchitez Permanente (mm/10 cm)	Agua Disponible AD (mm/10cm)
Brunosol	1,178	36,06	17,39	18,68
Eutrico	1,375	29,96	22,53	7,43
Típico LAc, v	1,416	27,97	22,56	5,41
	1,449	26,47	21,45	5,02
Vertisol	1,500	39,35	2,98	36,37
Rúptico	1,397	28,73	22,02	6,71
Lúvico LAc	1,097	41,16	19,51	21,65
Vertisol	1,382	30,01	23,18	6,83
Rúptico	1,390	29,88	23,49	6,39
Lúvico LAc	1,421	27,79	22,21	5,57

Las inferencias de los parámetros del cuadro 6, han sido elaboradas a partir de las ecuaciones de Fernández (1979) y Silva et al. (1988), reportadas por Molfino y Califra (2001).

El modelo realiza los cálculos internos a partir de la selección del tipo de suelo

realizada por el técnico a los efectos de cuantificar la máxima cantidad de agua disponible en el perfil del suelo. Dicho valor, en milímetros para cada potrero, depende del tipo de suelo de acuerdo a su profundidad, textura, material orgánica, densidad aparente (Molfino y Califra, 2001).

Cuadro N° 7: Valores de Máxima de capacidad de almacenaje de agua de los suelos-tipo de la unidad Tala - Rodríguez.

Suelo Tipo	Máx ADh (mm)	Acumulado (mm)	Profundidad de Enraizamiento	Total(cm)
Brunosol Eútrico Típico LAc, v	47	74	25	62
	27		37	
Vertisol Rúptico Lúvico LAc (Fase superficial)	73	73	20	
Vertisol Rúptico Lúvico LAc (Fase profunda)	28	86	13	100
	43		63	
	15		24	

El cuadro 7, indica que el suelo Brunosol eútrico típico de la Unidad Tala Rodríguez, tiene una capacidad máxima de acumulación de agua disponible de 74 mm, con una profundidad de exploración radicular de 62 cm.

2.3.3 Algoritmos usados en factor limitante agua

2.3.3.1 Cantidad de Agua disponible en el perfil del suelo al inicio de la simulación

El técnico debe ingresar un valor en porcentaje del agua disponible en el suelo en relación a la máxima capacidad de almacenaje (milímetros) del mismo. Esta es la variable de entrada que exige el modelo para operar. El agua disponible se expresa en porcentaje del máximo:

$$AD_o = AD_{m\acute{a}x} \cdot \text{Fracci\acute{o}n del m\acute{a}ximo} \quad [\text{ec. 28}]$$

Donde:

AD_o : agua disponible al inicio del periodo simulado

$AD_{m\acute{a}x}$: M\acute{a}xima capacidad de almacenaje de agua del suelo.

Fracci\acute{o}n del m\acute{a}ximo: Variable ingreso asignada por el t\acute{e}cnico asesor.

2.3.3.2 Variaci\acute{o}n del agua disponible en el perfil del suelo

El modelo calcula para cada intervalo de tiempo la variaci\acute{o}n de agua disponible de la siguiente manera:

AD_i (agua disponible tiempo t):

$$AD_i = AD_{(t-1)} \cdot e^{(P-ETP_{m\acute{a}x})/AD_{m\acute{a}x}} \quad [\text{ec. 29}]$$

Es decir que cuando se empieza a agotar el agua en el suelo, en relaci\acute{o}n a su m\acute{a}ximo, la disponibilidad (AD_t) desciende en forma exponencial.

Por lo tanto la variaci\acute{o}n de aguada disponible en cada intervalo de tiempo es:

$$\text{Variaci\acute{o}n de AD} = AD_t - AD_{(t-1)} \quad [\text{ec. 30}]$$

Adem\acute{a}s el modelo tiene cuantificado un limitador del AD, para escenarios donde hay un exceso de lluvia en relaci\acute{o}n a la ETP, siendo el valor de $AD_{m\acute{a}x}$ un atributo de cada suelo y por ende todo exceso de lluvia, se consideraría que ocurre escurrimiento superficial y p\acute{e}rdidas por drenaje interno del suelo.

El algoritmo se describe como:

$$\text{si } AD_t + (P-ETP_{max})t \leq AD_{m\acute{a}x} \quad [\text{ec. 31}]$$

Precipitaciones (P): De acuerdo al escenario simulado, el modelo utiliza el valor mediana. El ámbito espacial que actúa esta variable es a nivel de todo el sistema (total de potreros), asumiendo que la cantidad de ingreso de agua a través de la lluvia es similar en todos los potreros.

Riego (R): Cuando se selecciona la opción de riego a nivel de potrero, el modelo calcula los milímetros que se adicionan equivalente al valor de ETP_{máx} en cada intervalo de tiempo. De esta forma se logra representar que el factor multiplicador es igual a uno (ETR/ETP_{máx} =1)

Evapotranspiración Potencial (ETP) (Allen et al., 1998): Variable de entrada en forma conjunta con la precipitación. Corresponde al valor de la mediana del percentil correspondiente a la selección de escenario realizada por el técnico. Unidad expresada en milímetros cada 10 días. Escala: todo el predio.

Evapotranspiración máxima (ETP_{máx}) - Variable de estado del sistema: Es la corrección de la ETP de acuerdo al cultivo disponible en cada potrero y de la biomasa de forraje disponible que calcula el modelo en forma diaria, opera a escala de cada de potrero.

El cálculo es:

$$ETP_{máx} = ETP \cdot kc \quad [\text{ec. 32}]$$

El término ETP_{máx}, refiere a la magnitud de la Evapotranspiración de agua por unidad de tiempo, como función de las condiciones ambientales y del desarrollo del cultivo y/o pastura. A los efectos de cuantificar la demanda de cada pastura/cultivo, ubicada en determinado potrero, el modelo selecciona el valor de kc (coeficiente del cultivo) de acuerdo al tipo de pastura (Allen et al., 1998) y a la biomasa disponible.

El cuadro 8 es una elaboración propia adaptando para las condiciones de nuestras principales pasturas, a partir de los valores de kc reportados por Allen et al. (1998) y en el modelo se vinculan a la especie que integra cada potrero y de acuerdo a la disponibilidad de forraje disponible.

Cuadro N° 8: Valores de kc de acuerdo a pastura seleccionada y disponibilidad de forraje.

Especie (pastura/cultivo)	kg MS/ha	kc	kg MS/ha	kc	kg MS/ha	kc
Avena/Trigo/Cebada	0 a 500	0,4	500 a 700	1	> 700	1,15
Raigrás	0 a 500	0,4	500 a 700	1	> 700	1,05
Sorgo	0 a 500	0,45	500 a 700	1	> 700	1,2
Sudangrás	0 a 500	0,5	500 a 700	0,8	> 700	1
Alfalfa	0 a 500	0,4	500 a 700	0,6	> 700	0,95
Praderas Mezcla	0 a 500	0,4	500 a 700	0,8	> 700	1,05
Maíz Silo/Grano	0 a 500	0,45	500 a 700	1	> 700	1,2

El cuadro 8 indica que a medida que se incrementa la biomasa disponible el valor de kc se incrementa, al existir una mayor transpiración por unidad biomasa.

Evapotranspiración REAL (ETR) - Variable de estado del sistema: Es la evapotranspiración Real de la pastura. Es una variable de estado cuyo cálculo dependerá de la demanda del cultivo (ETPmáx) y de la variación del contenido de agua en el suelo.

Procedimiento: Para cada intervalo de tiempo simulado

$$\text{Si } P + R > \text{ETPmáx, entonces } \text{ETR} = \text{ETPmáx} \quad [\text{ec. 33}]$$

$$\text{Si } P + R \leq \text{ETPmáx, entonces } \text{ETR} < \text{ETPmáx}$$

$$\text{Si } P + R < \text{ETPmáx, entonces } P + R + (\text{AD}_t - \text{AD}_{(t-1)}) = \text{ETR} \quad [\text{ec. 34}]$$

Siendo $\text{AD}_t - \text{AD}_{(t-1)}$ la variación absoluta del agua disponible.

ETR / ETPmáx [ec. 34]: Relación entre variables de estado que mide la proporción efectiva que la pastura logra evapotranspirar, en relación a su “demanda potencial”. Escala de potrero. Es un valor índice relativo (entre 0 y 1). Este indicador se aplica como factor de corrección directo sobre la tasa de crecimiento potencial.

Cuadro N° 9: Balance de Agua para el cultivo de Maíz para ensilaje. Valores acumulados cada 10 días.

Mes	PP pr. ¹	Riego pot. ²	ETP pr.	kc pot.	ET máx pot.	P-ET P máx pot.	AD (mm) Día 0	Variación AD (mm)	ETR (mm)	ETR/ETP	
							137				
En	1	21	0	54	1	54	-33	108	-29	50	0,93
	2	17	0	54	1	54	-37	82	-26	43	0,79
	3	17	0	57	1	57	-40	61	-21	38	0,66
Feb	1	47	0	49	1	49	-2	61	-1	48	0,98
	2	10	0	40	1	40	-30	49	-12	22	0,55
	3	40	0	38	1	38	2	51	2	38	1,00
Mz	1	24	0	39	1	39	-15	45	-5	29	0,75
	2	17	0	35	1,2	42	-25	38	-8	25	0,59
	3	39	0	32	1,2	38	1	38	1	38	1,00

1. Predio. 2. Potrero.

El cuadro 9 presenta un ejemplo de la secuencia de desarrollo de esta subrutina del modelo donde el resultado final es el cálculo del factor de corrección (ETR/ETc). De esta forma, el modelo integra información de tipos de suelos, cantidad de agua disponible al inicio de la simulación, variación del contenido de agua en el suelo y permite la simulación en escenarios contrastantes de precipitaciones y demanda ambiental.

2.3.4 Factor de corrección por temperatura

En forma similar a la metodología de escenarios para régimen de lluvias (P) y evaporación (ETP), el modelo habilita a que el técnico establezca sus estrategias de simulación, para diferentes contextos de temperaturas del aire. La base de información, también corresponde a la información histórica de la estación del INIA

Las Brujas. A diferencia del régimen de lluvias en el Uruguay, las variaciones diarias de la temperatura para cada mes son sensiblemente inferiores. Los coeficientes de variación entre años, para cada una de las décadas dentro de los meses, no superan al 22%.

Debido a ello, en este caso de la temperatura, se trabajan con valores promedios, en lugar de usar mediana en los 3 percentiles en que se clasifica la información.

Del mismo modo que para las variables que afectan el balance de agua, la información se expresa cada diez días dentro de cada mes.

Dado que el crecimiento vegetal se favorece con el aumento de la temperatura, asociado a una mayor velocidad de los procesos de fotosíntesis, en este caso se definen tres escenarios, donde el percentil superior (mayores temperaturas) coincide con un escenario optimista y la menor temperatura que se simula, se identifica con un escenario pesimista, existiendo un valor intermedio entre ambos extremos. A los efectos del modelo, se ha considerado relevante simular el efecto de las bajas temperaturas como factor de corrección de la producción potencial de forraje. El modelo genera una función de corrección por efecto de la temperatura promedio del día durante los meses de marzo a octubre. En meses restantes, octubre a marzo, el factor no realiza ajustes sobre el crecimiento potencial, es decir que el factor de ajuste por temperatura es igual a uno (1). Considerando este factor el modelo le ofrece al usuario la opción de que defina el escenario más probable entre los meses de marzo a octubre.

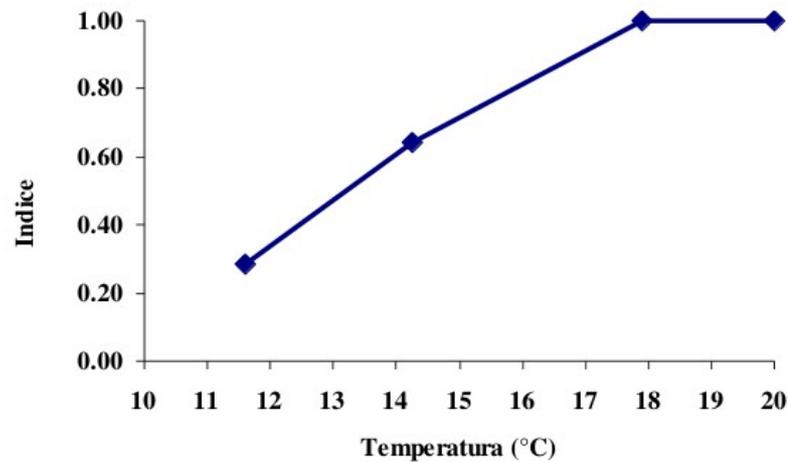
Cuadro N° 10: Valores de temperatura promedio, máximas y mínimas para el mes de junio.

Mes	Década	Escenario	Temperatura Promedio	Temperatura Máximas	Temperatura Mínimas
Junio	1	Óptimo	15,0	19,9	11,8
Junio	1	Intermedia	11,0	16,2	6,8
Junio	1	Pesimista	7,8	12,5	2,5
Junio	2	Óptimo	14,6	19,5	11,6
Junio	2	Intermedia	10,3	14,9	6,4
Junio	2	Pesimista	7,3	11,7	2,1
Junio	3	Óptimo	13,3	18,7	10,2
Junio	3	Intermedia	10,0	15,2	5,4
Junio	3	Pesimista	6,7	11,2	1,6

El cuadro 10 presenta para el mes de junio los valores de temperatura promedio, máxima y mínima, para los escenarios seleccionados. En el modelo, se corrige la tasa de crecimiento potencial de acuerdo a la opción seleccionada por técnico asesor.

Esta subrutina del modelo opera de la siguiente manera: Si se selecciona escenario mejor (óptimo) el multiplicar es 1 (no se afecta el crecimiento potencial). Si el escenario de temperatura corresponde al tercil intermedio, la tasa toma el valor (promedio) de la pastura seleccionada en el potrero. Si el escenario es pesimista, el factor de corrección se sitúa en el valor del (promedio- 1 valor de desvío). De esta forma el modelo aplica un factor de 0 a 1, de acuerdo al escenario que defina el usuario. A los efectos de su visualización gráfica, se presenta de qué forma opera el factor, sobre la tasa de crecimiento del cultivo de avena, durante el mes de mayo.

Gráfico N° 2: Efecto de la temperatura sobre el factor de corrección. Cultivo de avena, primera década del mes mayo.

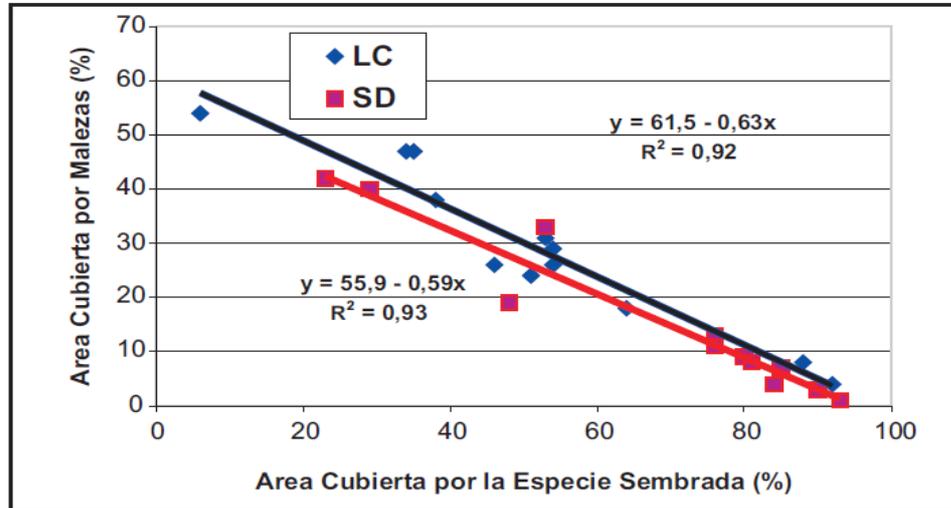


En abscisas se presenta la temperatura promedio diaria (grados centígrados) y en ordenadas el factor de corrección (0-1) por dicho efecto.

2.3.5 Factor de corrección por grado de enmalezamiento

El grado de enmalezamiento, afecta significativamente la productividad de las pasturas, tal cual se reporta en ensayos experimentales (Formoso, 2007). La información experimental a sido cuantificada para las condiciones de verdeos de invierno y praderas de 1° y 2° año (Formoso, 2007). El modelo propone una generalización de estas respuestas para todas las posibles pasturas que se incluyen en la etiqueta de selección de pastura a cada potrero, a excepción de los verdeos de verano. Para este factor de producción, el técnico ingresa una calificación agronómica del grado de cobertura del suelo con la/s especie/s de interés.

Gráfico N° 3: Relación entre el área cubierta por la especie sembrada y el área cubierta por malezas.

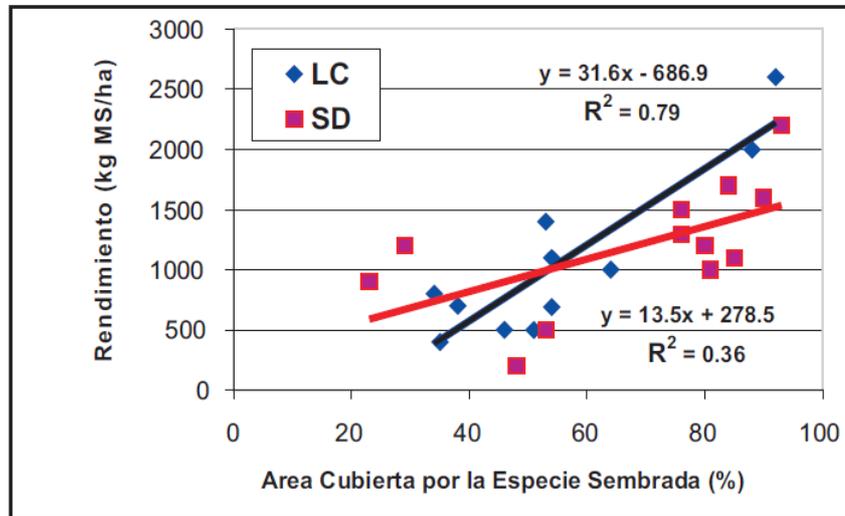


Fuente: Formoso, F. 2007

LC: Implantación a través de laboreo convencional. SD: Implantación en siembra directa.

La información se documenta para diferentes metodologías de implantación de pasturas, bajo forma de siembra directa y laboreo convencional. El gráfico 3 indica que en la medida que área cubierta por la especie de interés aumenta, disminuye el área ocupada por las malezas. A su vez, el gráfico 3 indica la relación entre el rendimiento de forraje asociada a una mejor cobertura del suelo de la o las especie/s de interés.

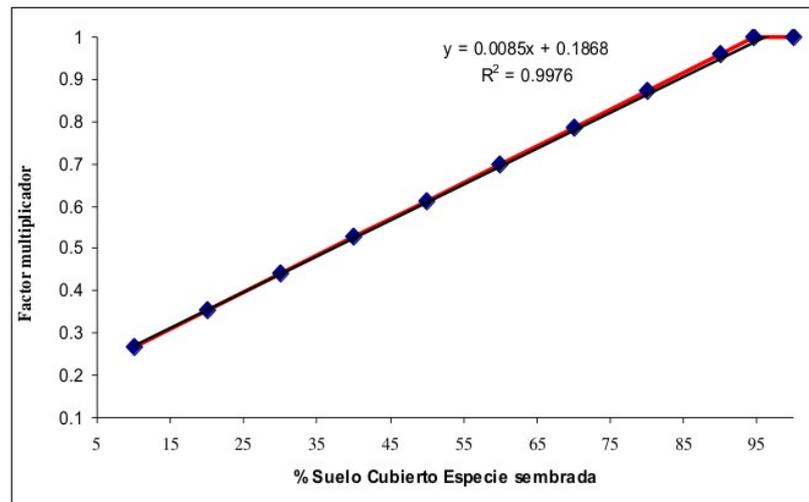
Gráfico N° 4: Relación entre el área cubierta por la especie sembrada y el rendimiento de la pastura de acuerdo a la metodología de siembra empleada.



