

T. 3079A



**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**ESTRATEGIAS DE SUPLEMENTACION EN VACAS  
LECHERAS HOLANDO EN PASTOREO:  
MODELO DE SIMULACIÓN**

Por

**CARIBONI Santiago  
KUCHMAN Martín**

TESIS presentada como uno  
de los requisitos para obtener  
el título de Ingeniero  
Agrónomo.

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
MONTEVIDEO

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**2002**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Ph. D. Pablo Chilibroste

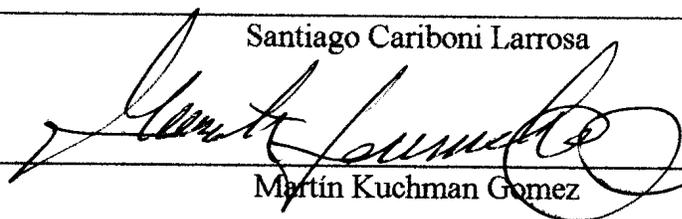
Ing. Agr. Virginia Beretta

Ing. Agr. Pablo Soca

Fecha:

Autores:

Santiago Cariboni Larrosa



Martin Kuchman Gomez

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la dedicación de todas las personas que de una u otra manera colaboraron con la realización de este trabajo.

Agradecemos muy especialmente a nuestras familias por el apoyo incondicional que nos han brindado siempre.

Agradecemos también a nuestras compañeras Carina y Débora por su apoyo y comprensión en el transcurso de este esfuerzo.

A nuestros directores de tesis y muy especialmente a su director: Pablo Chilbroste, cuya tenacidad hizo posible la realización de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>REVISION BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>7</b>
2.1	SISTEMAS Y SIMULACION .....	7
2.1.1	<i>Generalidades .....</i>	7
2.1.2	<i>Propiedades de los sistemas.....</i>	10
2.1.2.1	Sinergia .....	10
2.1.2.2	Recursividad .....	10
2.1.2.3	Jerarquía.....	10
2.1.2.3.1	Características de la organización jerárquica .....	10
2.1.2.4	Homeostasis .....	10
2.1.3	<i>Antecedentes.....</i>	12
2.1.4	<i>Modelos de simulación.....</i>	12
2.1.4.1	Concepto de Modelos de Simulación .....	12
2.1.4.2	Cuando es útil la Simulación .....	13
2.1.4.3	Desventajas de la simulación.....	14
2.1.4.4	Clasificación de los modelos .....	14
2.1.4.4.1	Según el grado de abstracción .....	14
2.1.4.4.1.1	Isomórficos:.....	14
2.1.4.4.1.2	Homomórficos: .....	14
2.1.4.4.2	Según el nivel de resolución.....	16
2.1.4.5	Función de los Modelos .....	16
2.1.4.6	Etapas en la elaboración de un modelo de simulación .....	17
2.1.5	<i>CONCLUSIONES.....</i>	18
2.2	CONSUMO.....	19
2.2.1	<i>Factores que afectan el consumo.....</i>	19
2.2.1.1	Factores asociados al animal.....	21
2.2.1.1.1	Edad.....	22
2.2.1.1.2	Peso vivo (PV).....	22
2.2.1.1.2.1	Tamaño.....	22
2.2.1.1.2.2	Estado corporal (CC).....	23
2.2.1.1.3	Estado fisiológico .....	23
2.2.1.1.3.1	Preñez.....	23
2.2.1.1.3.2	Lactación.....	23
2.2.1.1.4	Genética .....	24
2.2.1.2	Factores asociados al alimento .....	25
2.2.1.2.1	Digestibilidad .....	25
2.2.1.2.2	FDN.....	27
2.2.1.2.3	Contenido de PC de la dieta .....	29

2.2.1.2.4	Tamaño de partícula .....	30
2.2.1.2.5	Sapidéz y Preferencia alimenticia .....	30
2.2.1.2.6	Otros factores .....	31
2.2.1.3	Factores asociados a la pastura .....	32
2.2.1.3.1	Disponibilidad .....	33
2.2.1.3.2	Altura y Densidad .....	34
2.2.1.3.3	Composición botánica .....	36
2.2.1.3.4	Relación hoja / tallo .....	39
2.2.1.3.5	Relación verde / seco .....	43
2.2.1.3.6	Barreras físicas .....	43
2.2.1.3.7	Contenido de MS .....	44
2.2.1.3.8	Selectividad .....	45
2.2.1.4	Factores asociados al manejo .....	46
2.2.1.4.1	Suplementación .....	46
2.2.1.4.2	Asignación de forraje .....	46
2.2.1.4.3	Sistema de pastoreo .....	47
2.2.1.4.3.1	Franjas y momento del pastoreo .....	47
2.2.1.4.3.2	Tiempo para pastoreo .....	48
2.2.1.5	Factores asociados al ambiente .....	50
2.2.1.5.1	Temperatura .....	50
2.2.1.5.1.1	Sombra .....	51
2.2.1.5.1.2	Agua .....	52
2.2.1.5.2	Lluvias .....	53
2.2.2	<i>Conclusiones</i> .....	54
2.3	LA SUPLEMENTACIÓN EN LA VACA LECHERA .....	55
2.3.1	<i>Objetivos</i> .....	55
2.3.2	<i>Suplementación en pasturas templadas</i> .....	55
2.3.3	<i>Efectos sobre el consumo de pastura</i> .....	57
2.3.3.1	Adición .....	57
2.3.3.2	Adición con estímulo .....	58
2.3.3.3	Sustitución .....	58
2.3.3.4	Sustitución con depresión .....	58
2.3.4	<i>Tipo de suplemento</i> .....	58
2.3.4.1	Suplementación con concentrados .....	58
2.3.4.2	Suplementación con ensilajes .....	60
2.3.5	<i>Frecuencia de suministro</i> .....	61
2.3.6	<i>Efecto sobre la producción de leche</i> .....	62
2.3.7	<i>Efecto sobre la composición de la leche</i> .....	66
2.3.8	<i>Grasa dietaria</i> .....	69
2.3.9	<i>Fibra dietaria</i> .....	72
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>74</b>

3.1 METODOLOGIA .....	74
3.1.1 ESTRUCTURA DEL MODELO .....	75
3.1.1.1 Módulo oferta .....	77
3.1.1.2 Módulo requerimientos .....	77
3.1.1.2.1 Evolución del peso vivo .....	77
3.1.1.2.2 Predicción de la producción diaria de leche .....	78
3.1.1.3 Módulo ambiente .....	78
3.1.1.4 Módulo Vaca .....	79
3.1.1.5 Módulo pastura .....	81
3.1.1.6 Módulo Voluminoso .....	81
3.1.1.7 Módulo Concentrado .....	82
3.1.1.8 Módulo Principal .....	82
3.1.1.8.1 Estimación del Consumo .....	82
3.1.1.8.1.1 Altura de la pastura .....	82
3.1.1.8.1.2 Función para estimar el consumo de Pastura .....	83
3.1.1.8.1.3 Sustitución de pastura por voluminoso .....	87
3.1.1.8.1.4 Sustitución de pastura por concentrado .....	88
3.1.1.8.1.5 Consumo de FDN máximo .....	91
3.1.1.8.1.6 Consumo máximo por requerimientos .....	92
3.1.1.9 Módulo resultados .....	93
3.1.1.9.1 Resultados uno .....	93
3.1.1.9.2 Resultados dos .....	93
3.1.1.9.3 Resultados tres .....	94
3.2 VALIDACIÓN .....	94
3.2.1 Simulación de experimentos de Peyraud et al. (1988-1989) .....	94
3.2.1.1 Experimento N° 1 .....	94
3.2.1.2 Experimento N° 2 .....	95
3.2.2 Simulación de experimentos de Chilibroste P. Et al. (2000). .....	96
3.2.3 Simulación de experimentos de Garnsworthy P.C. et al. (1987). .....	96
3.2.4 Simulación experimentos de Grainger C. y Mathews G.L. (1986) .....	97
3.2.5 Simulación de experimentos de Stockdale C.R. (1992) .....	98
3.2.6 Resumen de la validación .....	99
3.3 EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO .....	101
3.3.1 Experimento 1 .....	102
3.3.2 Experimento 2 .....	103
3.3.3 Experimento 3 .....	104
3.4 POTENCIALIDADES DEL MODELO .....	104
3.5 LIMITANTES DEL MODELO .....	105
3.6 CONCLUSIONES .....	105
<b>4 RESUMEN .....</b>	<b>106</b>

<b>5</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>107</b>

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Fig. N° 1	Ejemplo de un modelo conceptual.....	8
Fig. N° 2	Figura . Modelo Rumen AFRC, 1993.....	9
Fig. N° 3	Jerarquía de Sistemas con diferentes niveles de organización.....	11
Fig. N° 4	Evolución del conocimiento sistémico en los últimos 70 años.....	12
Fig. N° 5	Ubicación de la Simulación como herramienta .....	13
Fig. N° 6	Modelos según el Grado de Abstracción (por Brockington, 1979) .....	15
Fig. N° 7	Factores que afectan el consumo .....	20
Fig. N° 8	Representación esquemática del control del consumo voluntario en la vaca lechera.....	21
Fig. N° 9	Relación entre consumo y digestibilidad de la materia seca.....	25
	Cambios en el consumo diario de MS con variaciones en DMS y diferente demanda de nutrientes.....	26
	FDN de la dieta y consumo.....	27
Fig. N° 12	Esquema de la regulación del consumo integrando concepto FDN y Digestibilidad.....	28
Fig. N° 13	Consumo y utilización del forraje según asignación de pastura.....	34
Fig. N° 14	Consumo vs. altura del tapiz según densidad .....	35
Fig. N° 15	Digestibilidad De la MO de gramíneas y leguminosas según FDN (MO) ..	36
Fig. N° 16	Relación entre el % FDN (pared celular) y % de lignina para Gramíneas y Leguminosas .....	37
Fig. N° 17	Relación entre el % Lignina y DMSiv de la celulosa, para Gramíneas y Leguminosas .....	38
Fig. N° 18	Consumo de MS según la digestibilidad y partes de la planta.....	40
Fig. N° 19	Digestibilidad de la MO del tapiz según el contenido de hojas verdes. ....	41
Fig. N° 20	Variación en digestibilidad de los distintos componentes de la planta al avanzar la madurez. ....	42
Fig. N° 21	Relación entre Digestibilidad y relación Verde / Seco del tapiz .....	43
Fig. N° 22	Relación entre asignación diaria de forraje vs. consumo (Corderos) .....	47
Fig. N° 23	Relaciones generales entre la temperatura ambiental, el consumo de alimentos y la producción de leche.....	51
Fig. N° 24	Diferencia de temperatura del piso del corral de espera, con y sin malla de sombra.....	52
Fig. N° 25	Consumo de agua según temperatura y producción de leche.....	53
Fig. N° 26	Respuesta esperada a la suplementación, según la	

interacción forraje-suplemento .....	56
Fig. N° 27 Degradabilidad ruminal de algunos granos.....	59
Fig. N° 28 Respuesta al concentrado según asignación de forraje.....	65
Fig. N° 29 Diagrama de flujo del MODELO .....	75
Fig. N° 30 Estructura operacional del modelo.....	76
Fig. N° 31 Cambio de peso vivo según día de lactancia y PV al parto.....	78
Fig. N° 32 Curva de lactancia para una vaca de 7000 lts.....	79
Fig. N° 33 Ejemplo dinámico mostrando un periodo de restricción alimenticia.....	80
Fig. N° 34 Ejemplo del funcionamiento del factor altura.....	84
Fig. N° 35 Ejemplo del funcionamiento del factor asignación.....	85
Fig. N° 36 Índice empírico de selección para EM y PC según altura remanente.....	86
Fig. N° 37 Factor empírico de selección para FDN según altura remanente.....	87
Fig. N° 38 Funciones para estimar la tasa de sustitución por voluminoso.....	88
Fig. N° 39 Tasa de sustitución de pastura por concentrado vs. asignación diaria.....	90
Fig. N° 40 Consumo de FDN máximo según N° y días de Lactancia.....	92
Fig. N° 41 Regresión ajustada entre el consumo de MS en los experimentos y los correspondientes estimados por el modelo.....	99
Fig. N° 42 Regresión ajustada entre la Producción de Leche en los experimentos y los correspondientes estimados por el modelo.....	100

## TABLA DE CUADROS

Cuadro N° 1 Consumo de FDN para vacas en diferentes estados fisiológicos.....	29
Cuadro N° 2 Efectos rúmiales y sobre el consumo del tamaño de partícula.....	30
Cuadro N° 3 ..... Producción de leche, asignación diaria y consumo de MS en Mayo-Junio (Hemisferio Norte).....	33
Cuadro N° 4 Composición básica de pared celular en Gramíneas y Leguminosas.....	38
Cuadro N° 5 Dinámica de defoliación de una pastura de raigrás.....	44
Cuadro N° 6 ..... Efecto del tiempo de pastoreo sobre el consumo de MS y el tamaño de diferentes pools en el rumen.....	49
Cuadro N° 7 Resumen de respuestas al concentrado, obtenidas por varios autores.....	63
Cuadro N° 8 Resumen de respuestas utilizadas para ajustar la regresión.....	65
Cuadro N° 9 Composición química promedio de la leche (Holstein).....	66
Cuadro N° 10 Principales precursores de los componentes de la leche.....	66
Cuadro N° 11 Efecto de la suplementación con concentrados sobre el consumo de pasturas.....	89

## **1 INTRODUCCIÓN**

Para alcanzar niveles de producción de leche óptimos en el tambo, ningún factor es despreciable, tal es así, la sanidad, el potencial genético, la nutrición y el manejo general. Este último reúne factores como la recría de los reemplazos, la rutina de ordeño, el método, duración y momento en que se pastorean los forrajes frescos, forma y suministro de los suplementos, fecha de las pariciones, manejo de la vaca seca.

La composición y el manejo de la alimentación de la vaca lechera a lo largo de su lactancia, interviene en un 80 % de su performance productiva, lo cual habla por sí solo de la importancia que tiene en la ecuación económica del tambo como empresa.

A nivel nacional es práctica común el suministro de suplementos (granos, sub-productos de la industria y/o voluminosos), teniendo en cuenta como factores más importantes para su compra, el precio individual, la cercanía a la fuente y su facilidad de adquisición (crédito), más que su combinación en una dieta ajustada de máximo beneficio con mínimo costo.

Existen interrelaciones entre el alimento y el animal que determinan que la combinación de los ingredientes, la cantidad y el momento del día en que se suministre una determinada dieta produce una respuesta productiva específica. Por lo tanto, la alimentación de la vaca lechera exige un conocimiento de las relaciones de sustitución / adición entre los elementos de una dieta, sus interacciones intra-ruminales, y de los factores que afectan el consumo.

Más allá de la producción puntual en un momento determinado, está la producción en toda la lactancia. La curva de lactancia de una vaca posee una forma característica, pero la distancia a su potencial, depende entre otros factores de cuán ajustada esté la nutrición. Esto implica conocer no solo las interrelaciones mencionadas en el párrafo anterior, sino también deben tenerse en cuenta las características del animal y del ambiente.

Como lo que se hace al comienzo de la lactancia repercute en la totalidad de la misma se deberían reproducir múltiples situaciones vaca / dieta / ambiente, para así lograr una mayor sensibilidad sobre el impacto que tiene la presente discusión sobre el resultado económico de un tambo.

La gran cantidad de factores que intervienen en este *sistema* abierto, y el costo de estudiarlo por la vía clásica, motiva la creación de herramientas como los Modelos de Simulación programados para PC. En el presente caso se programó un Modelo de Simulación con Visual Basic 6.0 principalmente para la interfaz con el usuario y Excel '97 como programa de cálculo y base de datos.

## 2 REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 SISTEMAS Y SIMULACION

#### 2.1.1 Generalidades

El análisis de sistemas es una herramienta intelectual mas que un conjunto de recetas técnicas, y permite ordenar problemas complejos a través del análisis y síntesis de las partes componentes.

Un **sistema** es un *arreglo* de componentes conectados o relacionados de tal manera que forman o *actúan* como una unidad, como un todo. Un *arreglo* es una estructura relacionada con la disposición de sus componentes. *Actúan* se refiere, a que los componentes poseen una función relacionada con el logro de un objetivo.

El análisis de sistemas sirve de puente entre las ciencias básicas y las aplicadas.

La teoría de sistemas se basa en que el “todo” es mas que la suma de las partes.