Fuente: Formoso, F. 2007.

Utilizando las ecuaciones reportadas por Formoso (2007) se generan los valores de las tablas de los cuadros 11 y 12. El modelo utiliza diferentes ecuaciones de acuerdo al método de siembra empleada, información que dispone el técnico asesor.

Gráfico N° 5: Relación entre porcentaje del suelo cubierto por la especie forrajera y factor multiplicador de la tasa de crecimiento potencial. Siembra directa.



La ecuación que estima el factor de reducción asociado al efecto de las malezas sobre la tasa de crecimiento potencial es:

$$y_t = 0,1868 + 0,0085x_t \quad [\text{ec. 35}]$$

Donde:

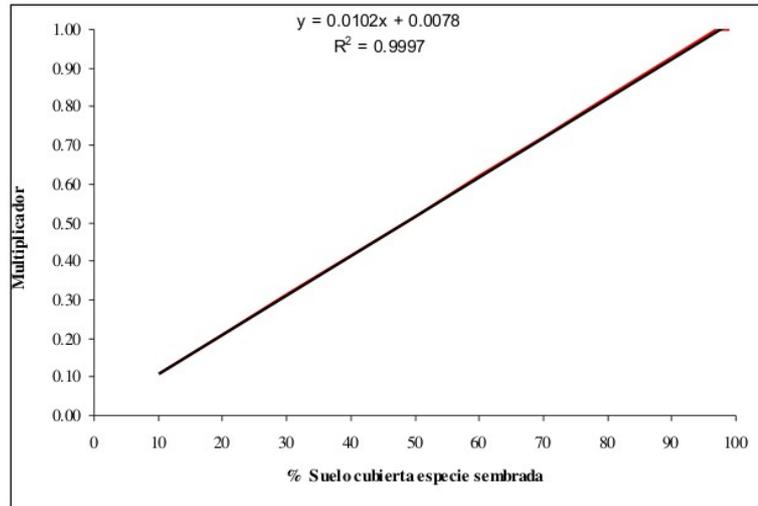
x: Porcentaje de suelo cubierto por la/s especies sembradas de interés. Valor ingresado por el técnico cuando evalúa el sistema de producción.

y: es el factor multiplicador con valores entre 0 y 1, en pasturas sembradas en forma directa.

Cuadro N° 11: Factor multiplicador por efecto área cubierta, aplicado en el modelo. (Siembra Directa).

% Área Cubierta Especie Sembrada	Multiplicador
100	1,00
94,5	1,00
90	0,96
80	0,87
70	0,79
60	0,70
50	0,61
40	0,53
30	0,44
20	0,35
10	0,27

Gráfico N° 6: Relación entre porcentaje del suelo cubierto por la especie forrajera y factor multiplicador de la tasa de crecimiento potencial. Siembra convencional y mínimo laboreo.



La ecuación que estima el factor de reducción asociado al efecto de las malezas sobre la tasa de crecimiento potencial es:

$$y_t = 0,0078 + 0,0102x_t \quad [\text{ec. 36}]$$

Donde:

x: porcentaje de suelo cubierto por la/s especies sembradas de interés. Valor ingresado por el técnico cuando evalúa el sistema de producción.

y: es el factor multiplicador con valores entre 0 y 1, en pasturas sembradas en forma convencional y/o mínimo laboreo.

Cuadro N°12: Factor multiplicador por efecto área cubierta, aplicado en el modelo (Siembra convencional y mínimo laboreo).

% Área cubierta especie sembrada	Multiplicador
99	1,00
97	1,00
90	0,93
80	0,83
70	0,72
60	0,62
50	0,52
40	0,42
30	0,31
20	0,21
10	0,11

El técnico asesor, cuando ingresa la lista de potreros debe seleccionar para el método de siembra empleado.

2.3.6 Factor de corrección por disponibilidad de forraje

El índice de área foliar afecta la eficiencia de intercepción de luz y la tasa de acumulación neta (fotosíntesis - senescencia) también es afectada por la disponibilidad de biomasa (Dogliotti, 2010, com. pers.). Dada la importancia de este factor de manejo, en términos de aplicabilidad tecnológica de estos fundamentos fisiológicos, en el modelo se agrega este factor como modificador de la tasa potencial de crecimiento vegetal.

La disponibilidad de forraje es una variable de estado, de la que el técnico indica su valor inicial al momento de evaluar las diferentes opciones tácticas y operacionales. Cuando se realiza la evaluación de cada pastura en el potrero, se ingresa la disponibilidad de forraje, en kilos de materia seca por hectárea. En esta subrutina del modelo se utilizan 2 ecuaciones. Las ecuaciones han sido elaboradas a partir de información generada en el proyecto conjunto entre UDELAR-EEMAC y CONAPROLE reportada por Chilibroste et al. (2003).

La primera ecuación se aplica para pasturas mezcla y verdes de invierno. La ecuación es la siguiente:

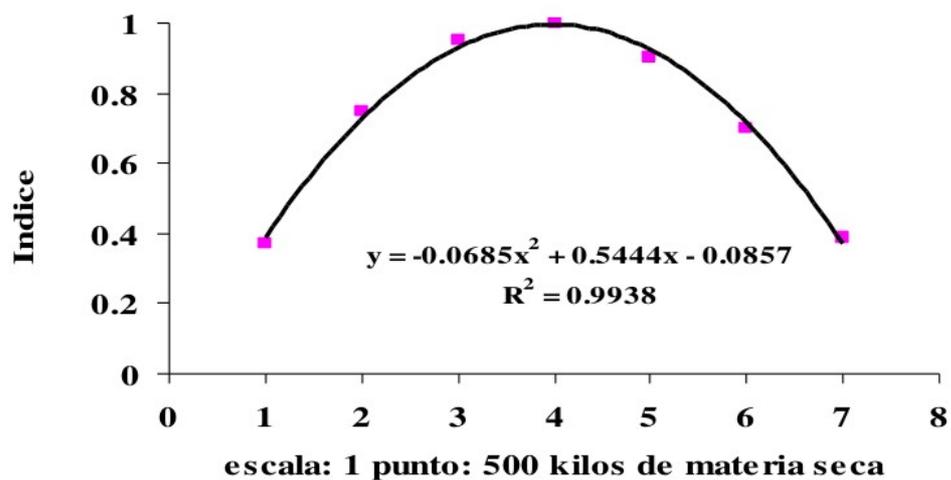
$$y_{ti} = -0,0685x^2 + 0,5444x - 0,00857 \quad [\text{ec. 37}]$$

Donde:

x: es el valor de disponibilidad de forraje en el tiempo t y en el potrero i.

y: el factor multiplicador por este efecto entre 0 y 1.

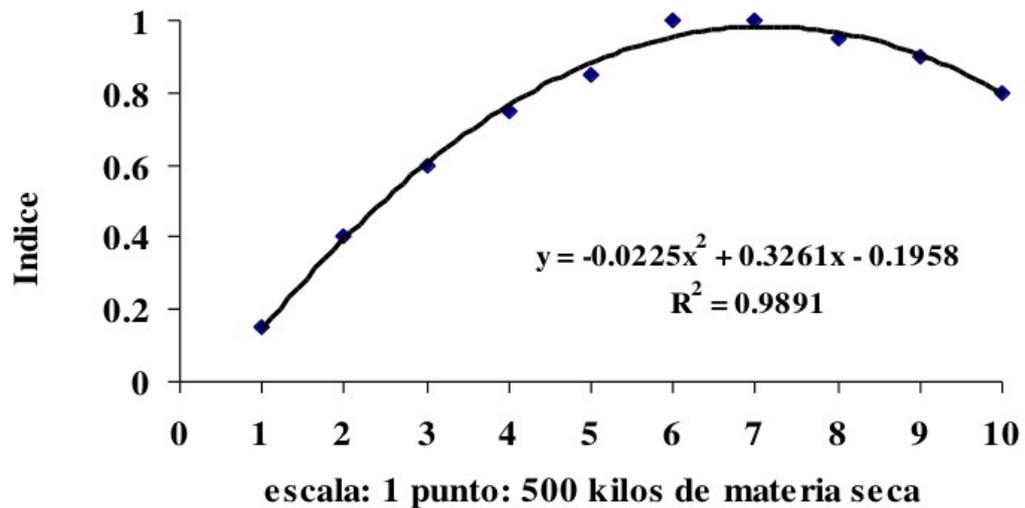
Gráfico N° 7: Relación entre disponibilidad y factor multiplicador de la tasa de crecimiento potencial. Valor aplicable a verdes y praderas plurianuales.



Cada punto en abscisas corresponde a un rango de 500 kilos de materia seca, Correspondiendo el valor 1 a un rango de 0 a 500 kilos de materia seca por hectárea,

observándose el valor máximo entre 1500 a 2000 kilos por hectárea.

Gráfico N° 8: Relación entre disponibilidad y factor multiplicador de la tasa de crecimiento potencial en alfalfa



La ecuación es la siguiente:

$$y_{ii} = -0,0225x^2 + 0,3261x - 0,1958 \quad [\text{ec. 38}]$$

Donde:

x: es el valor de disponibilidad de forraje en el tiempo t y en el potrero i.

y: el factor multiplicador por este efecto entre 0 y 1.

En el caso de pasturas de alfalfa el valor máximo se observa a partir de los 2500 kilos de materia seca por hectárea, comenzando a declinar a partir de los 3000 kilos.

A manera de síntesis, el submodelo Vegetal se desarrolla en base a una producción potencial que se ubica en el valor del promedio +1 desvío como valor de máxima expresión de potencial de crecimiento. En el mismo sentido, el sub - modelo Vegetal, integra 4 factores que actúan en forma multiplicativa sobre el crecimiento potencial de las diferentes opciones forrajeras almacenadas en el modelo. El técnico asesor, cada vez de realiza la gestión en el sistema de producción debe actualizar el estado de las variables, registrando para cada potrero la disponibilidad de forraje y el grado

de enmalezamiento del mismo, estimación del nivel de agua disponible en el perfil del suelo.

2.4 SUBMODELO INTERFASE ANIMAL-VEGETAL

2.4.1 Manejo de potreros

2.4.1.1 Uso de potreros

El modelo despliega las opciones que el usuario dispone para caracterizar en cada simulación de interés el estado inicial de las pasturas en cada potrero a los efectos de evaluar decisiones tácticas y operacionales.

Los posibles estados iniciales de cada potrero son:

Pastoreo: Se asignan potreros a cada lote animal con destino a ser pastoreados.

Reservas de Forraje: El modelo programa el crecimiento de la pastura, pero no se permite el ingreso de animales a pastorear. Simula el crecimiento de la pastura seleccionada en ese potrero.

Corral (“piso de manejo”): El usuario puede seleccionar esta opción, cuando está asignando un potrero/s a un lote/s animal y lo que se expresa es la decisión de uso como lugar físico de suministro de alimentos conservados (reservas de forrajes y/o concentrados).

En este caso el modelo asume que en ese potrero no hay crecimiento de la pastura y por lo tanto el aporte al animal por concepto de pastoreo es nulo.

Transición: Esta definición se selecciona para potreros donde se encuentran en etapa de barbecho. El concepto a aplicar en esta situación es que se trata de un área donde no hay forraje disponible, y el crecimiento para el máximo período simulado es cero y/o mínimo, por lo que no está disponible para acceder al pastoreo, ni como lugar de suministro de reservas. Para cada potrero se debe ingresar el tipo de suelo y la

distancia a la sala de ordeño, que son elemento que se utilizan para los cálculos del modelo.

2.4.1.2 Selección de pastura

Dentro de cada potrero, y para las opciones seleccionadas como pastoreo, reservas de forraje y potrero en transición, se despliega una tabla de opciones forrajeras. El usuario selecciona la composición de la/s especie/s que contiene el potrero. El modelo ya selecciona el valor nutritivo promedio de la pastura seleccionada (tabla interna).

2.4.1.3 Metodología de siembra empleada

Se ofrecen tres opciones: Siembra Directa, Mínimo laboreo, Siembra convencional. El usuario selecciona la forma de siembra del potrero.

2.4.1.4 Disponibilidad inicial de pastura

Para cada potrero, dentro de las opciones preseleccionadas como pastoreo, reservas de forraje y transición, se ingresa como variable inicial. En el modelo la variable disponibilidad es una variable de estado, dicho valor se expresa en kilos por hectárea de materia seca (kg MS/ha).

2.4.2 Limitadores de manejo del pastoreo

Se debe ingresar cual es la disponibilidad de forraje requerida para que los animales ingresen y egresen en los diferentes potreros seleccionados.

El técnico debe indicar, para cada potrero a partir de cuantos kilos de materia seca

por hectárea el lote puede ingresar al pastoreo, expresados en kilos de materia seca por hectárea. También se ingresa la cantidad de forraje remanente posterior al pastoreo (área foliar remanente), que afecta la velocidad de rebrote de las pasturas (variable de estado: efecto de la disponibilidad inicial sobre la tasas de crecimiento real de las pasturas). De esta forma el modelo simulará, el tiempo de permanencia en cada potrero del lote animal seleccionado.

2.4.3 Asignación de pasturas

En este capítulo, el usuario comienza a definir la relación entre requerimientos animales y la oferta de alimentos provenientes del pastoreo. El usuario ingresa la asignación de forraje, expresada en kilos de materia seca por vaca y por día, para cada uno de los lotes animales definidos previamente. Unidades de asignación pastura (AP).

2.4.4 Asignación de reservas forrajeras y complementos

Las reservas de forraje y complementos se seleccionan de tabla desplegable, que contiene información de densidad de energía y proteína y estimación de tasas de degradación y pasaje. La asignación se expresa en kilos de materia seca por vaca y por día. En próximas ediciones se agregará la opción de que el usuario asigne un porcentaje de utilización para representar diferentes formas y eficiencias de suministro.

2.4.5 Algoritmos del submodelo interfase animal vegetal

2.4.5.1 Vinculación Asignación-Consumo

El consumo en pastoreo es un elemento multifactorial, donde se puede expresar

como la resultante de la interacción de la asignación de forraje, la estructura de la pastura y el comportamiento animal (Galli et al., 1998). El peso del bocado y las dimensiones del mismo, se vinculan directamente con la tasa de consumo dentro de una estación o sitio de pastoreo. Luego la integración del número de sitios de pastoreos, en función del tiempo de pastoreo diario, determina el consumo diario del rodeo lechero.

Los niveles de sustitución-adición o la eventual interfase entre ambos elementos están ocurriendo como consecuencia de la asignación, accesibilidad de capturar el forraje, del tipo y nivel de suplementos utilizados.

De acuerdo a la revisión de antecedentes consultados, no se dispone de antecedentes experimentales, en Uruguay, que documenten estas relaciones funcionales para las diferentes pasturas del país. Experimentos analíticos de corto plazo, desarrollados en EEMAC (Chilibroste, 2010, com. pers.) indican que el animal adapta su comportamiento ingestivo de acuerdo a la asignación de forraje, al tiempo de pastoreo, al número de pastoreos por día y a la asignación instantánea. Información experimental a nivel internacional revisada, indica algunos valores umbrales o límites que no necesariamente coinciden con nuestros sistemas productivos, dentro de los cuales se resaltan: en general los rangos de asignación de forraje en pastoreo son significativamente mayores (Bargo, 2003), y se ha reportado estructuras de las pasturas también muy diferentes. Información reportada de Delagarde y O'Donovan (Delagarde et al., 2005) en dos modelos de pastoreo, indican que existe una relación positiva y lineal entre tiempo de pastoreo (horas) y consumo de forraje, hasta 8 horas diarias de pastoreo.

En los sistemas lecheros de Uruguay se utilizan una gran diversidad de especies en las pasturas sembradas (Durán, 1983). El manejo del pastoreo más frecuente en los sistemas lecheros del Uruguay implica la realización de uno o dos pastoreos diarios con asignaciones variables entre turnos de pastoreo. En invierno, es frecuente la realización de un solo turno de pastoreo, donde se combinan con la asignación de

reservas de forraje y suplementos para cubrir la demanda animal. En las estaciones de mayores tasas de crecimiento, es más frecuente la presencia de dos turnos de pastoreo, que en general logran acceder a las pasturas por tiempos mayores.

En resumen en nuestras condiciones, la combinación del pastoreo directo, con el aporte de reservas forrajeras y suplementación es variable tanto en cantidad, calidad y distribución a lo largo del año.

Para el presente modelo se ha optado por una ecuación que integra el peso vivo de la vaca, la asignación de forraje diaria y el aporte de suplementos de forma de que pueda expresar en términos cuantitativos las relaciones funcionales y/o el contexto en el cual opera el modelo.

La ecuación seleccionada ha sido reportada por Caird and Holmes (1986):

$$CT = 0,32 + (PV/100) + 0,18PL + 0,54AP - 0,006AP^2 + 1,64CC - 0,048CC \cdot AP$$

[ec. 39]

Donde :

CT: Consumo total expresado en kilos de materia seca por vaca por día.

PV: Peso vivo actual

PL: Producción real de leche, el litros por vaca y por día.

AP: asignación de pastura, expresado en kilos de materia seca por vaca por día.

CC: consumo de concentrado, expresado en kilos de materia seca por vaca por día.

CC.AP: Representa la interacción entre estas variables de manejo.

Ámbito de aplicabilidad:

Cuando $AP > 18$ kg: $Asig \geq 18$ kg de MS/VO/d [ec. 40]

Proceso de cálculo:

Si aplicada la fórmula de Caird and Holmes, el consumo de pastura resulta mayor a la asignación de pastura, entonces, recalcula el consumo de pastura como:

$$CP = AP \cdot 0,47[\text{ec.41}]$$

Donde:

CP: Consumo de pastura

El coeficiente 0,47 es la pendiente de regresión lineal cuantificada por Chilibróste et al. (2003), en relevamiento en predios lecheros comerciales en períodos de otoño-invierno para nuestras condiciones.

Se definió que el límite de asignación de 18 kilos por vaca por día, conceptualmente estaría representando el valor a partir del cual el mecanismo de sustitución de concentrado por pasturas podría empezar a operar en nuestras condiciones. Asignaciones superiores a 18 kilos en otoño-invierno no son muy frecuentes en los sistemas de Uruguay, donde se asigna una mayor suplementación con reservas y/o concentrados. En cambio en primavera, eventualmente en parte del verano, las asignaciones se incrementan por mayores tasas de crecimiento y en general mayores disponibilidades de biomasa.

El otro elemento que definió la utilización de la ecuación ecuación 41 propuesta (Chilibróste et al., 2003), obedece a que fue generada para una amplia combinación de verdeos de invierno y praderas permanentes de diferentes composiciones botánicas constituyendo además la primer información nacional reportada para una diversidad amplia de situaciones reales de producción.

2.4.5.2 Consumo total de materia seca y nutrientes

El consumo total está compuesto por la suma total de consumo de pasturas, reservas forrajeras y complementos. El consumo de energía y proteína se calcula a partir de los kilos de materia consumida de cada componente de la dieta multiplicado por la

densidad de nutrientes de los mismos. El modelo realiza un balance nutricional a nivel de los principales macronutrientes, energía y proteína, sin considerar balance de minerales, ni de aminoácidos, dado que el objetivo del mismo no es disponer de una herramienta de ajuste de dieta para lo cual se disponen de otras herramientas especializadas.