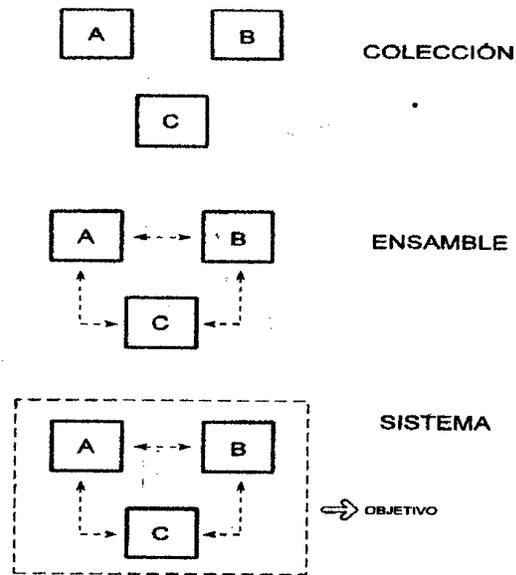
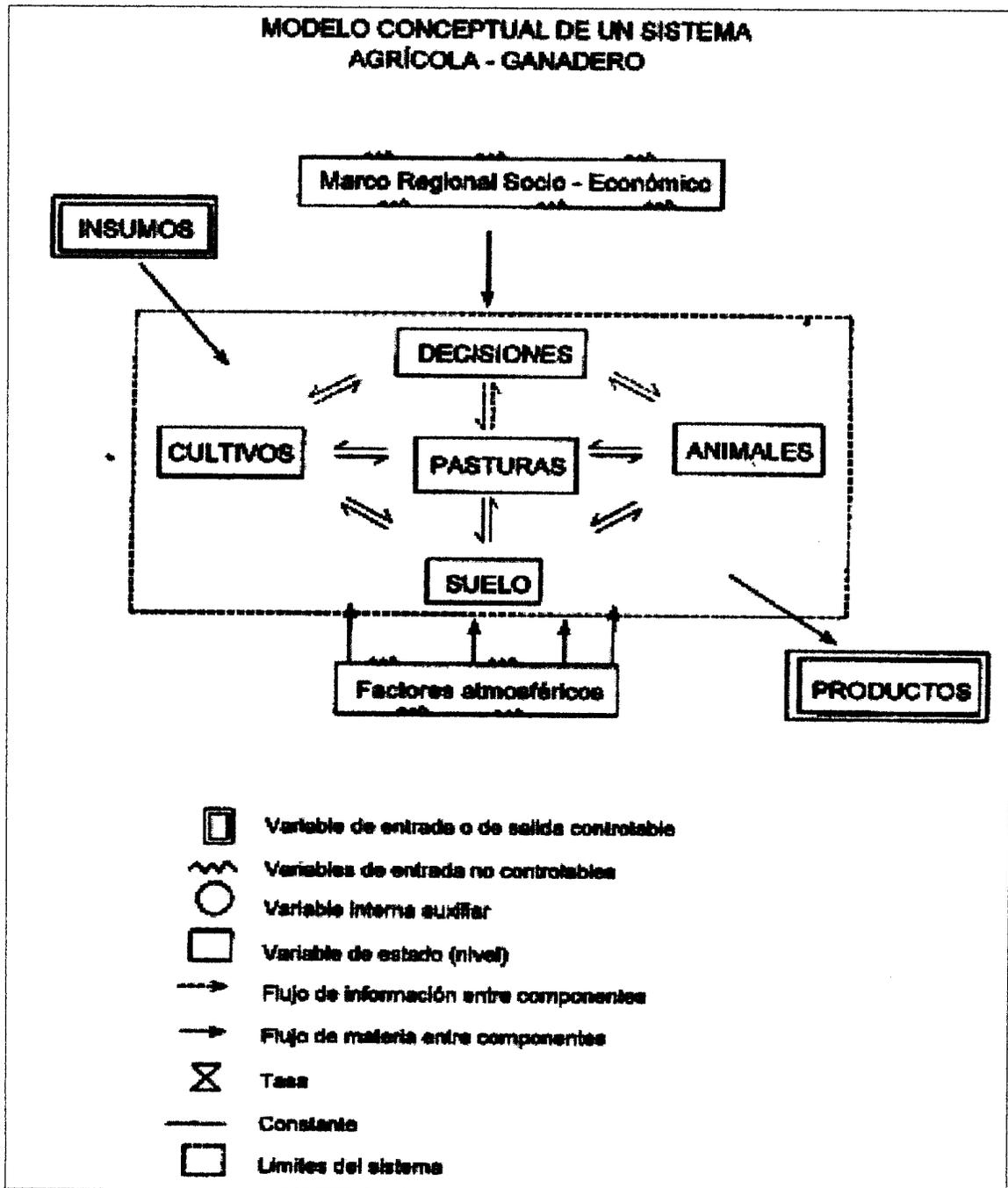
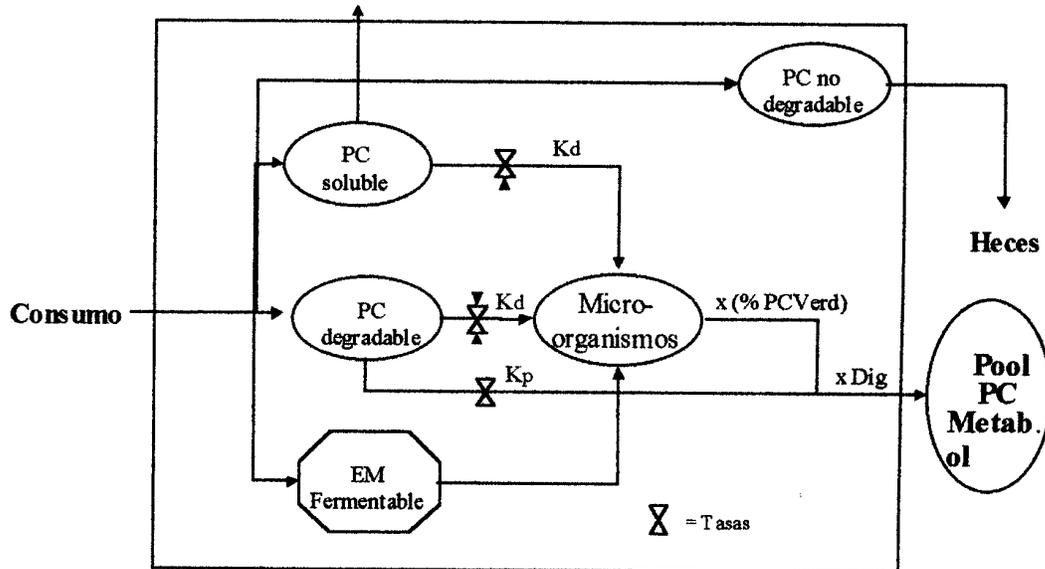


Fig. N° 1 Ejemplo de un modelo conceptual



Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelos en Producción Animal, EEMAC, 2000.

Fig. N° 2 Figura . Modelo Rumen AFRC, 1993



Fuente: Curso 4° año, Bovinos de Leche, EEMAC 1999.

### ¿Qué se necesita para trabajar en análisis de sistemas?

- ✓ Tener el conocimiento del sistema bajo estudio.
- ✓ Comprender la filosofía y terminología empleados en análisis de sistemas y simulación
- ✓ Representar el sistema en términos cualitativos, por ejemplo en la forma de diagramas de flujo.
- ✓ Representar el sistema en términos cuantitativos, por ejemplo a través de ecuaciones diferenciales.
- ✓ Resolver las ecuaciones diferenciales a través de técnicas analíticas u otras.
- ✓ Un lenguaje de simulación que facilite la aplicación de técnicas matemáticas a aquellos que no son matemáticos.
- ✓ Finalmente, cuando el modelo ha sido desarrollado, su comportamiento a de ser estudiado, y sus resultados comparados con los datos experimentales.

Fuente: (Laffelaar, 1993)

## **2.1.2 Propiedades de los sistemas**

### **2.1.2.1 Sinergia**

Debido a la coexistencia de distintos niveles jerárquicos dentro del modelo, estos se organizan de una manera específica, brindando así un resultado que no es posible por el solo uso de las partes.

### **2.1.2.2 Recursividad**

Debido a la existencia de subsistemas en una estructura anidada. Dichos subsistemas se relacionan a través de flujos (muchas veces bidireccionales) de información y/o materia para el cumplimiento de sus funciones propias y para cumplir con su cuota parte en el funcionamiento del sistema mayor.

### **2.1.2.3 Jerarquía**

Consecuencia de la recursividad. Ya que el hecho de existir subsistemas funcionando en forma anidada, es imprescindible un orden jerárquico de los mismos para que el sistema en su conjunto, funcione correctamente.

#### **2.1.2.3.1 Características de la organización jerárquica**

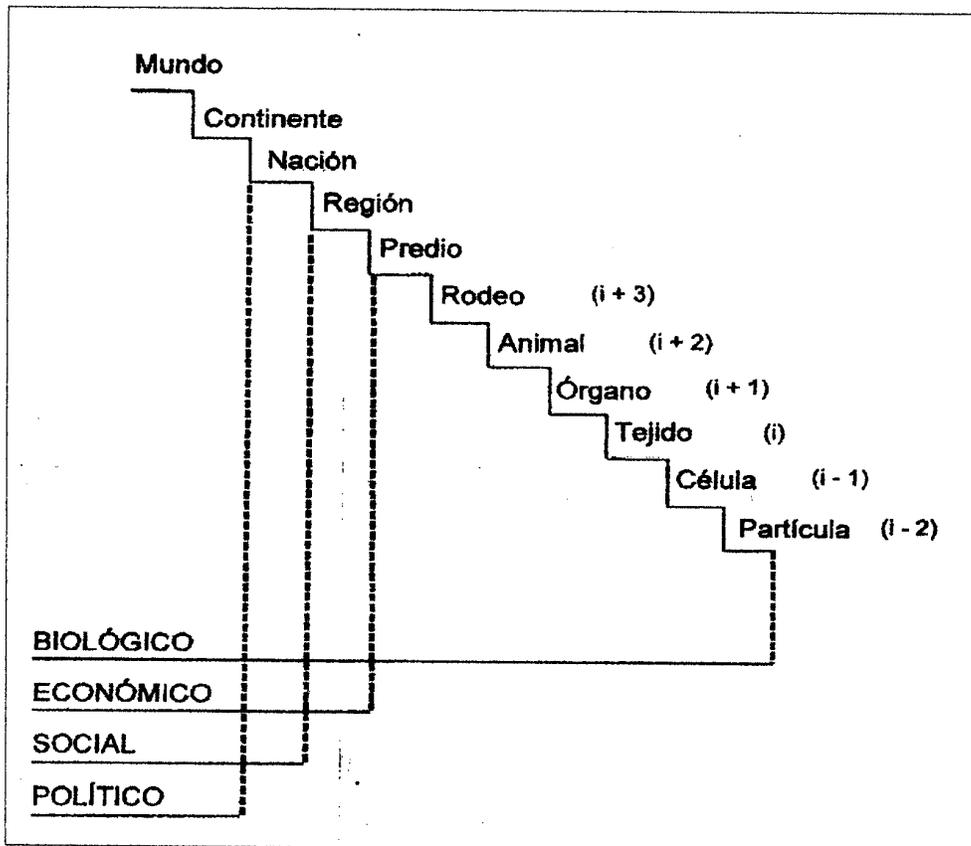
- ✓ Cada nivel tiene sus propios conceptos y lenguajes.
- ✓ Cada nivel es la integración de elementos de niveles inferiores.
- ✓ El funcionamiento del sistema a un nivel, requiere de los niveles inferiores, pero no viceversa.

### **2.1.2.4 Homeostasis**

El término homeostasis deriva de la palabra griega "homeo" que significa igual, y "stasis" que significa posición. Se aplica al conjunto de procesos que previenen fluctuaciones en la fisiología de un organismo, e incluso se ha aplicado a la regulación de variaciones en los diversos ecosistemas o del universo como un todo. O sea que, un sistema que funcione correctamente debe ser capaz de mantenerse en buen funcionamiento ante cambios externos o internos por parte de sus constituyentes.

Se puede definir a partir del concepto de retroalimentación, donde cada subsistema es capaz de recibir información, procesarla actuar en determinada forma sobre si mismo y sobre el resto de los subsistemas para el logro de un equilibrio interno.

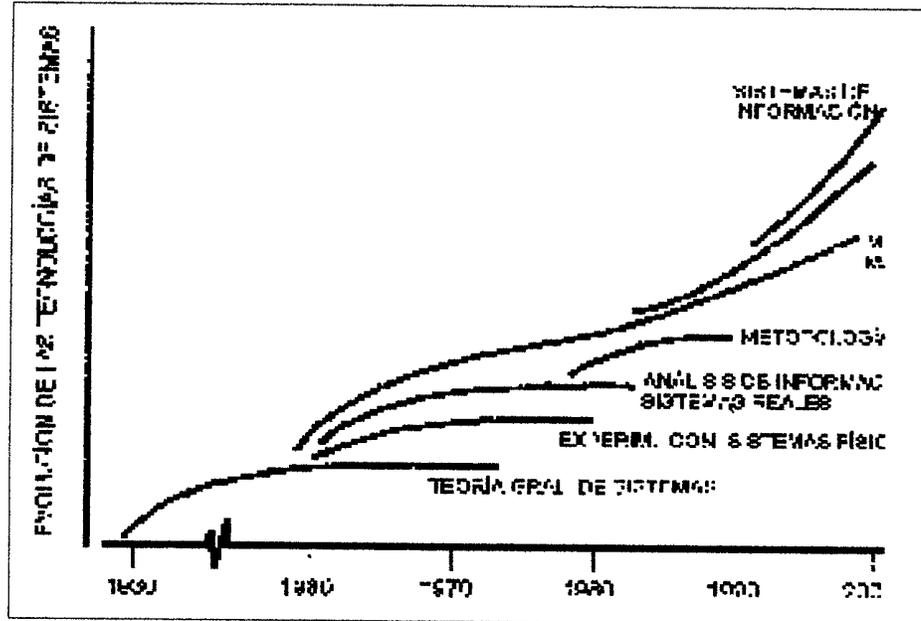
**Fig. N° 3 Jerarquía de Sistemas con diferentes niveles de organización**



Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelos en Producción Animal, EEMAC, 2000.

### 2.1.3 Antecedentes

Fig. N° 4 Evolución del conocimiento sistémico en los últimos 70 años



Fuente: Viglizzo, 1994.

### 2.1.4 Modelos de simulación

#### 2.1.4.1 Concepto de Modelos de Simulación

Un **modelo** es la representación simplificada de un sistema, de tal forma que aun siendo diferente a la entidad que representa puede homologar su funcionamiento y / o varios atributos de ella.

La **simulación** es la construcción de modelos matemáticos y el estudio de su funcionamiento en referencia a aquel del sistema real.

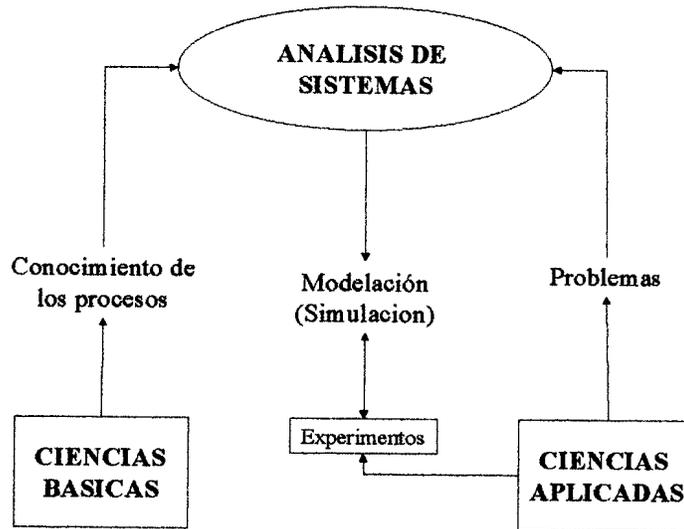
Los modelos de simulación están dirigidos a la solución o estudio de un problema específico. Son incapaces de generar una solución por si mismos, solo pueden servir como herramientas para el análisis del comportamiento de un sistema en condiciones especificadas por el experimentador. Por lo tanto, la simulación, es solo una metodología de resolución de problemas.

### 2.1.4.2 Cuando es útil la Simulación

Cuando existan una o mas de las siguientes condiciones:

- ✓ No existe una completa formulación matemática del problema o no se han desarrollado los métodos analíticos para resolverlo.
- ✓ La simulación proporciona un método mas simple de solución, que los métodos analíticos.
- ✓ Se desea observar el trayecto histórico simulado del proceso sobre un periodo, además de estimar algunos parámetros.
- ✓ Cuando es imposible realizar experimentos a campo y observar fenómenos en su entorno real o son muy caros de llevarlos a cabo.
- ✓ Cuando se requiere la aceleración del tiempo para sistemas o procesos que necesitan largos periodos para realizarse.

**Fig. N° 5 Ubicación de la Simulación como herramienta**



Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelación en Producción Animal. 2000. EEMAC. Uruguay – Paysandú.

### 2.1.4.3 Desventajas de la simulación

- ✓ No tiene un espacio cerrado de soluciones para los problemas planteados por el experimentador.
- ✓ Es frecuentemente imprecisa y la lectura del grado de su imprecisión puede ser errónea en el momento de evaluarla.
- ✓ Tiene alto costo de construcción, demandando un prolongado período de tiempo y mano de obra especializada.
- ✓ Existen dificultades para la validación, ya que muchas veces los “inputs” (entradas) necesarios para las diferentes “corridas” de simulación no son precisos o simplemente no existen a nivel de experimentación de campo.

Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelación en Producción Animal. 2000. EEMAC. Uruguay – Paysandú.