2.5 SALIDAS DEL MODELO

Para cada simulación, el modelo genera un archivo Excel listando los resultados que el usuario puede seleccionar para archivar y posterior análisis y síntesis de información.

Listado 1: Se reporta en base diaria la producción de leche potencial y producción de leche real por vaca, asignación de pastura, consumo de pastura, reservas y complementos, peso vivo, condición corporal.

Listado 2: Producción de materia seca por hectárea y por día de cada potrero.

Listado 3: Requerimientos por vaca de energía y proteína, aporte de energía y proteína proveniente de los alimentos y aporte de energía proveniente de la movilización de reservas corporales. Además se registra el cambio diario del peso vivo y la condición corporal de la dieta suministrada.

Listado 4: Para potreros que se pretende simular el impacto del riego en diferentes pasturas, suelos, condiciones ambientales, se genera un reporte con la cantidad de agua ingresada al suelo a través de la precipitación, del riego, la demanda el cultivo (ETP_{máx}, ETR) a los efectos de poder simular el impacto del uso del riego sobre la producción de forraje.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El capítulo se divide dos secciones: en la primera se presentan diferentes escenarios de manejo y/o condiciones ambientales en las que se simula la producción de biomasa de pasturas utilizadas frecuentemente en los sistemas de producción de leche. En la segunda parte, se documentan experimentos que enfocan el análisis de la interfase planta – animal. Los experimentos seleccionados para presentar el funcionamiento del modelo, representan condiciones frecuentes de manejo de la alimentación, asignación de pastura y suplementación con reservas y concentrados en sistemas comerciales de producción de leche.

3.1 EXPERIMENTOS DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE

3.1.1 Efecto de condiciones de balance hídrico y temperaturas en otoño-invierno

En este capítulo se presenta la información de diferentes combinaciones de escenarios de balance hídrico en marzo, y del efecto conjunto de temperatura y balance hídrico sobre el crecimiento de las pasturas.

3.1.1.1 Experimento “Verdeos Invierno I”

Situación simulada:

Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4

Agua disponible inicial en el perfil del suelo: 50 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 30.

Fecha: Inicio 1 de marzo. Finaliza: 31 de marzo

Especie: Avena.

Grado de Enmalezamiento: 0 %

Disponibilidad Inicial: 100 kilos de materia seca por hectárea.

Preguntas a responder: ¿Cuál es la producción de materia seca a intervalos de 10 días y dentro de 30 días para las 3 condiciones ambientales simuladas?

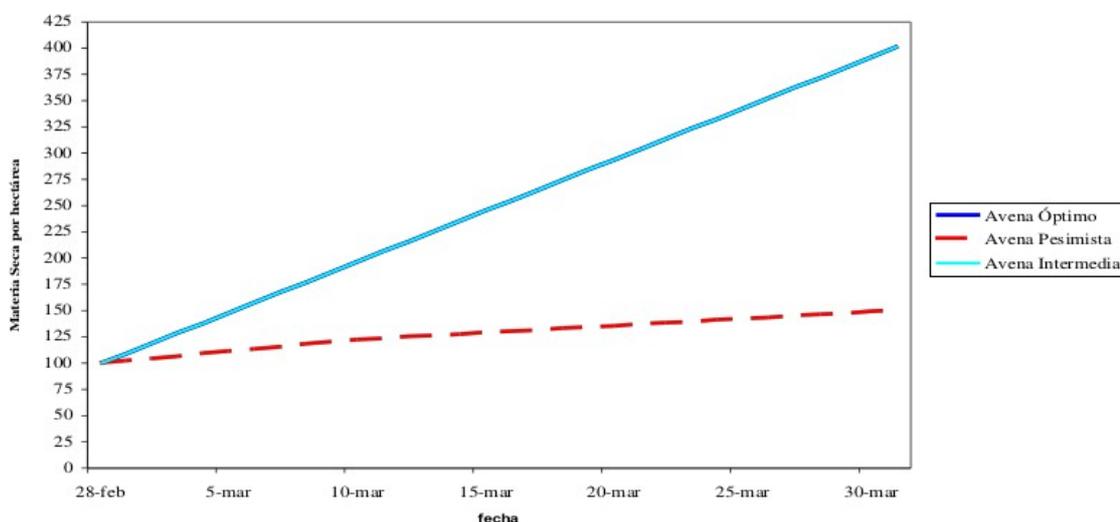
En el cuadro 13, se presenta las condiciones o escenarios que el técnico selecciona en función de los que el modelo lee los valores mediana de lluvias y los promedios de la demanda atmosférica. El mejor escenario del mes de marzo se corresponde con valores superiores de lluvias respecto a la evapotranspiración, en la situación intermedia la relación es más próxima a condiciones de déficit hídrico, y la situación inferior es un escenario de déficit hídrico severo, limitando en forma significativa el crecimiento vegetal.

Cuadro N° 13: Valores climáticos (mediana) que utiliza el modelo.

Mes	rango días	Escenario	Lluvia	ETP	Lluvia - ETP
Marzo	1 al 10	O	62	35	27
Marzo	1 al 10	I	21	39	-18
Marzo	1 al 10	P	4	43	-39
Marzo	11 al 20	O	42	29	13
Marzo	11 al 20	I	15	34	-19
Marzo	11 al 20	P	2	37	-35
Marzo	21 al 31	O	82	28	54
Marzo	21 al 31	I	37	32	5
Marzo	21 al 31	P	3	37	-34

Tratamientos : O: escenario Óptimo; I: intermedio y P: pesimista

Gráfico N° 9: Evolución de la producción de materia seca de avena, de acuerdo a las tres condiciones ambientales simuladas durante el mes de marzo.



Cuadro N° 14: Evolución de la producción de materia seca en avena, en las tres condiciones ambientales contrastantes. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Condición	Inicial	10-mar	20-mar	31-mar
O	100	197	294	402
I	100	197	294	402
P	100	122	135	150

Como se observa en el gráfico 9 y cuadro 14, la producción acumulada en condiciones óptimas e intermedias, en términos de balance hídrico, son iguales entre sí aunque superiores en relación a condiciones de balance hídrico desfavorables (menores precipitaciones durante el mes).

La similitud del resultado en las condiciones óptimas e intermedia se deben a que el cultivo se encuentra en etapas iniciales de crecimiento, estando operando en el modelo el efecto de la disponibilidad inicial sobre la tasa de crecimiento. Además la

demanda por agua del cultivo es baja en esta etapa, de acuerdo a la disponibilidad de forraje.

3.1.1.2 Experimento “Verdeos Invierno II”

Situación simulada:

Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4

Agua disponible en el perfil del suelo: 50 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 90

Fecha: Inicio 1 de marzo. Finaliza: 31 de mayo

Especie: Avena.

Grado de Enmalezamiento: 0 %

Disponibilidad Inicial: 100 kilos de materia seca por hectárea.

Preguntas a responder con el modelo: de acuerdo a las condiciones ambientales de la estación, ¿cuál es la fecha probable para ingresar a pastorear? fijando un mínimo de: 1400 kilos de materia seca por hectárea.

Cuando se simula para un período de 30 días y el valor final obtenido pasa a ser el valor inicial de los siguientes 30 días durante la estación de otoño, tenemos 27 resultados finales posibles que representan el conjunto de interacciones de condiciones ambientales ocurridas en cada mes. En el cuadro 15, se representa las combinaciones de resultados de producción de forraje producido en el mes de mayo, de acuerdo a condiciones ambientales simuladas del período marzo-abril.

Cuadro N° 15: Evolución de la producción de materia seca en avena, durante el mes de mayo, para condiciones contrastantes durante marzo abril y mayo. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Combinación	Condiciones	1-5	5-5	10-5	15-5	20-5	25-5	31-5
1	IOO	1397	1501	1640	1779	1918	2053	2208
2	OOO	1397	1501	1640	1779	1918	2053	2208
3	IOI	1397	1463	1549	1638	1727	1816	1923
4	OOI	1397	1463	1549	1638	1727	1816	1923
5	OOP	1397	1397	1397	1406	1416	1426	1438
6	IOP	1397	1397	1397	1404	1414	1424	1436
7	IIO	883	964	1083	1213	1343	1473	1639
8	OIO	883	964	1083	1213	1343	1473	1639
9	III	883	935	1000	1083	1167	1250	1350
10	OII	883	935	1000	1083	1167	1250	1350
11	OIP	883	883	883	890	898	906	915
12	IIP	883	883	883	889	896	904	913
13	POO	843	924	1032	1162	1292	1422	1584
14	POI	843	843	843	849	856	864	873
15	POP	843	843	843	849	856	864	873
16	PIO	478	531	633	735	837	938	1078
17	PII	478	505	571	636	701	766	845
18	PIP	478	478	478	487	499	508	519
19	IPO	477	530	632	734	836	937	1071
20	OPO	477	530	632	734	836	937	1071
21	OPI	477	517	583	648	713	779	857
22	IPI	477	504	570	635	700	765	844
23	IPP	477	477	477	488	500	509	520
24	OPP	477	477	477	486	498	507	518
25	PPO	225	268	323	377	432	486	590
26	PPI	225	252	287	322	357	392	434
27	PPP	225	225	225	234	246	258	272

Nota: Las condiciones se expresan en una letra para cada período. Ejemplo la combinación 2: OOO representa condiciones óptimas para marzo, abril y mayo

respectivamente

Del cuadro 15, se desprenden los siguientes comentarios:

- a) Existen 6/27 situaciones donde la disponibilidad de forraje al 1 de mayo, son adecuadas para iniciar el pastoreo, o aun previamente al 1° de mayo (definiendo un valor mínimo de ingreso a pastoreo con disponibilidad de 1350-1400 kilos).
- b) Si la disponibilidad de materia seca se encuentra por encima de los 800 kilos y por debajo de los 1000 kilos por hectárea al 1° de mayo, se requieren condiciones ambientales muy favorables para poder ingresar a pastorear dentro del mes de mayo. (Combinaciones 7, 8, 9, y 10).
- c) Si la disponibilidad de forraje inicial (1° de mayo) no alcanza los 500 kilos por hectárea, no se logra acumular forraje para un ingreso de los animales a pastoreo en condiciones de “mínima disponibilidad inicial” del entorno de los 1200 kilos de forraje. Aunque se simulen condiciones óptimas en mayo (combinación 25), dado el escaso crecimiento de la pastura durante marzo y abril, solamente se obtendrían 590 kilos de materia el último día de mayo.
- d) El crecimiento en mayo y las oportunidades de ingresar a pastorear, son claramente determinadas de cuales son las condiciones ambientales en los 60 días previos (condiciones de implantación y balance de agua del suelo).

3.1.1.3 Experimento “Praderas Permanentes I”

Situación simulada:

Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil N° L27-4

Agua disponible en el perfil del suelo: 50 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 30.

Fechas: Inicio 1 de marzo. Finaliza: 31 de marzo

Especies: Ia: Praderas de trébol blanco+ lotus+festuca de 2° y 3° año.

Ib: Praderas alfalfa de 2° y 3° año.

Grado de Enmalezamiento: 0 %

Disponibilidad Inicial: 600 kilos de materia seca por hectárea (todos los casos).

Preguntas a responder: ¿Cuál es la producción de materia seca a intervalos de 10 días y dentro de 30 días para las 3 condiciones ambientales simuladas?. Ver cuadro número 20.

Gráfico N° 10: Evolución de la producción de materia seca en praderas de 2° y 3° año, de acuerdo a las condiciones ambientales durante el mes de marzo.

Composición botánica: trébol blanco + lotus + festuca.

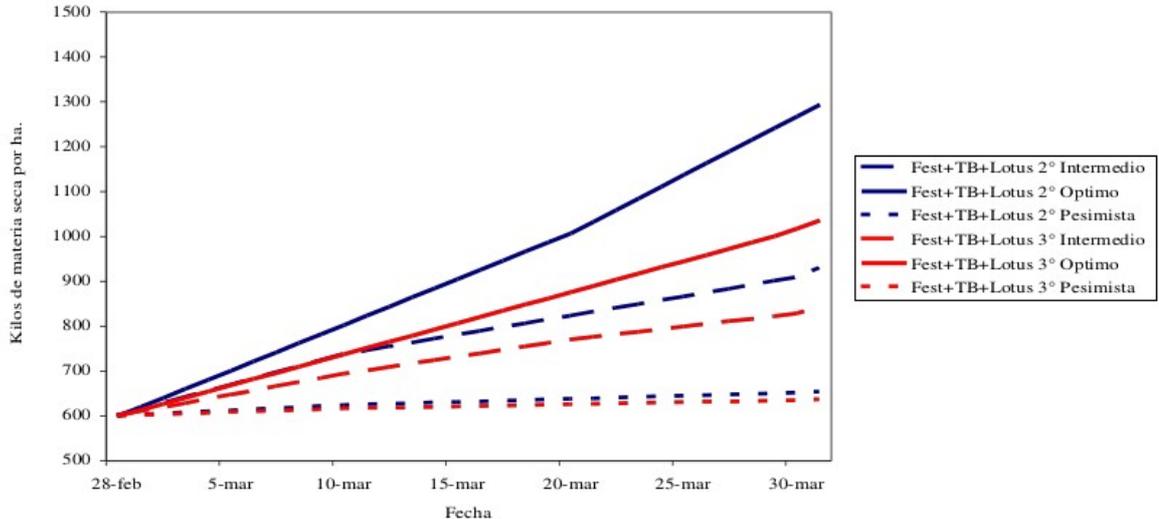
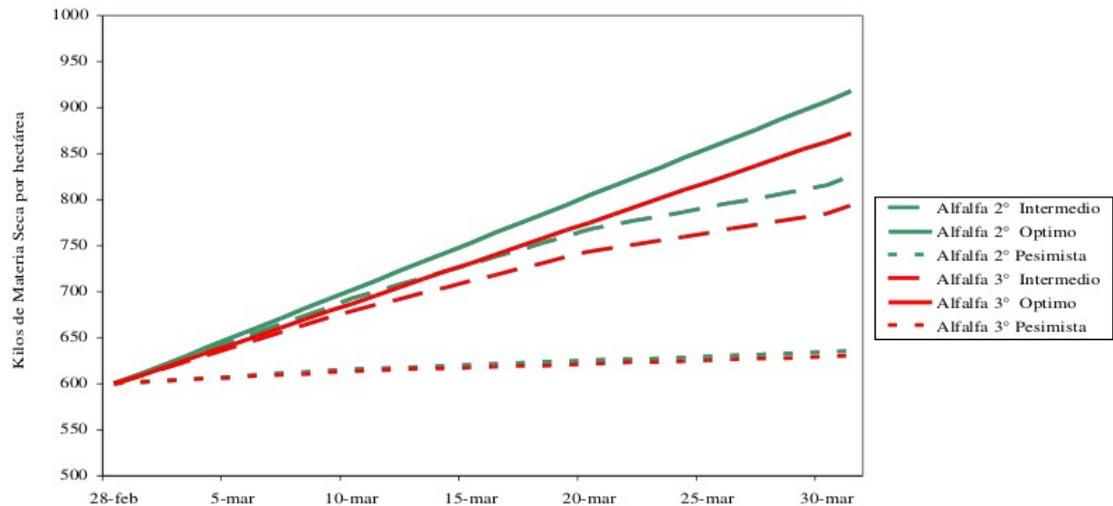


Gráfico N° 11: Evolución de la producción de materia seca en Alfalfa de 2° y 3° año, de acuerdo a las condiciones ambientales.



Los gráficos 10 y 11 representan la producción de biomasa en los 3 escenarios ambientales indicados en el Cuadro 13.

- a) El crecimiento de las pastura mezcla de especies de 2° año, es superior a las de 3° año. En el caso de la alfalfa pura ocurre similar tendencia, pero la diferencia entre el mejor escenario y el intermedio es algo menor.
- b) En las 2 pasturas, independiente del año de siembra, cuando las condiciones son muy desfavorables (pesimista), el crecimiento es muy reducido, limitado por la falta de agua.
- c) Para ninguna de estas mezclas forrajeras y edades de las mismas, partiendo de una disponibilidad de 600 kilos por hectárea, se logra una producción de biomasa que alcance un umbral de pastoreo de 1500 kilos, al finalizar el mes de marzo.
- d) La producción de forraje en el mes de marzo, depende de disponibilidad de forraje de la cual se culmina el verano. La disponibilidad inicial afecta la tasa de crecimiento, además de las condiciones hídricas. Condiciones ambientales y/o manejos estivales que generen condiciones de menor disponibilidad a inicios de

marzo, comprometen las posibilidades de acumulación de biomasa.

3.1.1.4 Experimento “Praderas Permanentes II”

Situación simulada:

Tipo de Suelo : Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4

Agua disponible en el perfil del suelo: 50 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 30.

Fecha: Inicio 1 de mayo. Finaliza: 31 de mayo

Especies: Ia: Praderas de trébol blanco+Lotus+festuca de 2º año.

Ib: Praderas alfalfa de 2º año.

Grado de Enmalezamiento: 0 %

Disponibilidad Inicial: **Variable**, como consecuencia de escenarios previos de marzo y abril. Preguntas a responder: ¿Cuál es la producción de materia seca en mayo de acuerdo a las condiciones ambientales previas durante marzo y abril?

Para el caso de estas mismas praderas, pero presentando la información solamente para las de segundo año. Los valores iniciales en mayo, son los valores extremos acumulados durante marzo y abril, para las condiciones ambientales simuladas extremas e intermedias.

Cuadro N° 16: Evolución de la producción de materia seca en pradera de 2° año, en los tres escenarios del mes de mayo, según las condiciones durante marzo abril. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Escenario	1	10	20	31	Crecimiento	Crecimiento/día
O	2207	2440	2679	2901	694	23,1
I	1591	1753	1950	2111	520	17,3
P	1093	1126	1202	1284	191	6,4

Del cuadro 16, se observa que:

- a) En un escenario de óptimas condiciones ambientales durante marzo –abril, la disponibilidad inicial en mayo es de 2207 kilos, y manteniendo estas mismas condiciones, se logra una tasa de crecimiento de 23 kilos de materia por día y por hectárea.
- b) En condiciones intermedias, se inicia la simulación con casi 1600 kilos, y se logra una tasa de crecimiento de 17 kilos por día.
- c) En el extremo inferior, donde se simula condiciones de pronunciado déficit hídrico para el crecimiento de la pastura, se obtienen tasas de 6,4 kilos por día y no llegaría a un umbral de ingreso a pastoreo, por ejemplo de 1500 kilos de forraje disponible.

El cuadro 17, presenta similar información, pero para una pastura de alfalfa pura, de segundo año.

Cuadro N° 17: Evolución de la producción de materia seca de alfalfa de 2° año, durante el mes de mayo, agrupados de acuerdo a condiciones contrastantes durante marzo abril y mayo. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Condición	1	10	20	31	Crecimiento mayo	Crecimiento/día
O	1244	1359	1494	1666	422	14,1
I	984	1035	1103	1177	193	6,4
P	763	777	801	825	62	2,1

Para el caso de la alfalfa, se observa similar tendencia, pero con menores tasas de crecimiento diario, y por ende con menores posibilidades de lograr una acumulación de biomasa con posibilidades de ingresar a pastorear durante el mes de mayo.

Si se compara las diferencias de producción entre los tipos de pasturas de segundo año, se resalta una mayor producción de forraje para el caso de la pradera mezcla, dado el ciclo estacional de las especies invernales (festuca y t.blanco), en relación a la producción de alfalfa pura. En el caso de pasturas de alfalfa, las condiciones ambientales de marzo y abril son relevantes para definir si este tipo de pastura puede realizar contribuciones de forrajes en el período invernal.

3.1.1.5 Experimento “Praderas Permanentes III”

Situación simulada:
Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4
Agua disponible en el perfil del suelo: 50 % Máximo AD (112 mm)
Días simulados: 60.
Fecha: Inicio 1 de marzo. Finaliza: 30 de abril

Especies: Ia: Praderas de trébol blanco+lotus+festuca de 2° año.

Ib: Praderas alfalfa de 2° año.

Grado de Enmalezamiento: 0 %

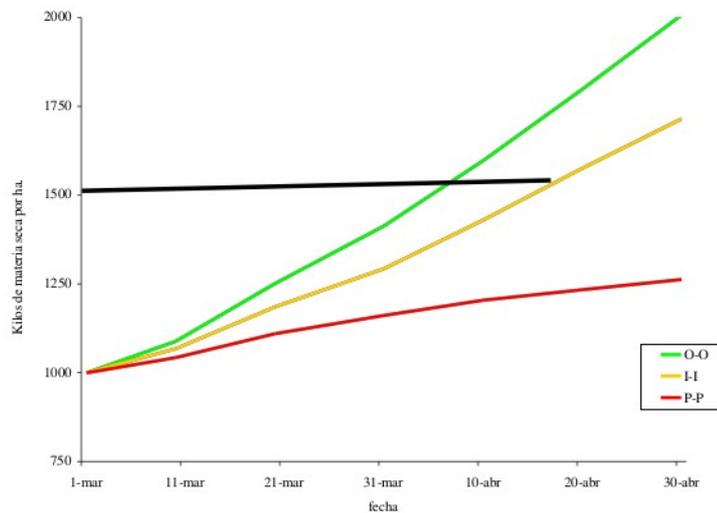
Disponibilidad Inicial: Ia: 800 kilos de materia seca por hectárea.

Ib: 1000 kilos de materia seca por hectárea

Preguntas a responder: ¿Cuál es la producción de materia seca a intervalos de 10 días y dentro de 60 días para las 3 condiciones ambientales simuladas? ¿Fecha umbral para ingresar a pastoreo de acuerdo a un límite definido por el usuario?

Los gráficos 12 y 13, representan el resultado de una simulación de 60 días, donde se cuantifican 3 escenarios ambientales contrastantes, durante el crecimiento de marzo y abril.

Gráfico N° 12: Evolución de la producción de materia en alfalfa de 2° año, en simulación de 60 días, de acuerdo a condiciones ambientales contrastantes período marzo y abril.



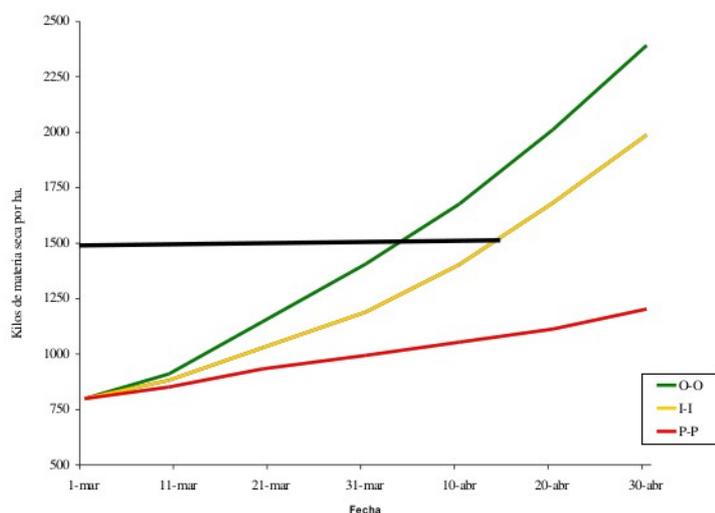
Cuadro N° 18: Evolución de la producción de materia seca de alfalfa de 2° año, durante marzo y abril, de acuerdo a condiciones ambientales contrastantes. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Inicial	10-mar	20-mar	31-mar	10-abr	20-abr	30-abr
OO	1000	1089	1251	1414	1598	1799	2007
II	1000	1068	1185	1293	1430	1576	1715
PP	1000	1043	1110	1162	1205	1234	1263

Del gráfico 12 y del cuadro 18, se destaca:

- a) En el escenario extremo inferior (déficit hídrico marzo y abril) y bajas temperaturas en abril, no se logra acumular 1500 kilos (umbral de ingreso a pastoreo). Por lo cual en pasturas de alfalfa, con déficit de agua en marzo-abril, asociado a temperaturas inferiores en abril, no lograrían acumular biomasa para ser pastoreada en ese período, ingresando al mes de mayo con una cantidad acumulada de 1263 kilos, que redundaría en una baja probabilidad de pastoreo en el final del otoño y/o principios del invierno.
- b) En condiciones ambientales óptimas, se logra llegar al umbral de pastoreo en el entorno del 5 de abril, mientras que en condiciones intermedias el umbral de pastoreo se lograría en el entorno del 15 de abril.

Gráfico N° 13: Evolución de la producción de materia en pradera de 2° año, en simulación de 60 días, de acuerdo a condiciones ambientales contrastantes período marzo y abril.



Cuadro N° 19: Evolución de la producción de materia seca de pradera de 2° año, durante marzo y abril, de acuerdo a condiciones ambientales contrastantes. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Inicial	10-mar	20-mar	31-mar	10-abr	20-abr	30-abr
OO	800	912	1147	1407	1677	2013	2393
MM	800	883	1030	1190	1404	1683	1989
PP	800	853	934	995	1055	1114	1204

Del gráfico 13 y del cuadro 19, para una pradera de trébol blanco, lotus y festuca se observa:

- En condiciones extremas inferiores (déficit hídrico marzo y abril) y bajas temperaturas en abril, no se logra acumular biomasa para un umbral de pastoreo de 1500 kilos por hectárea, logrando acumular a principio de mayo, solamente 1204 kilos.
- En condiciones ambientales óptimas, se logra llegar al umbral de pastoreo en los

primeros días de abril, mientras que en condiciones intermedias el umbral de pastoreo se lograría en el entorno del 15 de abril. Es decir que la variación entre ambas condiciones ambientales modeladas, generan una respuesta diferencial de 10 días para un ingreso a pastoreo con aproximadamente 1500 kilos por hectárea.

Discusión del efecto de las condiciones ambientales sobre la producción de pasturas en el otoño: Se presenta información sobre los valores esperados de generación de biomasa de acuerdo a condiciones ambientales simuladas. En términos generales, se visualiza a través de las predicciones que realiza el modelo que para avena en condiciones de déficit hídrico, el crecimiento queda limitado en forma significativa. Durante el mes de marzo, las condiciones óptimas e intermedias no difieren mucho en la producción modelada. Ello está asociado a una demanda ambiental en descenso (evapotranspiración se va reduciendo a medida que avanza el otoño) y además el cultivo tiene menos capacidad de transpiración (kilos de materia seca), dado que se encuentra en etapas tempranas de desarrollo. Las posibilidades de ingresar a pastorear, con una biomasa en el entorno de los 1400-1500 kilos por hectárea, quedan muy condicionadas al balance de agua del suelo en el mes de marzo.

Para el caso de praderas de 2° año, con las mezclas seleccionadas, la disponibilidad de materia seca al inicio del otoño es relevante para tener posibilidades de acumulación para alcanzar umbrales de pastoreo efectivo (1500 kg MS/ha) al final del mes de marzo.

Iniciar el otoño con 800 a 1000 kilos por hectárea, se requieren muy buenas condiciones ambientales para poder tener posibilidad de pastoreo a fines de marzo.

Integrando al análisis para ambos componentes de una rotación (verdeo otoño-praderas de segundo año), que son componentes relevantes en el diseño de la oferta de nutrientes en pastoreo en el período otoño y que se traslada hacia el invierno a través del modelo se cuantifica el gran impacto que tiene a nivel de todo el sistema el balance de agua en marzo y el manejo previo de la pradera en febrero, que

definiría con cuantos kilos de biomasa se inicia el otoño.

Pasturas de 2° año que son sobre-pastoreadas en febrero y inician el mes de marzo con disponibilidades menores a 800 kilos, la acumulación de forraje queda supeditada a óptimas condiciones ambientales en el transcurso de marzo.

El modelo logra representar la situación de marzo en los sistemas pastoriles de producción de leche, donde se verifica la complejidad del crecimiento inicial de las especies invernales, su dependencia de las condiciones ambientales y la necesidad de evaluar diferentes decisiones tácticas y operacionales a los efectos de ir modelando la acumulación de biomasa del sistema en su conjunto

El modelo logra representar el contexto de la estación y estimula a la generación de algunas preguntas:

¿Riego para maximizar crecimiento inicial de avena?

¿Pastorear praderas de primer verano (segundo año en otoño) y no permitir acumulación para inicio de marzo?

¿Cómo manejar la calidad de las pasturas en su producción inicial de otoño?

¿Qué especie y/o mezcla de especies ofrecen características de crecimiento y calidad inicial para poder disponer de una oferta adecuada de nutrientes?.

¿Cuál es la relevancia de contar con reservas de forraje de adecuada calidad a los efectos de poder gestionar la incertidumbre del crecimiento inicial del otoño en nuestras condiciones?

3.1.2 Experimentos en condiciones estivales

El incremento de la variabilidad de las distribución del régimen de precipitaciones y la alta demanda ambiental generan variaciones en la productividad de cultivos anuales destinados a reservas, que son componentes esenciales en la configuración

de las dietas animales en otoño y en invierno.

El modelo ofrece la opción de simular la utilización del riego a escala de potrero.

En la simulación, el modelo estima la cantidad de agua total consumida por el cultivo (riego más lluvias); El modelo no define el tipo de riego a utilizar asumiendo en todos los casos buenas prácticas en el uso del agua. Cuando se selecciona la opción riego (escala potrero), el modelo calcula la cantidad de agua requerida adicional para que no existe restricciones al crecimiento por esta variable (Relación ETR/ETP= 1).

En este capítulo se experimenta el crecimiento de forraje con riego en relación a condiciones de secano y para diferentes condiciones ambientales. Se presentan los resultados de producción de forraje en maíz y sorgo para producción de reservas forrajeras bajo forma de ensilaje (planta entera). Se simula la producción acumulada en 120 días, que representa aproximadamente el ciclo de emergencia a cosecha de estos cultivos.

3.1.2.1 Experimento “Cultivos Verano Ensilaje I”

Situación simulada:

Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4

Agua disponible en el perfil del suelo: 50 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 120.

Fecha: Inicio 1 de noviembre . Finaliza: 28 de febrero

Especies: Ia: Maíz.

Ib: Sorgo Silero.

Grado de Enmalezamiento: 0 %

Disponibilidad Inicial: Ia y Ib: 500 kilos de materia seca por hectárea

Preguntas a responder: ¿Cuál es la producción de materia seca en 3 condiciones ambientales extremas en secano y con riego?

Cuadro N° 20: Valores climáticos (mediana) para el período simulado.

Mes	Década	Escenario	Lluvia	ETP	Lluvia - ETP
Noviembre	1	O	61	33	28,0
Noviembre	1	I	39	37	2,0
Noviembre	1	P	16	44	-28,0
Noviembre	2	O	54	38	16,0
Noviembre	2	I	18	43	-25,0
Noviembre	2	P	2	46	-44,0
Noviembre	3	O	58	43	15,0
Noviembre	3	I	18	47	-29,0
Noviembre	3	P	1	52	-51,0
Diciembre	1	O	40,5	44	-3,5
Diciembre	1	I	13,4	50	-36,6
Diciembre	1	P	0,3	55	-54,8
Diciembre	2	O	61,8	47	14,8
Diciembre	2	I	17,2	51	-33,8
Diciembre	2	P	5,0	54	-49,1
Diciembre	3	O	39,9	53	-13,2
Diciembre	3	I	12,9	56	-43,1
Diciembre	3	P	0,0	63	-63,0
Enero	1	O	55	47	8
Enero	1	I	18	53	-35

Enero	1	P	3	59	-56
Enero	2	O	41	49	-8
Enero	2	I	13	53	-41
Enero	2	P	1	58	-57
Enero	3	O	42	50	-8
Enero	3	I	15	57	-41
Enero	3	P	2	63	-61
Febrero	1	O	70	38	31
Febrero	1	I	41	48	-7
Febrero	1	P	12	51	-39
Febrero	2	O	49	37	13
Febrero	2	I	8	40	-32
Febrero	2	P	2	46	-44
Febrero	3	O	65	32	33
Febrero	3	I	39	38	1
Febrero	3	P	5	43	-38

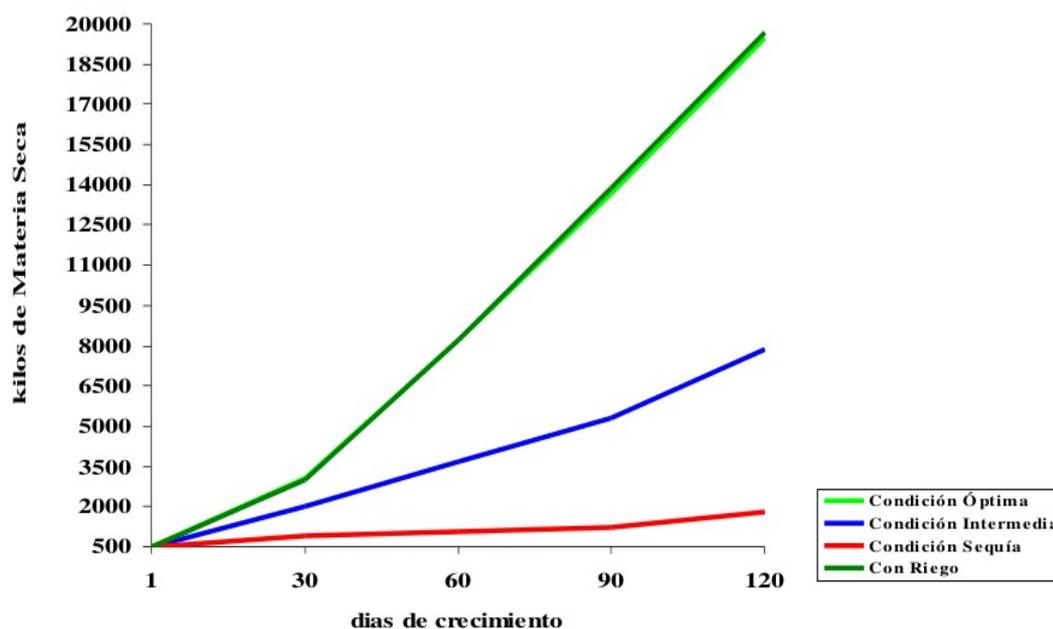
El cuadro 20 indica los valores utilizados en el modelo, de acuerdo a las condiciones contempladas en el modelo.

Resultados: En el cuadro 21 y gráfico 13, se presenta la información de la biomasa simulada para los 4 escenarios simulados, 1 con riego y 3 en seco en diferentes ambientes simulados.

Cuadro N° 21: Evolución de la producción de materia seca de maíz, durante 120 días simulados, agrupados con riego y en seco en condiciones ambientales contrastantes en el período noviembre-febrero. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Condiciones Manejo	1° nov.	30	60	90	120
O	Maíz Sin Riego	500	3050	8222	13651	19463
I	Maíz Sin Riego	500	2008	3714	5326	7864
P	Maíz Sin Riego	500	917	1076	1206	1797
	Maíz Con Riego	500	2999	8244	13878	19711

Gráfico N° 14: Evolución de la producción de materia seca en maíz, simulación de 120 días, de acuerdo a condiciones ambientales, noviembre-febrero.



Cuadro N° 22: Evolución de la producción de materia seca de sorgo silero, durante 120 días simulados, agrupados con riego promedio y en secano en condiciones ambientales contrastantes en el período noviembre-febrero. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Condiciones Manejo	1° nov.	30d	60d	90d	120d
O	Sorgo Sin Riego	500	2450	7047	12299	17711
I	Sorgo Sin Riego	500	1616	3133	4695	7032
P	Sorgo Sin Riego	500	740	881	1010	1549
	Sorgo Con Riego	500	2390	7007	12390	17769

Los cuadros 21 y 22 simulan, para un período de 120 días, el crecimiento de los cultivos de maíz y sorgo respectivamente, en condiciones de secano para las 3 condiciones extremas y bajo riego.

Entre los extremos optimista y pesimista se pueden simular variados escenarios o condiciones, en 4 meses, por lo que existen $3^4 = 81$ combinaciones posibles que generan diferentes tasas de crecimiento mensual de estos cultivos, las cuales se ubican en valores intermedios

Discusión: a) En condiciones ambientales excelentes, la producción de biomasa es similar en secano y con riego. La probabilidad de ocurrencia de estas condiciones (secano), de acuerdo al balance de clima, para las condiciones de la zona sur del país son de $(1/3)^4 = 1,23 \%$.

b) En el extremo más pesimista (déficit hídrico severo), los cultivos en secano prácticamente carece de posibilidad de uso económicamente productivo.

c) Escenarios intermedios, tanto en maíz como en sorgo, producen el 40

% de la biomasa del escenario superior y con riego.

d) A través del modelo, y en las condiciones climáticas en que se simulan las condiciones se podría afirmar, que potreros, dentro de sistemas que dispongan de los recursos suficientes para poder regar los cultivos de sorgo y maíz, obtendrían una alta probabilidad de alcanzar los máximos rendimientos de materia seca, posibilitando acceder a determinada cantidad de biomasa acumulada.

3.1.3 Efecto de la presencia de malezas en la productividad de pasturas y verdes de invierno

En esta sección, el modelo aplica las ecuaciones [ec.35 y 36] para pasturas y verdes de invierno, variando la misma de acuerdo a si la siembra es convencional o siembra directa.

Para el verdeo avena, se simuló la incidencia del porcentaje del área cubierta por la avena para los tres escenarios de condiciones hídricas y de temperaturas, sobre la producción de materia seca.

3.1.3.1 Experimento “Enmalezamiento en Avena I”

Situación simulada:

Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4

Agua disponible en el perfil del suelo: 75 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 90.

Fechas : Inicio 1 de marzo. Finaliza: 31 de mayo

Especies: Avena

Grado de Enmalezamiento: M1: 5 % enmalezamiento (95% cobertura avena),

M2: 50 % enmalezamiento (50% cobertura avena) , M3: 70 % enmalezamiento (30% cobertura avena)

Disponibilidad Inicial: 200 kilos de materia seca por hectárea

Preguntas a responder: ¿Cuál es reducción en el rendimiento en la producción de avena por competencia de malezas y en que condiciones ambientales se provocan mayores pérdidas productivas?

El siguiente cuadro, indica la evolución de la producción de materia seca de acuerdo a los combinados.

Cuadro N° 23: Evolución de la producción de materia seca de avena, de acuerdo a las condiciones ambientales promedio y para 3 niveles de porcentaje de área cubierta. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Cobertura Suelo	Inicial (1 marzo)	30d	60d	90d
O	Avena 95%	200	482	1428	2432
	Avena 50%	200	344	655	1058
	Avena 30%	200	287	430	603
I	Avena 95%	200	482	1091	1663
	Avena 50%	200	344	521	759
	Avena 30%	200	287	387	466
P	Avena 95%	200	247	330	371
	Avena 50%	200	224	267	287
	Avena 30%	200	214	240	252

Discusión: Del cuadro 23 se observa que la mayor producción acumulada se logra con una alta cobertura de suelo (sin incidencia de malezas) en las condiciones óptimas e intermedias. Niveles de cobertura de la avena del 30 %, comprometen definitivamente la productividad, aún en condiciones ambientales favorables y/o intermedias. En condiciones ambientales extremadamente desfavorables (condición

pesimista), el efecto del enmalezamiento pierde relevancia, pues el cultivo ha comprometido totalmente su productividad por dichas condiciones.