### 2.1.4.4 Clasificación de los modelos

#### 2.1.4.4.1 Según el grado de abstracción

##### 2.1.4.4.1.1 Isomórficos:

Cuando es idéntico o muy parecido a lo que representa

- ✓ Modelos físicos
- ✓ Modelos a escala

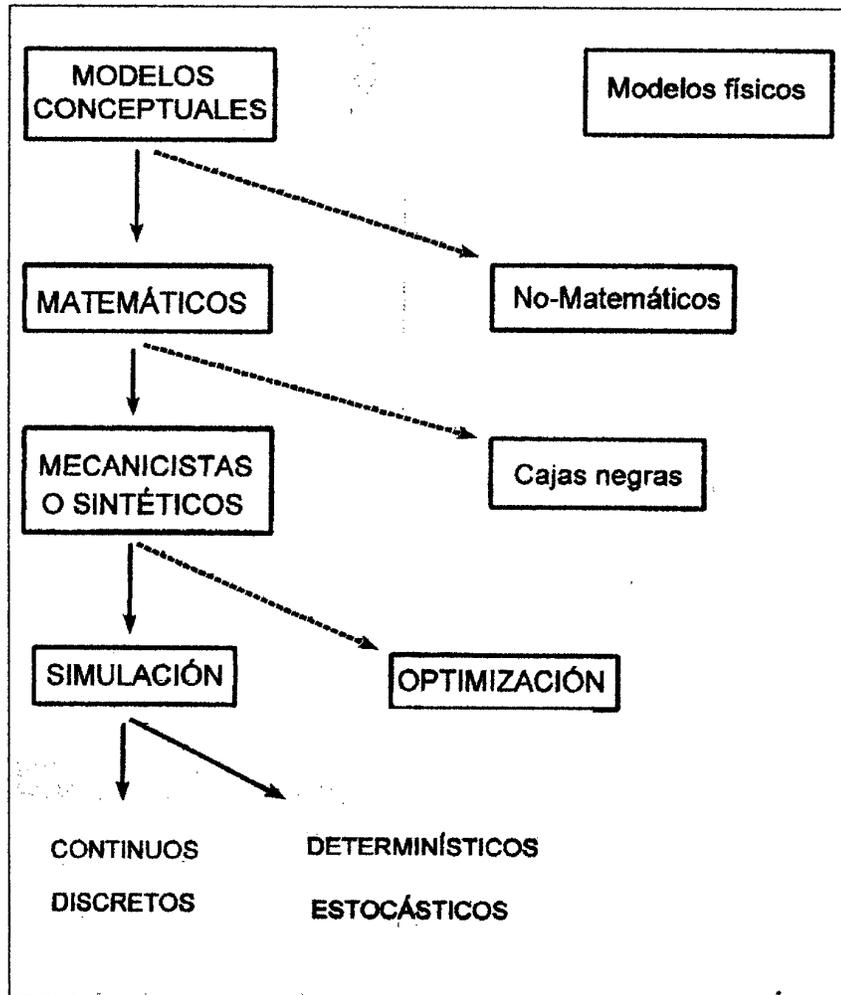
##### 2.1.4.4.1.2 Homomórficos:

Cuando homologa o equipara el funcionamiento o producto del objeto que representa.

- ✓ Modelos análogos
- ✓ Modelos de educación o juego
- ✓ Modelos de simulación

Fuente: Modelos matemáticos Aguilar y Cañas, 1992.

**Fig. N° 6 Modelos según el Grado de Abstracción (por Brockington, 1979)**



Fuente: Brockington, 1979.

Las ópticas con que se clasifican los modelos por los distintos autores presentan similitudes. Tal es el caso de la similitud que presentan los conceptos de homo mórficos con conceptual isomórficos con físicos.

Según Brockington , dentro de los modelos conceptuales, se distinguen los matemáticos y los no matemáticos. Dentro de los matemáticos y mecanicistas como el del presente trabajo, pueden existir “cajas negras”, las cuales implican un nivel de resolución límite al cual se llegó en ese proceso. Decimos que es una caja negra cuando de un proceso sólo conocemos sus entradas y salidas.

En la simulación, un conjunto de variables se interrelacionan para reproducir una situación particular y ofrecer un resultado posible. En la optimización, se conjugan un grupo reducido de los llamados recursos limitantes, para ofrecer el resultado más beneficioso o el menor gasto de un determinado recurso.

- ✓ Los modelos **determinísticos**, son aquellos en donde las variables de estado son determinadas en acuerdo a relaciones físicas y biológicas “conocidas”.
- ✓ En los modelos **estocásticos**, se utilizan elementos que varían aleatoriamente.

#### 2.1.4.4.2 Según el nivel de resolución

- ✓ **Modelos teleonómicos**: se refieren a los niveles organizacionales superiores. Explican las respuestas al nivel  $i$  por las restricciones impuestas al nivel  $i+1$ .
- ✓ **Modelos empíricos**: generalmente utilizan datos experimentales para cuantificar relaciones basadas en un solo nivel jerárquico
- ✓ **Modelos mecanicistas**: buscan entender los mecanismos de causa-efecto. Describen el sistema a nivel  $i$  en términos de los componentes y sus procesos asociados al nivel  $i-1$ .

Fuente: Forbes y France, 1993

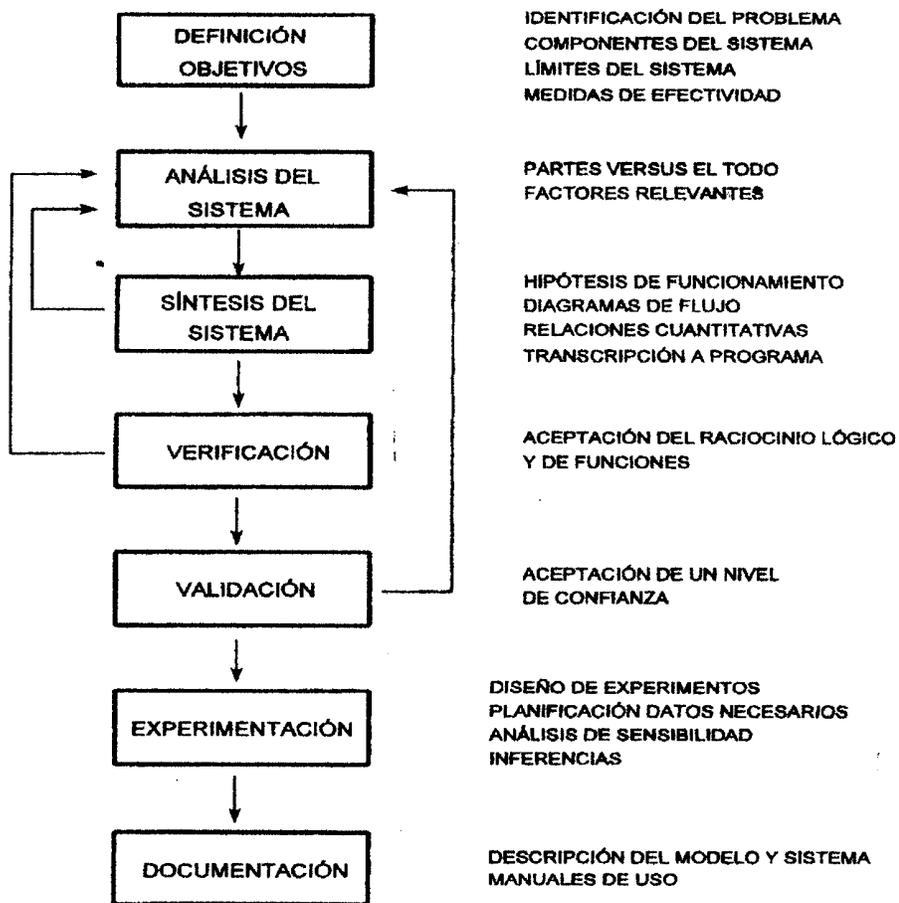
#### 2.1.4.5 Función de los Modelos

- ✓ Como ayuda para entender el sistema bajo estudio. Porque se pueden reproducir multiplicidad de situaciones de dicho sistema y observar, mediante los resultados, como responde ante las mismas.
- ✓ Como ayuda en la comunicación.
- ✓ Como herramienta en entrenamiento e instrucción. Mediante un modelo de simulación se puede explicar el funcionamiento y estructura del sistema.
- ✓ Herramienta de predicción. La predicción es importante en la planificación de la producción, a la vez que permite minimizar costos optando por las alternativas más eficientes.
- ✓ Guía de la experimentación a campo. A través de las carencias de información sobre un proceso que acuse el modelo se puede guiar la investigación acerca de dicho tema.
- ✓ Herramienta de experimentación. Se puede diseñar experimentos y simularlos en el modelo. Permite planificar los datos necesarios para la experimentación a

campo, para así comparar con los resultados del modelo, por ejemplo en el caso de una validación de los mismos.

Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelación en Producción Animal. 2000. EEMAC. Uruguay – Paysandú.

### 2.1.4.6 Etapas en la elaboración de un modelo de simulación



Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelación en Producción Animal, EEMAC, 2000.