3.1.3.2 Experimento “Enmalezamiento en implantación de praderas I”

Situación simulada:

Tipo de Suelo: Tala Rodríguez. Vertisol fase profunda. Perfil n° L27-4

Agua disponible en el perfil del suelo: 75 % Máximo AD (112 mm)

Días simulados: 90.

Fechas: Inicio 1 de marzo. Finaliza: 31 de mayo

Especies: T1: Alfalfa pura. 1° año

T2: Pradera1: t.blanco+lotus+festuca1° año.

Grado de Enmalezamiento: M1: 5 % enmalezamiento (95% cobertura pastura), M2: 50 % enmalezamiento (50% cobertura pastura), M3: 70 % enmalezamiento (30% cobertura pastura)

Disponibilidad Inicial: T1:50 kilos de MS/ha.

T2: 100 kilos MS/ha.

Preguntas a responder: ¿Cuál es reducción en el rendimiento en la implantación de praderas permanentes por competencia de malezas y en que condiciones ambientales dicho enmalezamiento provoca mayores pérdidas productivas?

Cuadro N° 24: Evolución de la producción de materia seca de alfalfa de primer año (en implantación), de acuerdo a las condiciones ambientales promedio y para 3 niveles de porcentaje de área cubierta. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Cobertura suelo	inicial	30d	60d	90d
O	Alfalfa 95%	50	112	177	213
	Alfalfa 50%	50	82	115	133
	Alfalfa 30%	50	69	89	100
I	Alfalfa 95%	50	112	167	191
	Alfalfa 50%	50	82	110	122
	Alfalfa 30%	50	69	86	93
P	Alfalfa 95%	50	60	81	86
	Alfalfa 50%	50	55	66	68
	Alfalfa 30%	50	53	59	61

Discusión: Del cuadro 24, se observa que el impacto del enmalezamiento es relevante en la producción inicial de la alfalfa, en condiciones ambientales óptimas y intermedias. En ambas situaciones tener la pastura libre de malezas, logra prácticamente duplicar la productividad en relación a la situación con 30% de cobertura (70 % de enmalezamiento). En situaciones extremadamente “secas y frías”, durante los primeros 90 días de implantación, el efecto del control de malezas, no logra rebatir las condiciones ambientales extremadamente negativas para el crecimiento vegetal.

Cuadro N° 25: Evolución de la producción de materia seca de pradera de primer año (en implantación), de acuerdo a las condiciones ambientales promedio y para 3 niveles de porcentaje de área cubierta. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

Ambiente	Cobertura suelo	Inicial	30d	60d	90d
O	Pradera 1° 95%	100	190	318	463
	Pradera 1° 50%	100	146	211	286
	Pradera 1° 30%	100	127	167	211
I	Pradera 1° 95%	100	190	283	376
	Pradera 1° 50%	100	146	194	242
	Pradera 1° 30%	100	127	156	185
P	Pradera 1° 95%	100	115	141	157
	Pradera 1° 50%	100	107	121	129
	Pradera 1° 30%	100	104	112	117

En el caso de una pradera en base a trébol blanco+festuca+Lotus, la tendencia registrada es similar que en alfalfa donde se destacan que niveles de enmalezamiento por encima de un 50 % reducen en forma muy importante el crecimiento de la pastura.

3.1.4 Síntesis de los resultados obtenidos con el uso del modelo en la producción de forraje

A partir de los resultados presentados, se desprende que el modelo puede representar un amplio rango de situaciones en términos de producción de biomasa.

Se han presentado algunos resultados de interacción entre efectos ambientales y de manejo que generan variaciones importantes en la productividad de las pasturas que componen las cadenas forrajeras de los sistemas de producción de leche.

De acuerdo a los objetivos planteados en la investigación, el modelo permite

cuantificar resultados de producción de forraje en diferentes escenarios ambientales, de manejo en el control de maleza y en la evaluación del impacto del uso del riego estratégico. El modelo genera resultados muy razonables para poder diseñar decisiones tácticas y operacionales a los efectos de intervenir en forma eficiente sobre los sistemas de producción de leche.

3.2 EXPERIMENTOS INTEGRANTES DEL SUB-MODELO ANIMAL-VEGETAL

En el presente capítulo, se simulan una serie de experimentos con el modelo, los cuales se diseñan sobre 2 rotaciones forrajeras contrastantes, en lo que refiere a la especies en la fase de pasturas perennes de las rotaciones lecheras. En el mismo sentido, se realizan experimentos que varían en cuanto a la época de parto de los animales y diferentes niveles de suplementación, asignación de pasturas y carga animal.

3.2.1 Experimentos de otoño

Datos Iniciales: Período Simulado: 1 de marzo al 31 de marzo.

Escenario Clima: Régimen hídrico intermedio y temperaturas intermedias.

Los cuadros 26 y 27 indican el valor de los parámetros para las condiciones ambientales simuladas.

Cuadro N° 26: Valores mediana para la lluvia, evapotranspiración potencial, acumulada cada 10 días durante el mes de marzo. Valores en milímetros.

Día	Escenario	Lluvia mediana	ETP mediana	Saldo Lluvia - ETP
1 al 10	I	21	39	-18
11 al 20	I	15	34	-19
21 al 31	I	37	32	5

Cuadro N° 27: Valores promedio diario de temperaturas promedio, máximo y mínima. Valores en grados centígrados.

Periodo	Escenario	Temp. promedio	Temp. Máx	Temp. Mín
1	I	21,9	27,9	17,0
2	I	20,8	26,3	16,2
3	I	19,5	24,9	14,8

Tipo de Suelo: Unidad Tala Rodríguez. Perfil L27-4. Vertisoles fase profunda.

Agua Disponible en el suelo al inicio de la simulación: 80 % de la Capacidad de Campo. En milímetros son $112 * 80/100$: 90 milímetros de AD.

Rotaciones Forrajeras:

Rotación 1: Base pradera mezcla (trébol blanco, lotus y festuca)

Cuadro N° 28: Uso del suelo simulado en rotación 1(Pp).

Tipo pastura	% de la rotación
TBlanco +Lotus +Festuca 1°	20
TBlanco+Lotus+Festuca 2°	20
TBlanco+Lotus+Festuca 3°	20
TBlanco+Lotus+Festuca 4°	20
Avena	20

Cuadro N° 29: Uso del suelo simulado en rotación 2(Alfa).

Tipo	% de la rotación
Alfalfa 1°	20
Alfalfa 2°	20
Alfalfa 3°	20
Alfalfa 4°	20
Avena	20

Cuadro N° 30: Disponibilidad inicial al inicio de la situación. Expresado en kilos de materia seca por hectárea. Rotación R1 (Pp)

Tipo pastura	Disponibilidad Inicial
TBlanco +Lotus +Festuca 1°	50
TBlanco+Lotus+Festuca 2°	1600
TBlanco+Lotus+Festuca 3°	1200
TBlanco+Lotus+Festuca 4°	1000
Avena	50
Promedio	780

Cuadro N° 31: Disponibilidad inicial al inicio de la situación. Expresado en kilos de materia seca por hectárea. Rotación R2 (Alfa).

Tipo	Disponibilidad Inicial
Alfalfa 1°	50
Alfalfa 2°	1600
Alfalfa 3°	1200
Alfalfa 4°	1000
Avena	50
Promedio	780

Como se observa en cuadros 29 y 30, reflejan que en estas condiciones se disponen de 3/5 de superficie efectiva de pastoreo, dado que el verdeo de invierno y las praderas de primer año se encuentran en fase de implantación o crecimiento inicial, por lo que no se encuentra disponibles para su ingreso a circuito de pastoreo.

Manejo de Pasturas:

Condiciones de ingreso a pastorear:

Disponibilidad mínima pre pastoreo: 1200 kilos por hectárea de materia seca

Disponibilidad mínima posterior al pastoreo: 300 kilos por hectárea de materia seca

3.2.1.1 Experimento I

La rotación simulada es la Rotación 2-Alfa.

Objetivos: a) Evaluar la producción de leche por vaca, con 2 niveles de suplementación de concentrado, en condiciones de baja asignación por vaca/día, en un rodeo de parición de primavera (15 de setiembre).

b) Cuantificar la respuesta a niveles crecientes de suplementación.

c) Evaluar evolución de la condición corporal de las vacas.

d) Medir la evolución de la disponibilidad de forraje durante el transcurso de la simulación.

Variables de entrada del componente animal
Fecha de parto: 15 de setiembre
Potencial productivo: 6000 litros/lactancia: Equivale a 18,2 litros/día al inicio del experimento (1 de marzo).
Porcentaje de Grasa en leche: 3,7
Porcentaje de Proteína en leche: 3,2
Peso Adulto: 600 kilos
Peso Inicial: 580 Kilos
Condición Corporal Inicial: 2,8

Variables de entrada de Asignación Alimentos
Asignación de pastura por vaca, AP: 10 kilos de materia seca/día
Consumo de RRF por vaca: 5 kilos de materia seca/día (Ensilaje de maíz)
Tratamientos (suplementación consumida):
T _{4,5} : 3 kg de grano de maíz + 1,5 kg de expeller de soja
T ₇ : 5 kg de grano de maíz + 2 kg de expeller de soja

Resultados: En el siguiente cuadro se presenta la producción diaria de leche para el período simulado.

Cuadro N° 32: Producción de leche diaria, promedio del período simulado, de acuerdo a los diferentes niveles de suplementación.

Suplementación	4,5	7
Litros/Vaca/d	15,1	18,2
Litros Potencial	18,2	18,2

En condiciones muy restrictivas de oferta de forraje en pie, se observa que incrementar la suplementación, incrementa la producción de leche promedio por vaca. El consumo de forraje predicho por el modelo en condiciones de baja asignación es de 4,7 kilos de materia seca por vaca (asignación*0,47). Por lo cual el consumo “base” está formado por 4,7 de pastura + 5 kilos de ensilaje de maíz. Sobre este nivel base de forraje, se diseñan los 2 niveles de suplementación. Con el nivel de 7 kilos de suplemento consumido, los animales logran el potencial productivo, de acuerdo a la etapa de lactancia en que se encuentran.

Cuadro N° 33: Respuesta productiva al incremento en la suplementación.

Litros leche adicionales	3,10
Incremento Concentrado	2,5
Respuesta Incremental: litros/kg	1,24

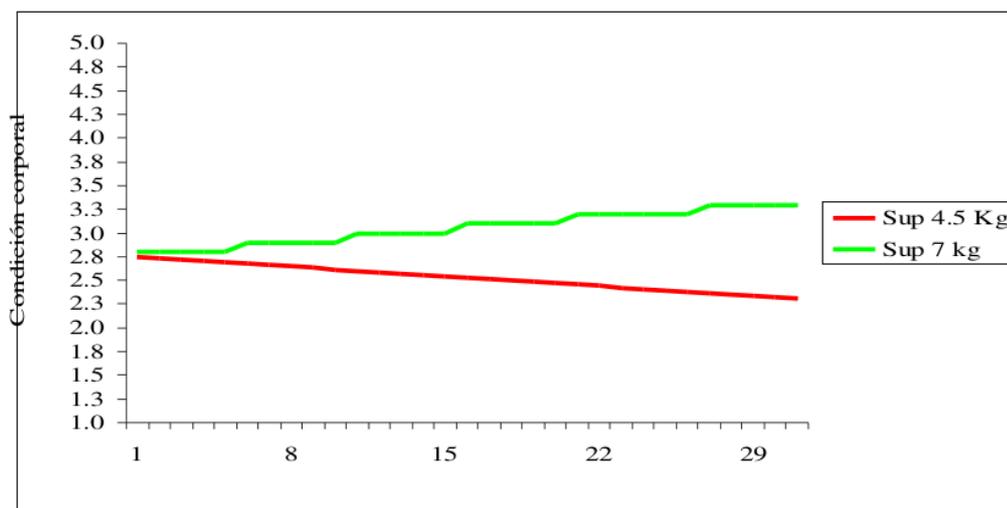
Para estas condiciones simuladas, se obtiene una alta respuesta productiva al incrementar los niveles de suplementación.

Cuadro N° 34: Condición corporal inicial y final, de las vacas de acuerdo a la suplementación consumida.

Suplementación	4,5	7
C. Corporal Inicial	2,80	2,80
C. Corporal Final	2,3	3,3

El cambio de condición corporal de las vacas, es claramente opuesto, de acuerdo a los niveles de suplementación (tratamientos simulados). En el nivel inferior de suplementación la pérdida de 0,5 puntos de condición corporal es biológicamente relevante, demostrando la insuficiente configuración de la dieta suministrada y el consumo limitado para la asignación de forraje modelada. En el tratamiento con mayor nivel de suplementación, se observa una respuesta positiva en la condición corporal. El gráfico siguiente, cuantifica la evolución diaria de la condición corporal en ambas situaciones.

Gráfico N° 15: Evolución de la condición corporal de vacas manejadas con diferentes niveles de suplementación.



Nota: día 1= 1 de marzo

El último objetivo de este experimento, fue cuantificar la evolución de la disponibilidad de pasturas a nivel de la rotación forrajera

Cuadro N° 35: Forraje disponible al inicio y al final del periodo simulado para cada potrero de la rotación, total y promedio de acuerdo a los niveles de suplementación evaluados. . Tomar esta corrección para los otros cuadros

Suplementación	4,5		7	
	kg MS hectárea			
Disponible	Inicial	Final	Inicial	Final
Alfalfa 1°	50	116	50	116
Alfalfa 2°	1600	952	1600	952
Alfalfa 3°	1200	1506	1200	1506
Alfalfa 4°	1000	1407	1000	1407
Avena	50	352	50	352
Total	3900	4333	3900	4333
Promedio	780	867	780	867

Del cuadro 39, se observa que no hubo diferencias en disponibilidad final de pasturas en función de los tratamientos simulados. En ambos casos, se logra acumular forraje en un 11% (stock final/stock inicial) durante el período simulado. En los potreros con alfalfa de 1° año y en la avena, la biomasa disponible no es suficiente para el ingreso al pastoreo, de acuerdo a las condiciones predefinidas en el experimento. En estas condiciones, los animales pastorean en la alfalfa de 2° año solamente.

Discusión del Experimento I (estación otoño, mes de marzo): Con bajas asignaciones de forraje (10 kg de materia seca por vaca por día) para un perfil de requerimientos de 6000 litros de leche por lactancia, con parición de primavera, suplementadas con ensilaje de maíz (5 kilos de MS/vaca/d) y concentrados (7 kilos

de MS/vaca/d) para lograr cubrir los requerimientos de producción de leche y incrementar la condición corporal.

Se logra una alta respuesta en leche con los suplementos seleccionados, debido a un incremento del consumo total y un adecuado balance de energía y proteína. Con este manejo se logra acumular entre 10-11 % de forraje en pie, para pastoreo en el mes siguiente donde es dable esperar tasas de crecimiento inferiores por efectos ambientales. La carga animal del experimento fue de 0,8 Vacas/ ha de rotación; no obstante si se tiene en cuenta que el verdeo de invierno (avena) no aporta forraje para pastoreo y la alfalfa de primer año se encuentra en etapas de crecimiento inicial (implantación), la superficie efectiva de pastoreo en este contexto es 3/5 hectáreas, por lo que la carga efectiva fue de 1,33 Vacas/ hectárea de pastoreo.

3.2.1.2 Experimento II

Se mantiene la rotación base alfalfa, las condiciones de los requerimientos animales también son similares.

Es una variante del experimento anterior pero donde se aumenta la asignación de forraje (AP) a 15 kilos por vaca / día de materia seca y se disminuye la suplementación.

Variables de entrada del componente animal
Fecha de parto: 15 de setiembre
Potencial productivo: 6000 litros/lactancia: Equivale a 18,9 litros/día al inicio del experimento (1/3).
Porcentaje de Grasa en leche: 3,7
Porcentaje de Proteína en leche: 3,2
Peso Adulto: 600 kilos

Peso Inicial : 580 Kilos

Condición Corporal Inicial : 2,8

Variables de entrada de Asignación Alimentos

Asignación de pastura por vaca, AP:15 kilos de materia seca/día

Consumo de RRFF por vaca: 5 kilos de materia seca/día (Ensilaje de maíz)

Tratamientos (suplementación consumida):

T3: 2 kg de grano de maíz + 1 kg de expeller de soja

T4,5: 3 kg de grano de maíz + 1,5 kg de expeller de soja

Resultados: En el siguiente cuadro se presenta la producción diaria de leche para el período simulado.

Cuadro N° 36: Producción de leche diaria promedio del período simulado, de acuerdo a los diferentes niveles de suplementación.

Suplementación	3	4,5
Litros/Vaca/d	16,0	18,7
Litros Potencial	18,9	18,9

Cuadro N° 37: Respuesta productiva al incremento en la suplementación.

Litros leche adicionales	2,70
Incremento Concentrado	1,5
Respuesta Incremental : litros / kg	1,8

Cuadro N° 38: Condición corporal inicial y final de las vacas de acuerdo a la suplementación consumida.

Suplementación	3	4,5
C. Corporal Inicial	2,8	2,8
C. Corporal Final	2,3	3,3

Cuadro N° 39: Forraje disponible al inicio y al final del periodo simulado para cada potrero de la rotación, total y promedio de acuerdo a los niveles de suplementación evaluados. En kilos de materia seca por hectárea.

Suplementación	3		4,5	
	kg MS hectárea			
Disponible	Inicial	Final	Inicial	Final
Alfalfa 1°	50	116	50	116
Alfalfa 2°	1600	940	1600	940
Alfalfa 3°	1200	953	1200	953
Alfalfa 4°	1000	1474	1000	1474
Avena	50	352	50	352
Total	3900	3835	3900	3835
Promedio	780	767	780	767

Discusión: Del experimento II, se concluye que con una asignación de 15 kilos por vaca/día, se logra una respuesta positiva a la suplementación. Las tendencias en la evolución de la condición corporal son similares al Exp. I, donde se obtiene una respuesta muy importante en la variable Condición Corporal a la suplementación.

Lo más relevante, es que en este experimento, cuando se aumenta la asignación, con la misma carga animal (0,8 vacas/ha o 1,33/ha efectiva), el stock de forraje al finalizar el periodo simulado es prácticamente el mismo.

Se utilizan 2 potreros para el pastoreo, iniciando el mismo en la pradera de 2° año (1600 kg/ha) y luego se pasa a la alfalfa de 3° año. La pastura de 4° año, que inicia la simulación con 1000 kilos, no se ingresa a pastorear y acumula forraje 474 kilos de MS/ha en los 30 días simulados. La pastura de primer año y la avena acumulan materia seca, y no se toman en cuenta para el pastoreo.

Como conclusión general de estos 2 experimentos independientes se resalta:

- a) Incrementos en la asignación, permiten obtener una mayor producción de leche con similar suplementación.
- b) Existen un valor de “paridad” para lograr cumplir con los requerimientos animales a través de 2 manejos diferentes: Reducir la asignación de 15 a 10 kilos por vaca, implica una suplementación adicional de 3,5 kg de MS, para lograr similar cantidad de producto.
- c) Con ello se logra acumular biomasa en pie transferible para el mes siguiente.
- d) Estas conclusiones son válidas para las condiciones ambientales simuladas; en la medida que las condiciones reduzcan las tasas de crecimiento (“peores condiciones ambientales”), la opción de incrementar la asignación se reducen pues el sistema se “queda sin pastoreo”, para las condiciones de manejo simuladas (ingreso al pastoreo con un mínimo con 1200 kilos de materia seca por hectárea).