### **2.1.5 CONCLUSIONES**

- El estudio de las situaciones productivas sobre la base de la **teoría de sistemas**, permite una visión sobre el funcionamiento del **sistema**, que no es posible estudiando sus componentes por separado.
- Los **modelos de simulación** son una herramienta útil a la hora de representar un sistema. Permiten “reproducir” dicha realidad repetidas veces con el fin de predecir su funcionamiento a través de las variables de estado.
- La **validación** del modelo es igual o mas importante que la construcción del mismo. La precisión de la capacidad predictiva del modelo estimada en esta etapa depende a su vez del rigor científico con que se llevó a cabo el experimento seleccionado para tal fin.
- Si los **modelos de simulación** demuestran buena capacidad predictiva se constituyen en una herramienta en “doble sentido”; pueden simplificarse y utilizarse en extensión y asesoramiento, como permitir a los investigadores verificar resultados y plantear nuevas hipótesis.

Fuente: Curso de Análisis de Sistemas y Modelación en producción Animal, EEMAC, 2000.

Fuente: GALLI, J.R., CANGIANO, C.A., FERNÁNDEZ, H.H.. 1996 . Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. Revista Argentina de Producción animal. (16, N° 2): 119-142.

## 2.2 CONSUMO

La performance animal desde el punto de vista de la nutrición, resulta del producto del consumo por la digestibilidad por el metabolismo de los nutrientes. Sutton y Morant (1989) en un estudio de regresión sobre 21 dietas experimentales, encontraron que el consumo de MS total predijo en gran medida la producción de leche, explicando el 67% de la variación de esta. Por eso es muy importante la predicción del consumo para estimar la respuesta animal a partir de recursos conocidos, así como también ajustar la concentración de nutrientes de la dieta a fin de cubrir requerimientos para lograr el nivel de producción propuesto (Burns et al., 1994; Mertens, 1994).

### 2.2.1 Factores que afectan el consumo

El estímulo para el consumo, es la tendencia del animal a lograr su máxima capacidad genética de crecimiento y/o producción de leche, en correspondencia con la máxima tasa de utilización de nutrientes por sus tejidos.

Los animales consumen bajo el principio de mantener una homeostasis interna, consumiendo la energía necesaria. Los animales no poseen mecanismos simples y directos de la medición de la energía, siendo los mecanismos mas comunes, cambios de concentración de los metabolitos, temperatura y grasa corporal.

Según Mertens (1984) los mecanismos de regulación del consumo pueden subdividirse en:

- ✓ Regulación fisiológica
- ✓ Limitación física
- ✓ Modulación fisiogénica

La regulación *fisiológica* se basa en el principio de la homeostasis. Los mecanismos *físicos* y *fisiológicos* interactúan para determinar el consumo voluntario del animal. El mecanismo fisiológico prevalece cuando el animal consume dietas con alta concentración energética (proteínas, minerales y vitaminas), con alimentos muy palatables y rápidamente digestibles. En dietas con alta proporción de fibra (correlacionada negativamente con [energía]), el animal no logra compensar sus necesidades con el aumento de consumo, por lo que utiliza su capacidad de compensación reduciendo las salidas de energía, es decir bajando la productividad o consumiendo reservas (Mertens, 1991).

La limitación física del retículo- rúmen, es generalmente aceptada como el factor mas limitante en el consumo de forrajes y dietas con alta proporción de fibras (Balch y Campling, 1962; Baice y Forbes, 1974, citado por Mertens, 1984). También es probable que la distensión requerida para satisfacer la demanda (performance potencial) varíe con el estado fisiológico y los requerimientos.

La modulación fisiogénica está regulada por el comportamiento. Actúa estimulando o inhibiendo el consumo por los factores ambientales y no por el consumo de energía. El consumo por medio de esta regulación se ve reducido frente al consumo estimado por la regulación física y fisiológica.

Como se observa en el siguiente esquema, el consumo queda determinado por la interacción de diversos factores. Resulta difícil concebir la idea de estimarlo a partir de un único factor.

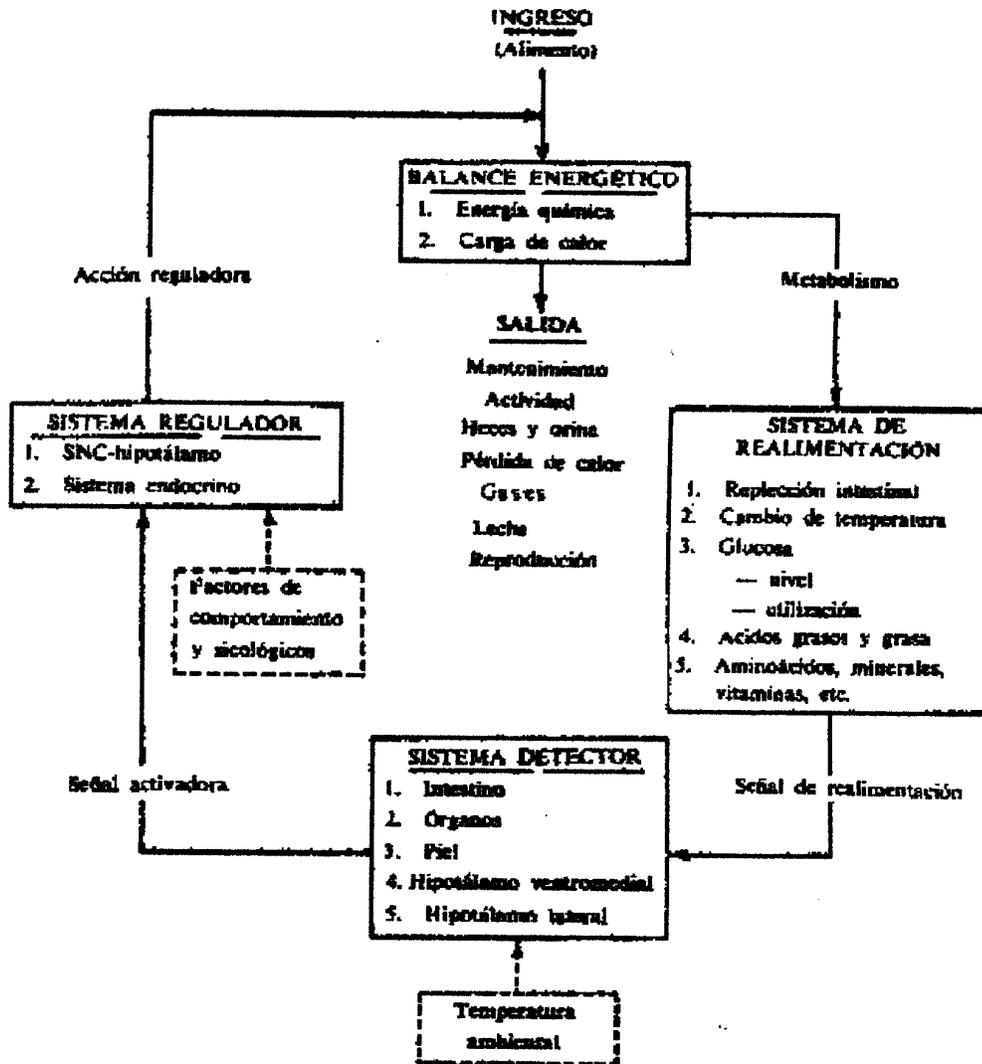
Fig. N° 7 Factores que afectan el consumo



Fuente: Mertens, 1994.

### 2.2.1.1 Factores asociados al animal

Fig. N° 8 Representación esquemática del control del consumo voluntario en la vaca lechera.



Fuente: Baumgardt, B. R. 1969. Voluntary feed intake.

### 2.2.1.1.1 Edad

Los posibles efectos sobre la edad (avanzada) sobre el apetito, resultan de factores tales como: estado de la dentadura y fortaleza de la musculatura mandibular. Existen pruebas que indican que la frecuencia de movimientos mandibulares durante la masticación, se reducen en animales de mayor edad, y la degradación bacteriana de la celulosa también puede ser afectada en forma adversa (Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC).

### 2.2.1.1.2 Peso vivo (PV)

El PV del animal tiene un doble componente, el tamaño y estado corporal (Rovira J.1996. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo).

#### 2.2.1.1.2.1 Tamaño

Conrad, Pratt y Hibbs (1964) encontraron que el consumo de dietas poco digeribles, es directamente proporcional y bien correlacionado a la capacidad ruminal, y por lo tanto al tamaño de la vaca; pero el consumo de dietas mas digeribles, se encuentra en mejor relación con el peso metabólico.

Según Baumgardt (1969), la bajísima concentración de energía del forraje segado tardíamente se une a su naturaleza grosera determinando que se sature la capacidad del tubo digestivo, con una ingestión de energía inferior al a requerida por el mecanismo homeostático.

La vaca no alcanza su tamaño adulto hasta los seis a siete años de edad, por lo que si la nutrición es adecuada, se producirá cierto crecimiento hasta la tercera o cuarta lactancia. Es así que, la capacidad de la cavidad abdominal, y por lo tanto del consumo, tendrán cierto crecimiento hasta ese momento (Bines, 1976).