En el mismo sentido, en condiciones más favorables la opción de incrementar la asignación se jerarquiza al poder lograr el objetivo productivo en base a ofrecer una mayor cantidad de pastura por vaca.

- e) La secuencia del pastoreo en ambos experimentos, se inicia en el potrero de mayor disponibilidad (pradera de 2° año, con 1600 kilos de MS/ha). Cuando se aumenta la asignación se utiliza una mayor superficie disponible y el saldo mensual de forraje (final menos inicial) es menor.

A manera de síntesis, se destaca del uso del modelo en un contexto de inicio del

otoño:

Para rotaciones de 4 años de pasturas perennes y 1 año de verdeo de invierno, la superficie efectiva de pastoreo en el mes de marzo es de 3/5, por lo que la carga efectiva es de 1,33 Vacas/ha.

Asignaciones bajas de forraje implican contar con disponibilidad de reservas de forraje de adecuada calidad (ensilaje de maíz), y sobre todo se requiere una suplementación acorde a esa baja asignación para lograr el objetivo productivo de vacas de lactancia avanzada. EL modelo cuantifica una respuesta importante en producción de leche, muy acorde con trabajos experimentales revisados (Bargo, 2006).

3.2.2 Experimentos de invierno

Se trabaja con la misma rotación forrajera (cuadros 28 y 29), y se utiliza la disponibilidad inicial los valores finales por potrero al finalizar el otoño (31 de mayo).

Datos de entrada:

Período Simulado: 1 de junio al 30 de junio.

Condiciones de Clima: Régimen hídrico intermedio y temperaturas Intermedias.

Los cuadros 40 y 41 indican el valor de los parámetros para las condiciones simuladas.

Cuadro N° 40: Valores mediana para la lluvia, evapotranspiración potencial, y la diferencia entre lluvia - etp. Valores acumulados cada 10 días durante el mes de junio, en milímetros.

Días	Condiciones	Lluvia	ETP	Lluvia - ETP
1 al 10	I	18	9	9
11 al 20	I	22	8	14
21 al 31	I	14	9	5

Cuadro N° 41: Promedio diario de temperaturas promedio, máximo y mínima. Mes de Junio. Expresados en grados centígrados

Días	Condiciones	Temperatura Promedio	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
1 al 10	I	11,0	16,2	6,8
11 al 20	I	10,3	14,9	6,4
21 al 31	I	10,0	15,2	5,4

Tipo de Suelo modelado: Unidad Tala Rodríguez. Perfil L27-4. Vertisoles fase profunda.

Agua Disponible en el suelo al inicio de la simulación: 80 % de la Capacidad de Campo.

En el siguiente cuadro se presenta la disponibilidad de forraje al inicio de la simulación.

Cuadro N° 42: Disponibilidad inicial al inicio de la situación. Expresado en kilos de materia seca por hectárea. R1 (Pp).

Tipo pastura	Disponibilidad Inicial
TBlanco +Lotus +Festuca 1°	332
TBlanco+Lotus+Festuca 2°	1259
TBlanco+Lotus+Festuca 3°	1644
TBlanco+Lotus+Festuca 4°	884
Avena	1084
Promedio	1041

Cuadro N° 43: Disponibilidad inicial al inicio de la situación. Expresado en kilos de materia seca por hectárea. R2 (Alfa).

Tipo pastura	Disponibilidad Inicial
Alfalfa 1°	179
Alfalfa 2°	946
Alfalfa 3°	1279
Alfalfa 4°	1163
Avena	881
Promedio	890

Variables de entrada para manejo de pasturas:

Disponibilidad mínima pre pastoreo: 1200 kilos por hectárea de materia seca

Disponibilidad mínima posterior al pastoreo: 300 kilos por hectárea de materia seca

3.2.2.1 Experimento III

Para ambas rotaciones, se plantean 2 experimentos, independientes:

Exp. III/Pradera y Exp. III/Alfa

Objetivos:

- a) Evaluar la producción de leche por vaca y por hectárea de acuerdo a cambios en la carga animal, la asignación de forraje y los niveles de suplementación.
- b) Cuantificar la respuesta al incremento de la suplementación y la asignación de forraje para las diferentes cargas animales.
- c) Evaluar evolución de la condición corporal de las vacas.
- d) Caracterizar la disponibilidad de forraje durante al inicio-final de la simulación y durante el transcurso de la simulación.

Las variables de entrada del componente animal son:

Potencial productivo: 6000 litros/lactancia. 22,4 litros/día al inicio de la simulación

Fecha parto: 15 de febrero.

Porcentaje de Grasa en leche: 3,7

Porcentaje de Proteína en leche: 3,2

Peso Adulto: 600 kilos

Peso Inicial: 600 Kilos

Condición Corporal Inicial: 3,5 (Exp III/Pp) y 3,4 en Exp III/Alfa

Tratamientos de Asignación y suplementación, para los 3 niveles de cargas:

1= AP 10 / Sup 5+5: Asignación de pastura diaria de 10 kilos de materia seca por vaca y por día. Reserva de forraje: Ensilaje de maíz 5 kilos de materia seca por vaca

y por día, concentrado 5 kilos de materia seca por vaca y por día de una mezcla de maíz molido (3,5 kilos) y expeller de soja (1,5 kilos).

2= AP 10 / Sup 7+7: Asignación de pastura diaria de 10 kilos de materia seca por vaca y por día. Reserva de forraje: Ensilaje de maíz 7 kilos de materia seca por vaca y por día y Concentrado: 7 kilos de materia seca kilos de materia seca por vaca y por día de una mezcla de maíz molido (5 kilos) y expeller de soja (2 kilos)

3= AP15 / Sup 5+5: Asignación de pastura diaria de 15 kilos de materia seca por vaca y por día. Reserva de forraje: Ensilaje de maíz 5 kilos de materia seca por vaca y por día; Concentrado 5 kilos de materia seca por vaca y por día de una mezcla de maíz molido (3,5 kilos) y expeller de soja (1,5 kilos)

4= AP15 / Sup 7+7: Asignación de pastura diaria de 15 kilos de materia seca por vaca y por día. Reserva de forraje: Ensilaje de maíz:7 kilos de materia seca por vaca y por día y concentrado: 7 kilos de materia seca kilos de materia seca por vaca y por día de una mezcla de maíz molido (5 kilos) y expeller de soja (2 kilos)

En resumen se dispone de un arreglo factorial triple, donde se combinan 3 niveles de carga (0,8-1,2 y 1,6 Vacas Ordeño/hectárea), 2 Asignaciones de forraje AP de (10 y 15 kilos de materia seca por vaca por día) y 2 niveles de suplementación total (10 y 14 kilos por vaca y por día)

Cuadro N° 44: Representación de los experimentos simulados.

Carga (C) N° VO/ha	Asignación (AP)	Suplemento (S)	Suplemento (S)	Nombre
	kilos MS/vaca/d	Ensilaje maíz	Grano Mz + ES	Tratamiento*
0,8	10	5	5	C0,8/A10/S10
	10	7	7	C0,8/A10/S14
	15	5	5	C0,8/A15/S10
	15	7	7	C0,8/A15/S14
1,2	10	5	5	C1,2/A10/S10
	10	7	7	C1,2/A10/S14
	15	5	5	C1,2/A15/S10
	15	7	7	C1,2/A15/S14
1,6	10	5	5	C1,6/A10/S10
	10	7	7	C1,6/A10/S14
	15	5	5	C1,6/A15/S10
	15	7	7	C1,6/A15/S14

* Nombre tratamientos C: carga; A: asignación; S: suplementación

Resultados Exp. III/Alfa: Resultados: En el siguiente cuadro se presenta la producción diaria de leche para el período simulado.

Cuadro N° 45: Producción de leche promedio por vaca y por día, de acuerdo a los tratamientos simulados.

	Carga: 0,8				Carga: 1,2				Carga: 1,6			
AP	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación*	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
Litros /Vaca/día	17,9	21,7	21,7	21,7	18,0	21,7	21,4	21,7	18,0	21,7	19,7	20,9

* Ensilaje + concentrados.

El potencial productivo de acuerdo a la etapa de la lactancia es de 21,7 litros.

Cuadro N° 46: Consumos simulados (kg MS/v/día) de acuerdo a los tratamientos seleccionados.

	Carga: 0,8				Carga: 1,2				Carga: 1,6			
AP	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
CONSUMO:												
Pastura	4,7	4,7	7,0	5,2	4,6	4,6	6,9	5,1	4,6	4,6	6,6	4,9
Ensilaje Maíz	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0
Concentrado	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0	7,0
TOTAL	14,7	18,7	17,0	19,2	14,6	18,6	16,9	19,1	14,6	18,6	16,6	18,9

Cuadro N° 47: Respuesta marginal de la producción de leche al incremento en la suplementación y a la asignación, de acuerdo a la carga animal.

	Carga: 0,8				Carga: 1,2				Carga: 1,6			
AP	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
Litros extra		3,8	3,8	0,0		3,7	3,4	0,3		3,7	1,7	1,2
Suplemento extra		4	5	4		4	5	4		4	5	4
Respuesta		0,95	0,76	0,00		0,93	0,68	0,08		0,93	0,34	0,30

De los cuadros precedentes se destaca:

a) En las asignaciones menores (10 kg MS/vaca/día), se obtiene una respuesta a la producción de leche cuando se incrementa la suplementación, independientemente

de la carga animal. La magnitud de dicha respuesta es muy cercana a 1 litro de leche adicional por cada kilo de suplementación. En este escenario, el incremento de la suplementación logra obtener niveles productivos que se ubican en el potencial del perfil del rodeo evaluado.

b) La respuesta a la asignación de forraje (AP) varía de acuerdo a la carga animal.

Con cargas menores (0,8) se logra una respuesta adicional de 0,76 kilos leche/kilo de forraje extra. Sin embargo a medida que se incrementa la carga animal, la respuesta se va reduciendo. El motivo de ello es que incrementos en la carga y la asignación, implican un mayor consumo por hectárea y por día. Como consecuencia de ello, la disponibilidad promedio de la rotación se va reduciendo y la producción de leche individual se reduce en relación a cargas inferiores.

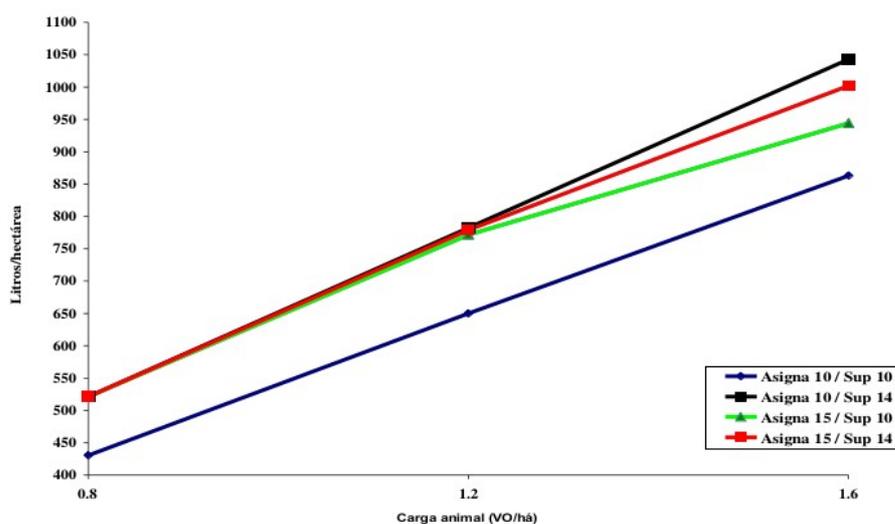
c) A medida que se incrementa la carga animal de 0,8 a 1,6 vacas por hectárea de pastoreo, se incrementa el consumo de forraje por hectárea. Por lo que las respuestas productivas para alcanzar el potencial de producción, quedan más vinculados a un incremento en la suplementación y no en la asignación.

d) Estas consideraciones son válidas para las condiciones de invierno, en un escenario favorable en términos de balance de agua y temperaturas medias. Las tasas de crecimientos de las pasturas de la rotación (base alfalfa) son bajas en el mes simulado y por ende aumentos en la carga, agotan en menor tiempo el recurso pastura y se debe incrementar el consumo de suplementos para lograr mantener la producción próxima a la potencial.

Cuadro N° 48: Producción de leche por hectárea durante el período simulado, de acuerdo a los tratamientos ensayados.

	Carga: 0,8				Carga: 1,2				Carga: 1,6			
Asignación	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
Litros /hectárea/mes	431	522	522	522	650	783	772	780	864	1044	944	1003

Gráfico N° 16: Respuesta de la producción por hectárea a incrementos de carga animal, con diferentes estrategias de asignación de forraje o nivel de suplementación por vaca.



El cuadro 48 y el gráfico 16, integran las diferentes estrategias, en términos de resultado de producción de leche por hectárea y por mes (litros por vaca x carga).

A partir de los resultados observados, se concluye :

a) A medida que aumenta la carga se incrementa la producción por hectárea.

b) Incrementos en la suplementación, se observa una respuesta positiva, pero de mayor magnitud a medida que se incrementa la carga animal.

d) Incrementar la asignación en 5 kilos de pasturas adicionales permite una respuesta en leche decreciente a medida que se incrementa la carga asociado a un mayor consumo por hectárea de forraje, lo que genera que la relación entre consumo por hectárea / crecimiento por hectárea sea muy alta y el sistema se queda sin biomasa disponible para poder mantener asignaciones de 15 kilos de MS/vaca/día.

c) La mayor productividad se logra cuando la carga es de 1,6, se asignan 10 kilos por vaca y se suplementa con 7 kilos de ensilaje de maíz, más 7 kilos de concentrado (5 de grano de maíz + 2 de expeller de soja).

Otro objetivo de este experimento es cuantificar la respuesta sobre la condición corporal de acuerdo a los tratamientos seleccionados.

Cuadro N° 49: Condición Corporal inicial y final, de acuerdo a los tratamientos ensayados.

	Carga: 0,8				Carga: 1,2				Carga: 1,6			
Asignación	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
CC Inicio	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
CC Final	2,9	4,0	3,3	4,0	3,0	4,0	3,2	4,0	2,9	4,0	3,2	3,9
Coc Final/Inicial	0,85	1,18	0,97	1,18	0,88	1,18	0,97	1,18	0,85	1,18	0,94	1,15

A partir del cuadro 49, se observa que la condición corporal final es superior a la inicial, en los tratamientos donde el nivel de suplementación es mayor. Siendo la tendencia similar para todas las cargas animales evaluadas.

En los tratamientos donde la asignación y la suplementación son menores, la

condición corporal se reduce entre un 15 a un 12 %, en relación a la condición inicial.

Para los 3 niveles de carga animal, incrementos en la asignación de pasturas logra incrementar la producción, con una mínima pérdida de condición corporal

El 4° objetivo del experimento es determinar la evolución de forraje disponible de acuerdo a las medidas de manejo seleccionadas. El modelo calcula para cada potrero la evolución diaria de la disponibilidad para cada potrero disponible para el rodeo. El siguiente cuadro, reporta la evolución inicial y final promedio de los cinco potreros que componen la rotación forrajera sobre la que se diseñaron los experimentos.

Cuadro N° 50: Efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad final de forraje en la rotación base alfalfa. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

	Carga: 0,8				Carga: 1,2				Carga: 1,6			
Asignación	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
M.S. Inicial	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890
M.S. Final	969	969	855	915	857	862	775	865	854	854	732	816
Cociente Final/Inic	1,09	1,09	0,96	1,03	0,96	0,97	0,87	0,97	0,96	0,96	0,82	0,92

Comentarios del cuadro 57:

- a) En la carga menor (0,8 VO/ha) y con menores asignaciones la biomasa disponible final se incrementa un 9 % durante el período simulado.
- b) Dentro de la misma carga, incrementando la asignación diaria, prácticamente la disponibilidad final es similar a la inicial.
- c) Con cargas de 1,2 a 1,6 y con asignaciones menores, la disponibilidad final se

reduce un 4 %.

d) Con cargas de 1,2 y 1,6, en la medida que se incrementa la asignación, con la menor suplementación, el stock forrajero se reduce entre un 13 y 18 %.

e) Cuando se incrementa la suplementación, el consumo diario de forraje por hectárea es menor y por lo tanto hay una menor velocidad de rotación de pastoreo en los potreros, permitiendo culminar el mes de la simulación con una pequeña menor disponibilidad de forraje en relación al inicio del período.

Síntesis de resultados de Exp. III base alfalfa: En condiciones invernales donde las condiciones hídricas favorables (condición intermedia) permiten el acceso al pastoreo (no hay limitantes en las condiciones de “piso”) y condiciones intermedias de temperatura se simulan 3 efectos de manejo del sistema:

Cambios en la carga animal, en la asignación de forraje por vaca/día y en los niveles de suplementación generaron resultados productivos diferentes a nivel de la producción de leche por hectárea, y una respuesta importante en la producción por vaca a incrementos a la mayor suplementación.

Incrementos en la carga, logran aprovechar mejor el forraje disponible, pero si se incrementa la suplementación se logra producir de acuerdo al potencial del rodeo simulado, se mejora la condición corporal y se logra mantener una mayor cantidad de forraje en pie, para el siguiente mes.

En la carga menor (0,8 vacas/ha), se obtuvieron respuestas productivas similares cuando se incrementa la asignación, y a través de incrementar la suplementación sin afectarse la condición corporal.

En la medida que las condiciones de temperatura se vuelvan más desfavorables, las tasas de crecimiento se reducirían y sería más adecuado un manejo en el entorno de 10 kilos de asignación por vaca/día, dado que mayores asignaciones tendrían como consecuencia una menor cantidad de forraje para el mes siguiente.

La mayor productividad del sistema, en este contexto se lograrían con 1,6 vacas/ha, con una asignación de 10 kilos de MS por vaca/día, con una suplementación de 7 kilos de ensilaje de maíz consumido, 5 kilos de MS de grano de maíz consumido y 2 kilos de expeller de soja por vaca/día.

Resultados Exp. III/Pradera: El diseño de este experimento es igual al anterior, cambiando la composición de las especies que componen las pasturas perennes de la rotación, siendo la misma una combinación de trébol blanco, lotus y festuca.

Dado el mayor crecimiento en el los meses previos, en relación al sistema base alfalfa, sí cambian los valores de disponibilidad inicial de forraje (ver cuadros 44 y 45).

Los tratamientos son la evaluación de diferentes combinaciones de asignación de pasturas y suplementación, para 3 niveles de carga animal: 0,8 1,2 y 1,6 vacas por hectárea.

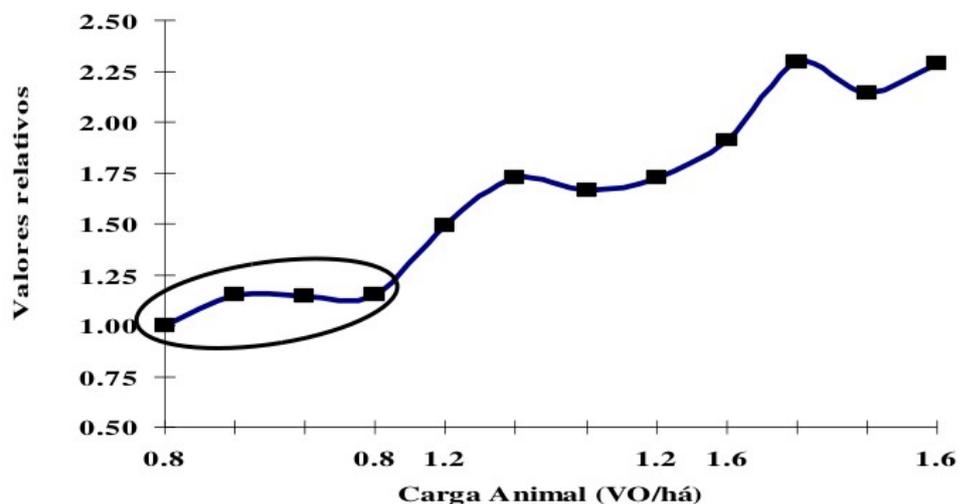
Cuadro N° 51: Resultados productivos por vaca y por hectárea de los tratamientos simulados.

Carga	Asignación	Suplementación	litros/Vaca	Litros/ha	Índice
0,8	10	10	18,9	454	1,00
0,8	10	14	21,7	522	1,15
0,8	15	10	21,6	519	1,14
0,8	15	14	21,7	522	1,15
1,2	10	10	18,8	676	1,49
1,2	10	14	21,7	783	1,72
1,2	15	10	21,0	755	1,66
1,2	15	14	21,8	783	1,72
1,6	10	10	18,1	867	1,91
1,6	10	14	21,8	1043	2,30
1,6	15	10	20,3	974	2,14
1,6	15	14	21,7	1040	2,29

La producción potencial de estos rodeos, con parición de mediados de febrero, promedio del mes es de 21,8 litros por vaca por día.

Como se observa en el cuadro 51, las consideraciones son similares que en el experimento anterior, existe una mayor producción por hectárea a medida que se incrementa la carga (1,6 VO/ha).

Gráfico N° 17: Cambios en la producción por hectárea, como respuesta al incremento de carga animal.



Los cuadros 52 y 53, muestran la respuesta diferencial de la suplementación y la asignación de forraje para los 3 niveles de cargas ensayados.

Cuadro N° 52: Respuesta en la producción de leche por vaca/día a incrementos en la suplementación, según carga animal. Asignación: 10 kilos por vaca/día.

Carga	Cambio suplementación	Cambio litros/ vaca	Respuesta
0,8	4	2,8	0,71
1,2	4	3,0	0,74
1,6	4	3,7	0,92

Cuadro N° 53: Respuesta en la producción de leche por vaca/día a incrementos en la suplementación, según carga animal. Asignación: 15 kilos por vaca/día.

Carga	Cambio suplementación	Cambio litros/ vaca	Respuesta
0,8	4	0,1	0,04
1,2	4	0,8	0,19
1,6	4	1,4	0,34

De ambos cuadros, se observa:

- a) Las respuestas a la suplementación fueron mayores, a menores asignaciones. Aspecto que parece muy razonable en la medida que los requerimientos animales no son cubiertos en la asignación menor.
- b) En asignaciones menores, se observó una tendencia a obtener mayores respuestas a medida que se incrementa la carga. Asociada a un mayor consumo de forraje por hectárea.
- c) Con asignaciones mayores, no se observaron incrementos en la producción en la carga menor. Con incrementos en la carga se observaron respuestas crecientes a medida que aumentó la carga de 1,2 a 1,6 vacas por hectárea. Por lo cual existe una interacción entre carga y asignación y suplementación, que implica mayores respuestas a la suplementación asociadas a mayores cargas, por un mayor consumo por hectárea de forraje, siendo la asignación la variable de control del forraje disponible.

Cuadro N° 54: Respuesta en la producción de leche por vaca/día a incrementos en la asignación de pastura, según carga animal, suplementación: 10 kilos por vaca/día.

Carga	Cambio asignación pastura	Cambio litros/vaca	Litros/kg
0,8	5	2,7	0,54
1,2	5	2,2	0,44
1,6	5	2,2	0,45

Cuadro N° 55: Respuesta en la producción de leche por vaca/día a incrementos en la asignación de pastura, según carga animal. Suplementación: 14 kilos por vaca/día.

Carga	Cambio asignación pastura	Cambio litros/vaca	Cambio litros/kg
0,8	5	0,0	0,00
1,2	5	0,0	0,00
1,6	5	-0,1	-0,01

Los cuadros 54 y 55, indican el impacto del incremento en la asignación de pasturas, para los niveles de suplementación simulados de acuerdo a las cargas animales experimentadas.

Se observó una respuesta media en la producción de leche, cuando se incrementó la asignación en 5 kilos de MS/vaca., para el nivel inferior de suplementación.

En el nivel superior de suplementación (14 kilos de reserva+concentrados), no se observaron respuestas al incrementar la asignación de forraje.

Finalmente, en este experimento, se reporta el cambio de forraje en pie disponible, según los tratamientos analizados.

Cuadro N° 56: Efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad final de forraje en la rotación base pradera. Valores en kilos de materia seca por hectárea.

	Carga : 0,8				Carga : 1,2				Carga : 1,6			
AP	10	10	15	15	10	10	15	15	10	10	15	15
Suplementación	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14
Inicio (kg MS/ha)	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041
Final (kg MS/ha)	1151	1151	1058	1068	1034	1067	995	1077	995	956	818	
Cociente Final/Inicial	1,11	1,11	1,02	1,03	0,99	1,02	0,96	1,03	0,96	0,92	0,79	

Como ya se ha expresado, en esta rotación se logran mejorar aun más la relación de existencia final/inicial para los diferentes niveles de carga animal.

La explicación de ello es una mayor tasa de crecimiento de estos componentes de la rotación, en relación a la rotación “base alfalfa”.

En la carga menor (0,8), se logró “acumular forraje en pie para el próximo mes”, sobre todo con asignaciones menores de forraje y para los 2 niveles de suplementación. Incrementos en la asignación y suplementación baja, se observó que en la carga mayor se reduce en un 21 % la disponibilidad promedio al finalizar el período simulado.

Discusión: En esta rotación similar en su diseño, cambiando las especies en los componentes perennes, se obtienen similares tendencias que en la rotación base alfalfa.

Las magnitudes de las respuestas a la suplementación y asignación son algo inferiores, en función de la diferente disponibilidad inicial de forraje, y las tasas de crecimiento diferenciales. Se visualiza una relación “óptima” en el manejo del

conjunto de los recursos, donde un manejo con altas cargas permite incrementos importantes en la producción por hectárea, en base a incrementos en el aporte de suplementación y logró mantener la producción individual, se logra un adecuada relación consumo de forraje: crecimiento, y se logró finalizar el período evaluado con similar cantidad de forraje disponible para el siguiente mes.

En la medida que el técnico simule otras condiciones ambientales, tanto por exceso de agua en el suelo como por déficit, el manejo de cargas mayores exigiría incrementos importantes en los niveles de suplementación, dado que se reduce el área de pastoreo ante la necesidad de realizar el cuidado de las pasturas disponibles, para mantener la productividad futura de las mismas.

4. CONCLUSIONES

El modelo de simulación permite realizar experimentos y/o evaluaciones de corto plazo, logrando evaluar diferentes decisiones tácticas y operacionales.

Utilizar el modelo de simulación desarrollado requiere un conocimiento previo de los sistemas de producción de leche. Los valores iniciales de las principales variables de estado requeridas deben ser cuantificados en forma precisa a los efectos de que la simulación genere resultados confiables.

Los experimentos realizados permiten visualizar el potencial del uso del modelo en apoyo a la toma de decisiones, permitiendo evaluar diferentes medidas de manejo en escenarios de condiciones ambientales contrastantes. El modelo logra una adecuada aproximación para que el asesor técnico cuantifique diferentes alternativas a los efectos de la toma de decisiones tácticas, pudiendo constituirse en una herramienta complementaria a la observación y evaluación agronómica del sistema productivo.

A través del uso del modelo se podrá lograr un adecuado entrenamiento a futuros asesores técnicos en la necesaria integración de los componentes animal-vegetal y sus interacciones, permitiendo mejoras en el desempeño de los profesionales de las ciencias agrarias. Los experimentos simulados con el modelo permiten generar nuevas hipótesis de trabajo y/o decisión para el técnico que realiza un control continuo del proceso productivo.

Próximas etapas en el desarrollo del modelo incorporarán un submodelo de microeconomía, que contenga precios de insumos y productos y que integre subrutinas de cálculos económicos de corto plazo. En el mismo sentido, se plantea como mejorar a futuro, permitir ingresar parámetros específicos de cada sistema de producción sobre el estado actual de los suelos de cada potrero a los efectos de mejorar la precisión en las estimaciones del estado del recurso suelo y sus atributos, que permitan una mejor precisión en indicadores de capacidad de almacenaje de agua del suelo. Iguales consideraciones deben ser utilizadas en el valor nutritivo de los alimentos, permitiendo que el usuario pueda ingresar información específica o

propia del valor nutritivo de los alimentos disponibles para cada sistema de producción el particular.

La incorporación de nueva información experimental permitirá que el modelo, en futuras versiones, incorpore nuevas evidencias científicas a los efectos de lograr por aproximaciones sucesivas para mejorar la capacidad de reproducir la dinámica de los sistemas de producción de leche del Uruguay.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar R, Cañas R. 1992. Análisis de sistemas y simulación de modelos para la resolución de problemas agrícolas. *Ciencia e Investigación Agraria*, (19):1-2.
- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Cap 6. [En línea]. 23 de abril de 2009. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- Artagaveytia J, Giudice G. 2009. Costos y criterios para la planificación. CONAPROLE, Florida 17 de octubre del 2009. 18 pp.
- Bargo F. 2009. Suplementación en pastoreo. Conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo [En línea]. 23 de abril del 2009. Disponible en:
www.agr.uba.ar/cátedra/p_lechera/bargo.pdf
- Bargo F, Muller LD, Kolver ES. 2003. Production and digestion of supplement dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86(1):1-42.
- Caird L, Holmes W. 1896. The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 107, 43-44.
- Cangiano CA, Fernández H, Galli J. 1999. Con-Past 3,0. Programa de computación para la estimación de consumo de bovinos en pastoreo. INTA Balcarce Cap.1, pág 1-17.
- Castellaro, GL. 2003. Crecimiento de praderas mesofíticas a largo plazo, en respuesta a factores edafoclimáticos y modalidades de defoliación. Tesis Magíster en Ciencias Animales. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile. 132 pp.
- Correa HC. 2004. El modelo NRC 2001. Universidad Nacional de Colombia, Dpto. de Producción Animal. 21 pp.
- Chilibroste P. 2002. Integración de patrones de consumo y oferta de nutrientes para vacas

- lecheras en pastoreo durante el período otoño – invernal. XXX Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú 30 de junio 2002. Pp: 90 – 96.
- Chilibroste P, Ibarra D, Zibil S, Laborde D. 2003. Proyecto Alimentación Reproducción. Informe Final, CONAPROLE, Área de Producción Lechera y RRCC, Junio 2003. 47 pp.
- Cruz G. 2009. Efecto del estrés por calor en la producción de leche de vacas Holstein en Uruguay. Seminario II de Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 17 pp.
- Delgarde R, O'Donovan M. 2005. Les modeles de prevision de l'ingestión journaliere d'herbe et de la production laitière des vaches ua pasturage. INRA Productions Animales, 18(4): 241-253.
- Dijkman JT, Lawrence PR. 1997. The energy expenditure of cattle and buffaloes walking and working in different soil conditions. Journal of Agricultural Science, 128: 95-103.
- Durán H, Alles G, La Manna A, Ravagnolo O. 2009. Plan-T Nueva herramienta informática para el estudio y planificación productiva de predios lecheros. Revista INIA N° 18. Junio 2009, pp: 20-24.
- Durán Oudri H. 1983. Modelo de Simulación para el estudio del manejo de Sistemas Pastoriles de Producción de Leche. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía Departamento de Zootecnia. Tesis de Maestría. Chile. 120 pp.
- Flamenbaum I. 1994. Factores que afectan la producción lechera en la zona Norte. Informe de consultoría en el «Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario». Montevideo: Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. 18 pp.
- Formoso F. 2007. Manual para la siembra directa. Serie técnica del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) N° 161. 148 pp.

- Galli JR, Cangiano CA, Fernández HH. 1998. Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. *Revista Argentina de Producción Animal*, 16(2):119-142.
- Grigera J, Bargo, F. 2005. Informe Técnico. Consultores Elanco Animal Health [En línea]. 16 de marzo del 2009. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar
- Hart RD. 2007. Agroecosistemas: Conceptos básicos. El enfoque de Sistemas en la Agricultura. Selección de bibliografía, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Abril 2007, caps. 1, 3, 4 y 5, pp: 11-67.
- Heard JW, Cohen DC, Doyle PT, Wales WJ, Stockdale CR. 2004. Diet Check - A tactical, decision support tool for feeding decisions with grazing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 112(1-4): 177-194.
- Leborgne, R. 1983. Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en Establecimientos Lecheros. Informe de campo. Proyecto URU/78/004. FUCREA-FAO-PNUD. Editorial Hemisferio Sur, 2ª Edición corregida, 50 pp.
- Lovatto PA, Sauvant D. 2002. Modelos para la toma de decisiones en la Producción de Bovinos y Ovinos. Embrapa - Dpto. Zootecnia U.F.S.M. Cap 2, Santa María R.S. pp: 9-30.
- MGAP. 2009. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – Dirección de Estadísticas Agropecuarias. La producción lechera en el Uruguay. Serie Encuestas N° 278, Agosto 2009. 125 pp.
- MGAP. 2000. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – División de Suelos y Aguas. Compendio actualizado de Suelos del Uruguay (escala 1:1,000,000) –Versión 01. Dirección Nacional de Recursos Renovables.
- Molfino JH, Califra, A. 2001. Agua Disponible de las Tierras de Uruguay. División Suelos y Aguas Dirección Nacional de Recursos Renovables. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Mayo 2001. 12 pp.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle.

Washington D. C. National Academy. 408 pp.

Schils RL, De Haan MHA, Hemmer JGA, De Boer JA, Evers AG. 2007. Dairy Wise, a Whole-Farm Dairy Model. *Journal of Dairy Science*, 90(11): 5334-5346.

Van Wijk M, Rossing W, Meutler E, Skelsey P. 2005. Systems analysis, simulation and systems management. PPS 20306. Wageningen University. 169 pp.

6. ANEXOS

6.1 SÍNTESIS DE ANTECEDENTES

6.1.1 El enfoque sistémico

Desde el punto de vista académico, la investigación en el enfoque sistémico pretende mejorar la comprensión para el aprendizaje (docencia) y además como una potencial herramienta para diseñar y/o realizar experimentos donde existen muchas interacciones entre las decisiones experimentales y los procesos biológicos involucrados. El enfoque de sistemas puede ayudar a formular nuevas preguntas que retro alimentan la generación de nuevos experimentos analíticos.

Razones de economía de recursos y/o tiempos de investigación, pueden dar lugar al uso de herramientas computacionales que pueden ser cuantificadas a través de un modelo complejo en las ciencias biológicas.

6.1.2 El uso de modelos en Sistemas agropecuarios

6.1.2.1 Características generales

Los modelos representan un concepto, objeto o sistema (Aguilar y Cañas, 1992), que se diseña de acuerdo a objetivos que deben ser claramente enunciados. En términos históricos (Elmaghraby, citado por Aguilar y Cañas, 1992), los modelos son aplicados en las siguientes áreas: como ayuda para entender un proceso, como una forma de comunicación, como herramienta de entrenamiento, de capacitación, de predicción de resultados y/o como herramienta de ayuda en la experimentación agrícola.

Los Modelos se pueden clasificar según diferentes criterios (Aguilar y Cañas, 1992), de acuerdo a los objetivos explicitados:

Modelos descriptivos: donde el énfasis es explicar o entender el funcionamiento del

Sistema.

Modelos predictivos: el objetivo es cuantificar cambios en el Sistema, cuando se modifican componentes y/o interrelaciones entre ellos.

Modelos discretos cuando las variables toman solamente valores enteros y/o atributos de clasificación cualitativos o Modelos continuos cuando las variables pueden tomar cualquier número natural.

Los modelos se pueden clasificar de acuerdo a como se diseñan los valores de algunas variables de estado y de salidas en probabilísticos (función de probabilidad) o determinísticos cuando las variables se determinan con certeza. .

De acuerdo a la escala temporal los modelos pueden clasificarse como estáticos, donde no contiene integrada la dimensión del “paso del tiempo” es decir las variables no cambian en función del tiempo. Modelos dinámicos, que si integran la dimensión del transcurso del tiempo.

En el análisis de modelos siempre se debe revisar en forma sistémica el balance del Modelo con relación al Sistema en dos aspectos: fidelidad y precisión: Alta fidelidad entre el Modelo y el Sistema se requiere en modelos educativos y/o de capacitación, siendo la precisión menos relevante. En cambio si el objetivo principal del Modelo es de carácter predictivo, la precisión es lo más relevante. En el caso de los Modelos de Simulación se debe lograr un adecuado balance entre fidelidad y precisión.

6.1.2.2 Modelos de simulación

Un modelo de simulación es la construcción de modelos matemáticos y el estudio de su comportamiento. El objetivo principal de los mismos es poder predecir el comportamiento del modelo, ante cambios de condiciones definidas por el investigador experto y/o cambios en las condiciones de escenarios externos. La mayoría de los modelos de simulación se caracterizan por ser dinámicos.

A nivel agropecuario, los ámbitos de decisiones se pueden diferenciar en tres aspectos, de acuerdo al alcance de las mismas. Decisiones estratégicas hacen referencia a los objetivos y planificación de largo plazo; decisiones tácticas se refieren al uso eficiente de los recursos disponibles, en un horizonte de mediano a corto plazo y finalmente decisiones operacionales, las cuales abarcan el uso de las tecnologías a una escala temporal menor (menos de un año).

6.1.2.3 Construcción de modelos de simulación

Las etapas de en la elaboración de un modelo de simulación (Aguilar y Cañas, 1992) comprenden los siguiente pasos.

Definición de Objetivos: Consiste en definir con precisión lo que se pretende con el modelo. Se incluye dentro de los objetivos: el problema a estudiar, los componentes del modelo, los límites espaciales y temporales y las medidas de efectividad a ser usadas en la evaluación del modelo.

Análisis del Sistema: Para modelar es necesario entender el sistema de estudio. A partir de dicho análisis, se pueden identificar las variables y su clasificación y orden jerárquico a los efectos de delinear las interrelaciones que se pretenden con el modelo a los efectos de poder representar en forma adecuada la realidad.

Síntesis del Sistema: Esta etapa comprende algunas o todas de los siguientes elementos: elaboración de diagramas de flujo, algoritmos, declaración de hipótesis, búsqueda y revisión de información de bases de datos, ecuaciones empíricas, entre otros elementos.

Verificación: En esta etapa, se hace una revisión e interpretación crítica de las funciones matemáticas seleccionadas y si los resultados esperados revisten valores considerados adecuados a la realidad que se pretende simular.

Validación: Consiste a través de diferentes técnicas, que el modelo logra una

adecuada representación de la realidad, con determinados niveles de confianza.

Lo usual es el uso de técnicas estadísticas de correlación de concordancia y estimación del error relativo de predicción (Durán, H. 2009). Existen otras técnicas de evaluación que se basan en opiniones de grupos de expertos, (por ejemplo: métodos de Turing y Delphi, citados por Aguilar y Cañas,1992)

Experimentación: Ejecución del modelo de simulación a los efectos de generar la información deseada. Dado el planteo de escenarios posibles, se toman decisiones y se obtienen resultados. Los escenarios pueden comprender desde decisiones del usuario en la asignación de recursos, como de experimentos virtuales. Estos experimentos virtuales comprenden la definición de hipótesis a verificar y su correspondiente inferencia estadística, análisis de sensibilidad.