En general, aumentos de PV incrementan el consumo pero en distintas proporciones. Para vacas entre 350 – 650 Kg. de PV, con dietas ricas en energía y digestibilidad entre 67 y 79 %, existe un incremento en el consumo de 2,2 Kg. de MS cada 100 Kg. de incremento en el PV (Greenhalgh y McDonald citado por Bines, 1979).

El cambio de PV produce su efecto sobre el consumo, desde el momento que implica una demanda u oferta de energía o proteína, según sea el caso de que gane o pierda peso.

#### **2.2.1.1.2.2 Estado corporal (CC)**

El consumo voluntario de una vaca gorda es muy inferior al de una vaca flaca. La única hipótesis clara al respecto, es la existencia de una restricción del volumen de la cavidad abdominal, dada por acumulación de tejido adiposo (Bines, 1976).

También existen limitaciones de origen metabólico debido al mayor nivel de AG existentes en sangre de vacas gordas, por lo cual estos actúan disminuyendo la tasa de absorción de AGV desde el rumen, y por consiguiente, una menor tasa de digestión (por acumulación de sustrato), lo que limita el consumo (Bines, 1976).

El exceso de grasa puede inhibir el apetito: ¿control lipostático? (Curch, D.C.; Pond, W.G. 1996); posiblemente algún ácido graso puede estar actuando como señal de saciedad, lo que se sumaría a los lípidos dietarios, disminuyendo en consumo a un menor nivel.

#### **2.2.1.1.3 Estado fisiológico**

##### **2.2.1.1.3.1 Preñez**

La preñez posee efectos diferentes, según la etapa en que se encuentre el animal. A inicios de esta existe un aumento del apetito, fácilmente apreciables en vaquillonas primerizas, posiblemente explicado por aumento de los requerimientos debidos al desarrollo del feto y a balances hormonales (Bines, 1976).

En la cercanía al parto, diversos trabajos mencionan disminuciones en el consumo (Shaver, 1993; Bines, 1976; Journet y Remond, 1976) que se inician gradualmente de dos a cuatro semanas pre- parto, cayendo drásticamente en los últimos tres a cinco días previo al parto (Shaver, 1993; Marquardt et al., 1977).

##### **2.2.1.1.3.2 Lactación**

Inmediatamente después del parto, el rendimiento de leche se incrementa rápidamente hasta alcanzar un máximo entre la cuarta y octava semana posparto, incrementándose el consumo en respuesta a un incremento en la demanda de nutrientes para la síntesis de leche (Campling, 1966). El máximo consumo de MS posparto usualmente ocurre entre la décima y la catorceava semana posparto (NRC, 1988).

Este desfasaje lleva a un déficit energético importante. Por este motivo las vacas

pierden peso para mantener la producción de leche. Este retraso en capacidad de producción y de consumir alimentos puede ser explicada por mas de un factor, como cambios de metabolitos en sangre (teoría lipostática), cambios hormonales que afecten el centro controlador del consumo por ejemplo prostaglandina (Bines, 1976).

Otras explicaciones para este retraso, estaría explicado por el lento aumento en el volumen abdominal a causa de la expulsión del feto, de los tejidos asociados y a la movilización de grasa abdominal que se da en el posparto (Bines, 1976; Bines, 1982; Journet y Remond, 1976). También se plantean como posibles mecanismos una hipertrofia gradual acompañada de un aumento de la tasa metabólica del rumen y de los tejidos actuantes en la absorción de nutrientes en ese periodo (Bines, 1976; Bines, 1982).

El tiempo que se demora el máximo consumo luego del parto depende as su vez de la composición de la dieta y de su calidad (Bines, 1983).

La lactación produce un incremento en el consumo de alrededor de 30 a 40% mas que las no lactantes, este efecto depende fundamentalmente de la composición de la dieta (Bines, 1979).

La producción de leche actúa como uno de los factores relacionados con el consumo, desde el momento que implica una demanda de nutrientes, ya que al aumentar la producción de leche, se incrementa el consumo (Mertens, 1994).

Journet y Remond (1965), estimaron este incremento en aprox. 0,28 Kg. de MS por Kg. de LCG. Sin embargo, es necesario considerar el efecto de los diferentes tipos de dietas sobre el consumo (Conrad, 1964; Journet y Remond, 1976; Mertens, 1994).

El AFRC (1990) propone un incremento en el consumo de 140 gr. de MS por Kg. de leche producido (con 3,7 % grasa).

#### 2.2.1.1.4 Genética

Resulta claro que un animal con apetito pobre no puede ser buen productor. A su vez dicho animal deberá usar la energía que consume en el producto objetivo. Parece ser que la variabilidad en la partición de la energía es hereditaria (Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC).

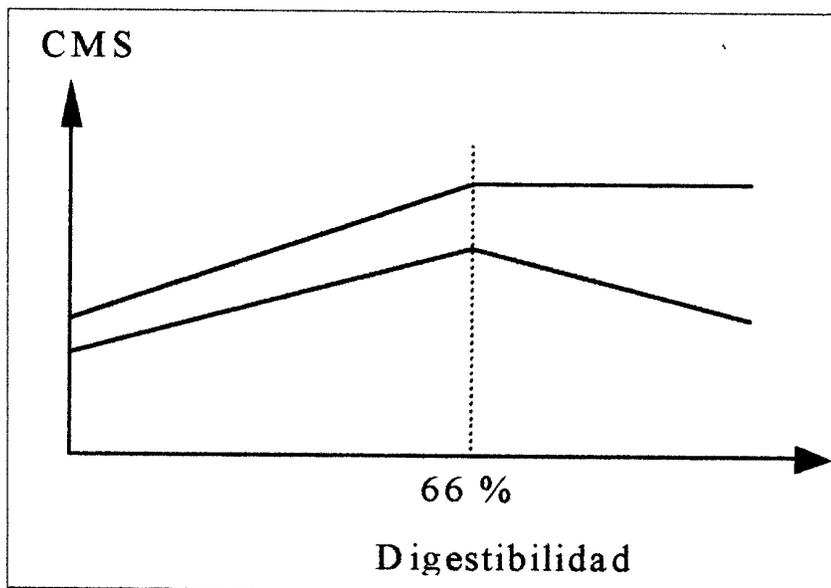
## 2.2.1.2 Factores asociados al alimento

### 2.2.1.2.1 Digestibilidad

El alimento indigestible es esencialmente volumen dentro del animal ocupando espacio dentro del TGI, siendo este espacio limitado y una vez utilizado limita el consumo de MS adicional (May et al., 1993).

En la figura siguiente se muestra conceptualmente, la relación entre el consumo de MS y digestibilidad del alimento consumido. Este esquema fue divulgado ampliamente por Conrad et al. (1964).

**Fig. N° 9 Relación entre consumo y digestibilidad de la materia seca**



Fuente: Conrad et al. (1964)

Al evaluar estas dietas, mezcla de forrajes conservados y concentrados para vacas lecheras, con digestibilidades entre 52 y 80 %, se encontró que por debajo de 66-67 % de DMS, existen incrementos constantes en el consumo, explicado por una prevalencia de factores físicos de regulación y de una demanda no satisfecha (Conrad et al., 1964). El modelo asume que el animal procura un consumo de energía constante dado sus requerimientos y de ahí cuando es superado las limitaciones físicas al consumo (punto de inflexión) se estabiliza el consumo de energía y baja el consumo de materia seca al aumentar su digestibilidad o concentración de energía (Chilibroste, P., 1998).

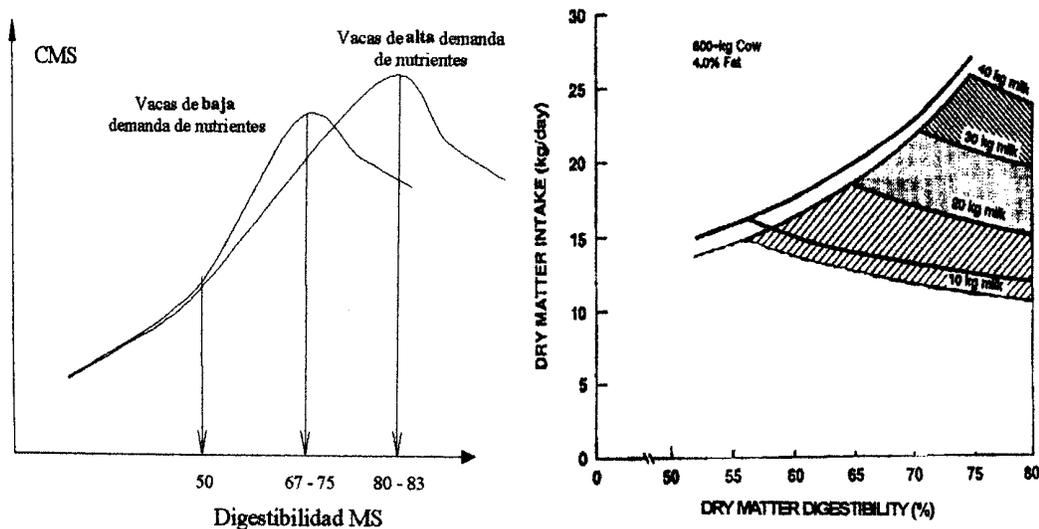
Blaxter et al.(1961; 1962), Conrad et al.(1964), Corbett et al.(1963) y Hutton, (1962) hallaron una relación lineal positiva entre digestibilidad y consumo para digestibilidades entre 67 y 75%, y una respuesta curvilínea o sin relación a mayores digestibilidades.