Documentación: Dentro de la documentación, se debe contemplar aspectos centrales de la lógica del modelo, las suposiciones y simplificaciones. En general incluye la redacción de un manual de operación y uso del mismo.

6.1.2.4 Uso de modelos a nivel internacional

Castellaro (2003) revisa y comenta algunos modelos desarrollados a nivel internacional sobre todo en referencias a modelización del crecimiento de la biomasa vegetal. La mayoría de los modelos son de tipo mecánicos y el propósito principal de los mismos es la investigación y/o predecir resultados productivos.

Grassland Ecosystem Model (Nouvellou et al., USA, 1997).

Es un modelo que pretende predecir efectos de cambio climático a través de cambios esperados en la temperatura y incrementos en la concentración de CO₂ en la atmósfera. Las variables de entrada son la precipitación diaria, temperaturas máximas y mínimas, velocidad del viento humedad relativa y temperatura del suelo. Modela el crecimiento vegetal, descomposición y ciclos de principales

macronutrientes. Es un modelo de largo plazo, con estimaciones anuales.

Century (Metherell et al., USA, 1993).

El objetivo es analizar la dinámica de la materia orgánica del suelo con respecto a cambios de manejo y de clima. El modelo trabaja a escala mensual y simula cambios en los flujos de carbono, nitrógeno y fósforo. Las variables de entrada son el uso del suelo de acuerdo a tipos de cultivos (manejo), nivel inicial de carbono total, diferentes fracciones de carbono orgánico. Las salidas cuantifican información sobre el ciclo del carbono y el nitrógeno, producción de biomasa, cambios en el carbono y sus fracciones, cambios en la materia orgánica del suelo.

Elakala Rangeland Hydrology and Yield Model (ERHYM).

Simula el balance hídrico diario y calcula rendimiento anual en función de la relación entre transpiración real (TR) y la transpiración potencial (TP). Las variables de entrada son temperaturas máximas y mínimas, radiación solar y precipitación; atributos de los suelos como el valor de capacidad de campo, coeficiente de marchitez permanente para cada horizonte del suelo, el contenido inicial de agua del suelo. La salida es el crecimiento vegetal en función del balance diario de agua del suelo y la demanda atmosférica.

GrassGro (Donnelly et al., Australia, 2004).

Integra submodelos de crecimiento de pasturas gramíneas y/o leguminosas. Requiere como variables de entrada información de datos climáticos y variables animales (producción potencial, peso vivo, etc). Como variables de salida predice el crecimiento vegetal de especies perennes y/o anuales, el consumo animal y la producción de carne, leche, lana.

GRAZE (Parsch y Loewer, 1995).

Combina 2 submodelos. Un primer modelo del crecimiento vegetal, de acuerdo a variables climáticas. Un segundo submodelo que integra la demanda animal. Las

salidas describen el crecimiento vegetal, el consumo animal y la producción animal. Es específico para ganado bovino de carne en pastoreo. Opera a una escala diaria de resolución.

Dairy Forage System Model (Rotz et al., 1989).

Desarrollado para producción de leche. Es un modelo que solo incluye maíz y alfalfa, en sistemas sin pastoreo (cosecha mecánica) y con conservación de forraje. Las variables de entrada son el crecimiento vegetal en función de condiciones climáticas y nutrición vegetal. Del componente animal se ingresa variables de demanda animal como potencial genético, peso vivo.

GRASIM (Mothar et al., 1997).

Modelo de simulación para pastoreo rotativo con ganado lechero. Tiene cuatro submodelos, donde integra crecimiento de pasturas, balance de nutrientes a nivel del suelo y pérdidas por percolado, demanda anual del rodeo, precios de insumos y productos. Las variables de entrada son: disponibilidad de forraje por potrero, clima (lluvias, temperaturas, radiación solar), disponibilidad de nitratos en el suelo, tipo de suelo, itinerario de pastoreo. Las salidas principales son producción de leche, consumo de pasturas, balance de carbono y nitrógeno, indicadores ambientales y financieros.

Diet-Check (Heard J. W., Cohen D. C., Doyle P. T., Wales W .J., Stockdale C. R. 2004. Australia).

Modelo desarrollado para producción de leche sobre pasturas irrigadas de la región norte de Victoria. El modelo se desarrolló para pastoreo en franjas diarias de asignación, con suplementación en base cebada. Las variables de entrada son el número de vacas, peso vivo, condición corporal, consumo concentrado, asignación de forraje. En el componente vegetal, se utiliza información experimental de calidad y crecimiento de la pastura. Se ingresa precio de la leche y del concentrado. Las variables de salida son consumo de concentrado y pastura, producción de leche,

balance de nutrientes, beneficio económico.

Dairy Wise (Schils et al., 2007).

Es un modelo empírico que simula decisiones técnicas, impactos ambientales y financieras de procesos técnicos a escala predial. Integrado por varios submodelos: balanceo de nutrientes del rodeo (Submodelo Dairy Herd), submodelo de Desarrollo de Cultivos: Pasturas y Ensilaje de Maíz, en los aspectos ambientales se efectúan rutinas de balance y ciclo de nitrógeno, fósforo, lavado-filtración de nitratos, emisiones de amonio, emisiones de gases de efecto invernadero, uso de energía. Las salidas centrales reflejan el plan de producción del predio, el flujo de de nutrientes, y los resultados en el medio ambiente y las finanzas del predio.

De acuerdo a la literatura internacional revisada, se considera que el desarrollo de modelos agroecológicos y pecuarios es una herramienta que se usa intensivamente a nivel mundial, con objetivos diversos. Son modelos de sistemas complejos, con una cantidad importante de variables, que interactúan entre sí y todos tienen un componente dinámico, que pretende describir y predecir el comportamiento de las variables a través del tiempo.

De la literatura revisada, todos los trabajos reportan la creación de modelos que operan a una escala estratégica de un año o aún mayor período de tiempo. No se encontró en la revisión bibliográfica que reporte estudios para decisiones tácticas y operacionales. En Uruguay, la gran mayoría de los técnicos asesores concurren con una frecuencia mensual a los sistemas de producción, donde se realizan decisiones tácticas y operacionales, por lo que el modelo desarrollado se adecua a la ayuda de la toma de decisiones a esa escala temporal.

6.1.2.5 Sistemas lecheros en el Uruguay

Previo a describir los antecedentes de la creación y el uso de modelos en la producción lechera en Uruguay, se considera pertinente realizar una breve

caracterización de los componentes generales de los sistemas de producción de leche.

Instituciones públicas (MGAP, 2009) ha documentado, a través de diferentes tipologías, la alta variabilidad de sistemas de producir leche en el país. Dicha variabilidad está asociada a resultados de producción, productividad, cantidad y calidad de recursos naturales, de capital y de recursos humanos. La actividad lechera en Uruguay se considera de base pastoril, dicha característica se basa en que el rodeo lechero cosecha en forma directa a través del pastoreo, el 50 % o más de la materia seca consumida, en el promedio del año. La base pastoril del sistema, implica que hay una producción vegetal primaria, la cual es diseñada y ejecutada por el responsable del predio. La misma, se realiza sobre un determinado estado del recurso natural fundamental, que es el suelo. La producción vegetal se traduce en determinados arreglos espaciales y en forma dinámica con el transcurrir del tiempo. Se percibe la producción vegetal a través de una serie de de decisiones agronómicas, definida como la rotación forrajera o cadena forrajera.

La rotación forrajera constituye el arreglo espacial y temporal de asignación de determinadas especies y/o combinaciones de especies, con el objetivo de obtener una determinada producción estacional y anual de forraje. Dicha rotación forrajera es la manifestación de decisiones estratégicas, tácticas y/o operacionales.

La producción y productividad de la rotación forrajera es la resultante de factores que interactúan entre sí, variables no controlables como la lluvia y la temperatura, y variables internas controlables como el grado de enmalezamiento, la intensidad de pastoreo, la carga animal. Dichos factores en interacción permanente generan una gran diversidad de resultados en términos de producción y utilización de la pastura, generando diferentes niveles de productividad animal. Información predial de los sistemas con registración detallada del proceso bio-económico, reportan una variabilidad importante en términos de producción y consumo estimado de pasturas (Artagaveytia y Guidice, 2009). En este contexto, de base pastoril, los animales son

sometidos a un sistema de combinación variable de alimentos, entre estaciones, entre días y aún dentro de la actividad diaria. Por lo cual se requiere una evaluación y revisión continua de la asignación de recursos alimentarios y de manejo del pastoreo.

Las principales interacciones, entre el componente animal y vegetal, se expresan a través de una producción forrajera, conformada por diferentes especies, que conforman la producción forrajera y que interactúa con otros alimentos producidos y/o importados por el sistema de producción. En este contexto las decisiones estratégicas, tácticas y operacionales, requieren ser revisadas a una escala de tiempo reducida, a los efectos de mantener la operatividad del sistema en el mediano plazo. Decisiones operativas a escala diaria, afectan la respuesta productiva rápidamente y generan respuestas residuales a nivel de todo el sistema productivo, tanto en los componentes vegetales y animales.

Los sistemas de producción de leche en Uruguay, enfrentan la necesidad de tomar decisiones complejas, que fundamenta la elaboración de nuevas herramientas de apoyo para la toma de decisiones en tiempos adecuados. La posibilidad de contar con un modelo que puedan integrar las variables relevantes y sus interacciones, permitirá disponer de una herramienta adecuada que permite representar la dinámica de un sistema complejo.

6.1.3 Uso de modelos en sistemas de producción de leche en Uruguay

6.1.3.1 Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros, Raúl Leborgne

Es importante puntualizar el contexto histórico en el que se desarrolló dicho modelo de presupuestación forrajera. En ese momento, no se tenía acceso generalizado a computadoras personales para el trabajo profesional. El apoyo tecnológico disponible se limitaba al uso de calculadoras simples para la cuantificación del modelo. Los servicios profesionales agrarios, se encontraban en etapas iniciales en el

apoyo a la gestión de los sistemas prediales. Se iniciaba la metodología de trabajo en Grupos CREA, el Servicio de Extensión Agronómica de CONAPROLE se abocaba a la formación de Grupos Lecheros, a los efectos de lograr organización social de los productores, con el objetivo de incrementar la aplicación de tecnologías disponibles. Comenzaban el ingreso de Ing. Agrónomos y Méd. Veterinarios a cumplir el asesoramiento técnico a nivel de Grupos Lecheros. La investigación nacional se encontraba muy limitada de recursos materiales y sobre todo de recursos humanos, producto del desmantelamiento de personal científico llevado a cabo por la dictadura.

El modelo propuesto se comenzó a desarrollar en el año 1978, siendo la primera edición publicada en el año 1983.

a) Objetivos del modelo:

El desarrollo de una metodología de presupuestación física y económico-financiera que permita comparar distintas alternativas de producción, así como desarrollar planes de desarrollo predial.

b) Destinatarios para el Uso del Modelo:

Profesionales de las ciencias agrarias, productores con destacado grado de motivación y/o con sistemas de producción con alto grado de avances de incorporación de tecnologías.

c) Base Conceptual.

El modelo conceptual de esta propuesta se basó en los siguientes aspectos:

Componente Vegetal: Sistematización de información disponible de ensayos parcelarios de producción de forraje de las especies disponibles a la fecha. Dicha información se desagregó a una escala estacional y mensual. A partir de dicha información se generaron tablas de producción de verdeos anuales (invierno y verano), pasturas perennes sembradas, campo natural mejorado, campo natural.

Componente Animal: La metodología trabaja sobre todo el rodeo lechero, Vacas Masa y Recría. Se elaboró un equivalente ganadero, adaptado a la lechería, en la medida que los antecedentes que se utilizaban era la Unidad Ganadera (U.G.), la cual no representaba adecuadamente los requerimientos del rodeo lechero, en relación al rodeo de producción de carne. Dicha equivalencia se le llamó Equivalente Vaca Lechera (EVL), en la cual generó una escala lechera, tomando como centro el requerimiento promedio de una vaca el ordeño. Esta equivalencia (EVL=1), representó los requerimientos de una vaca de 500 kilos de peso vivo, con un potencial de producción de leche de 3800-4000 litros por lactancia, con una capacidad de consumo del 3 % del peso vivo.

d) Interacción entre Componente Animal-Vegetal:

La integración entre estos componentes se ajustó de acuerdo a los siguientes criterios:

La producción de las opciones forrajeras se asignó un porcentaje de utilización promedio independiente del tipo de pasturas. La única variante fue manejar dos valores, según las estaciones del año. Para otoño y invierno, el porcentaje de utilización estimado seleccionado fue del 70 %, para primavera y verano, el porcentaje de utilización seleccionado fue del 60 %, en función de que en estas estaciones las tasas de crecimiento son mayores y debido que a partir del final de la primavera la calidad desciende (menor digestibilidad). Se asignan valores de digestibilidad promedio por estación, con información experimental y a través de consultas de opinión a expertos.

e) El sistema opera a una escala temporal del año y estacional.

f) Base Nutricional del Modelo. El modelo asume como fuente única de suministro de nutrientes a los forrajes cosechados directamente por el animal. El nutriente que ajusta es la Energía. En ese contexto, asume una densidad de Energía Bruta de la pastura de 4,4 Mcal/kilo de materia seca. La fundamentación de ello, se basa en que el primer nutriente limitante de los sistemas lecheros es la energía.

Síntesis y comentarios:

El modelo desarrollado, fue muy adecuado al contexto histórico de la lechería en el Uruguay. Evidenció el estado del conocimiento en la producción animal y su integración en la interfase suelo-pastura-animal. A la fecha actual, se continúa utilizando en la docencia, gestión y programación de predios.

Se hace una precisa definición de los límites del sistema: escala predial, tomando en cuenta el total del componente animal (Rodeo). Se modela la producción y utilización de forraje a partir la información experimental parcelaria disponible a la fecha. Es un modelo determinístico y estático. No integra interacciones del ambiente sobre el crecimiento vegetal, tampoco a nivel de la interfase planta-animal.

6.1.3.2 Modelo de simulación para el estudio del manejo de sistemas pastoriles de producción de leche (Plan-T), Henry Durán

El presente modelo, corresponde a la tesis de maestría, desarrollado por el Ing. Agr Henry Durán en el año 1984. La sigla de este modelo se conoce como Plan T.

a) Objetivos del modelo: (cita textual)

Desarrollo de un modelo de simulación que permita representar sistemas pastoriles de producción de leche.

Estudiar el efecto de las principales decisiones de manejo y alimentación sobre la productividad total del sistema, así como sobre el comportamiento productivo individual de las vacas y las principales variables de las pasturas que afectan al mismo.

En la investigación se explicita la hipótesis de trabajo:

La hipótesis que sustenta el presente trabajo de tesis es que la información

disponible en la literatura científica universal, permite realizar un modelo de simulación del comportamiento productivo de vacas lecheras, básicamente consumo y utilización de la energía en las diferentes funciones productivas, que permita estimar la producción de leche y la variación de peso de las vacas con un error menor al 10 %.

b) Objetivos planteados en el uso del modelo:

Ayuda al diseño de nuevas líneas de Investigación sistémica y analítica. Ayuda a la evaluación y diseño de sistemas de producción de leche

c) Base Conceptual.

En la fase del componente vegetal se sistematiza información disponible de ensayos parcelarios de producción de forraje de las especies disponibles a la fecha. Integrando el concepto de tasa de crecimiento diario de las pasturas. Se ingresa como variables de entrada el uso del suelo, a través de la codificación de pasturas, se seleccionan secuencias en la toma de decisiones para cada potrero a nivel del año. Se integra el concepto de rotación forrajera a una escala anual, como ámbito de toma de decisiones. Incorpora el concepto de potreros y/o áreas destinados a la confección de reservas forrajeras para su consumo diferido.

A nivel del componente Animal la metodología trabaja sólo con el rodeo de Vaca Masa, ofrece la posibilidad, como variables de entrada, diferenciar diferentes potenciales genéticos, peso vivo y diferentes épocas de parición (variación estacional en la demanda). Se presenta en el modelo el manejo reproductivo, a través de una variable de entrada, que es el Intervalo inter partos (IIP).

En la integración entre estos componentes vegetal-animal, se asigna un porcentaje de utilización promedio por estación, independiente del tipo de pasturas. Se ingresa la información del consumo de pastura objetivo (variable de entrada), de reservas de forraje y de un concentrado genérico. Incorpora la suplementación, con un valor de calidad promedio y único (equivalente a afrechillo de trigo). Selecciona (variable

entrada) potreros de uso para las 2 categorías animales que componen el sub-modelo animal: Vacas Ordeño y Vacas Secas.

La base nutricional del modelo es la confrontación diaria de oferta y demanda de energía de cada lote animal. En una segunda versión se agregó una revisión del aporte de proteína cruda de la dieta.

Síntesis y comentarios

El modelo Plan T, fue el primer software generado a nivel de la lechería en el Uruguay. El diseño del modelo ha tenido el gran mérito de integrar los principales grupos de alimentos (pastura:reservas:concentrados) dominantes en la alimentación del rodeo lechero. El grado de interacción de los alimentos, y los conocimientos de efectos de la pastura sobre el animal, y viceversa, se adecuó al avance de los conocimientos disponibles de la época. Fue un modelo que tuvo una gran trascendencia en la definición de hipótesis experimental, para las propuestas de investigación de INIA, durante la década del 90 fue utilizado en la enseñanza en forma extensa en el Programa Taller de Gestión de Empresas Lecheras (Álvarez y Mello, 2010, com. pers.) de la Facultad de Agronomía. Fue utilizado y validado en condiciones comerciales, por técnicos del Servicio de Extensión de CONAPROLE y asesores de Grupos Lecheros a mediados de la década del 90

Desde el punto de vista del Diseño del Modelo:

Es un modelo determinístico, ya que no utiliza elementos de aleatoriedad en sus resultados (variables de salida). Dinámico, ya que se diseñó para evaluar el comportamiento de las variables animales y vegetales en forma diaria, para un recorrido de un año (marzo-febrero). Muy adecuado para el análisis y para la toma de decisiones a nivel de estrategias de largo plazo. Permite diseñar y analizar diferentes combinaciones de rotaciones forrajeras, carga animal, potencial genético y uso de alimentos complementarios (reservas y concentrados).

6.1.4 Síntesis de antecedentes nacionales e internacionales

Diferentes modelos de simulación han sido desarrollados en diferentes regiones del mundo, de acuerdo a objetivos planteados por equipos de investigación. La creciente necesidad de poder documentar procesos complejos, con importante número de variables, que interactúan entre sí, han encontrado en los modelos de simulación, una herramienta adecuada a los efectos de lograr los objetivos para lo cual fueron diseñados.

En Uruguay, se reportan dos antecedentes en el uso de modelos que han sido usados por investigadores, estudiantes y asesores de empresas lecheras como apoyo para la toma de decisiones. Estos modelos han sido de gran utilidad, y lo son actualmente, cuando los objetivos son evaluar posibles opciones estratégicas, a un nivel de resolución de mediano plazo. Seleccionar rotaciones, evaluar diferentes cargas animales, estrategias de elaboración de reservas de forraje, son preguntas frecuentes que pueden ser contestadas con el uso de estos modelos.

La presente investigación tiene por objetivo la creación de una herramienta que ayude a evaluar decisiones tácticas de corto plazo, teniendo en cuenta la evaluación del estado actual o inicial de las variables relevantes. Para ello se requiere que el técnico asesor concorra al predio y actualice y evalúa el estado de las principales variables involucradas a los efectos de determinar las posibles decisiones tácticas y operacionales que se deben de realizar.