En contraste, trabajos mas recientes (Hodgson, 1968; Osbourn, 1970 y Rodríguez Capriles, 1973) indicaron que dicha relación lineal positiva se continuaba hasta digestibilidades de la MO de 80-83 %.

La aparente contradicción entre esos resultados es debida seguramente al hecho de que los trabajos mas recientes utilizaron en sus pruebas, animales de mayor demanda de nutrientes (Osbourn, 1970).

Según Baker R. D (Effect of sward characteristics on herbage intake under grazing – nutritive quality, species and amount), la sugerencia de Balch, C.C. et al (1969) y Corbett, J.L. (1969) de que el control físico del consumo cesa a digestibilidades por encima del 75%, y el control metabólico se vuelve dominante, no parece apropiado para animales de alta demanda de nutrientes con una dieta únicamente de forraje. De esta manera concluye que la digestibilidad de los componentes de las plantas seleccionados, ejercerán una influencia dominante sobre el consumo animal y su performance.

**Fig. N° 10 Cambios en el consumo diario de MS con variaciones en DMS y diferente demanda de nutrientes**



Fuente: Adapt de Baumgardt (1970); R. D. Baker

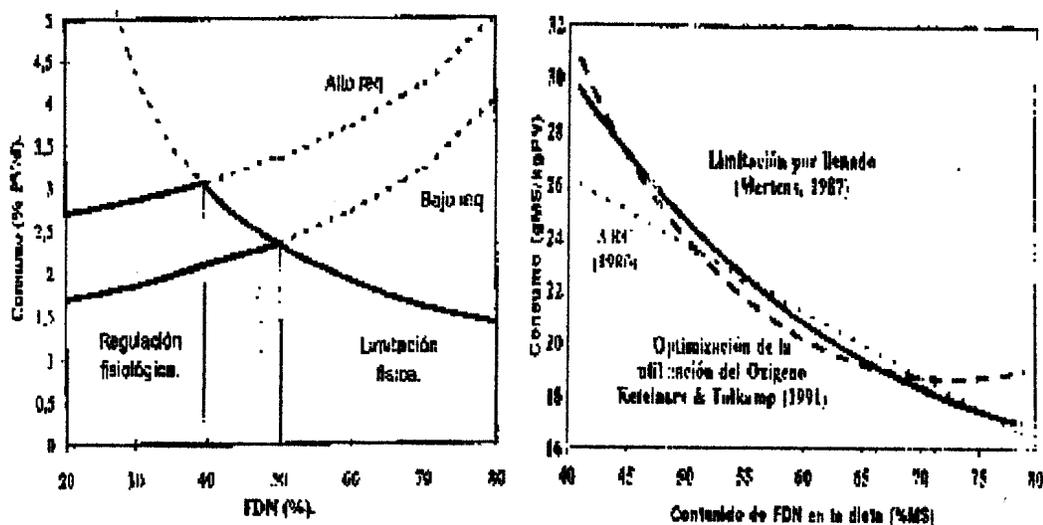
Fuente: NRC, 1978.

### 2.2.1.2.2 FDN

Mertens ha propuesto un sistema basado en la correlación positiva existente entre FDN y consumo en la porción regulada por la demanda de energía (altos requerimientos y/o dietas con bajo contenido de FDN) y la correlación negativa en la porción regulada por mecanismos físicos (llenado del retículo-rumen debido a dietas con alto contenido de FDN).

Según Mertens (1994) y Acosta (1991) superando un 50 – 55 % de FDN en la dieta, se obtiene igual efecto aumentando el consumo a medida que se reduce el % FDN. Con digestibilidades mayores a 67 % o contenidos de FDN menores a 50-55 %, existiría una pre-valencia de los mecanismos fisiológicos de regulación del consumo, ya que la concentración energética sería suficiente como para que la única limitante impuesta al consumo, sea la demanda de energía del animal (Conrad et al., 1964; Van Soest y Mertens, 1984).

**Fig. N° 11 FDN de la dieta y consumo.**



Fuente: Mertens, 1994.

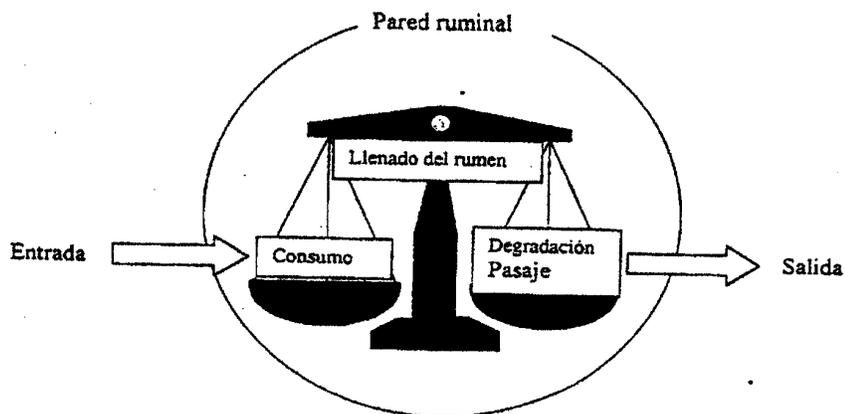
Van Soest (1994) estableció que a pesar que la digestibilidad y el consumo voluntario de MS parecen interdependientes, ambos son dos parámetros independientes de la calidad del forraje. El consumo va a depender del volumen estructural del forraje, por lo tanto del contenido de FDN, mientras la digestibilidad va a depender tanto del contenido de pared celular como de su disponibilidad para ser digerida. Un ejemplo comúnmente citado de este fenómeno es la diferencia de consumo entre leguminosas y gramíneas a favor de las primeras, cuando son comparados a similares niveles de digestibili-

digestibilidad. (Dulphy y Demarquilly, 1994).

Van Soest (1994), mostró que la relación entre contenido de FDN del forraje y consumo fue lineal, aún incluyendo forrajes con digestibilidades de 85 %. Concluyó que a pesar que el mecanismo exacto que limita el consumo en respuesta al llenado no es aún bien conocido para el caso de forrajes como única fuente de alimento no hay evidencias del control de consumo por saciedad. Los animales consumen hasta completar una cierta capacidad de almacenar FDN en el rumen y una vez que el pool de FDN ha sido reducido, a través de los procesos de degradación y pasaje, el animal esta en condiciones de volver a consumir.

Van Vuuren (1993) alimentando vacas Holstein-Frisian de alta producción con forraje fresco de *Lolium perenne* en estado vegetativo, encontró que el contenido de FDN en el rumen estuvo siempre por debajo de los valores observados en animales similares consumiendo ensilaje de pastura, o los reportado como máximo en la literatura. A partir de estas observaciones, el autor concluyo que el llenado no es la principal restricción al consumo de vacas pastoreando forrajes frescos de alta calidad. Alta concentración en rumen de los productos de la fermentación y/o el bajo contenido de MS de estas pasturas, son los factores resaltados como candidatos al control del consumo bajo estas condiciones (Citado por P. Chilbroste, 1998).

**Fig. N° 12 Esquema de la regulación del consumo integrando concepto FDN y Digestibilidad.**



Fuente: P. Chilbroste, 1998. EEMAC. XXVI Jornada Uruguaya de Buiatría.

Dado que los contenidos celulares son rápidamente solubles en rumen y requieren un tiempo de retención mínimo, la limitación física del consumo está directamente relacionada con el contenido de pared celular que constituye la fracción verdaderamente estructural del forraje (Van Soest, 1965). De esta manera, el contenido de FDN es un buen predictor del efecto de llenado (Mertens, 1987). Según Van Soest (1965) existe una relación curvilínea, con una disminución decreciente del consumo a medida que el contenido de pared celular aumenta de 40 a 70 % de la MS, existiendo una correlación entre ambas variables de  $-0,65$ .

Mertens (1994) encontró que el consumo y performance se maximizaban cuando el consumo de FDN diario alcanzaba el  $1,2 \pm 0,1$  % del PV. Este valor a su vez depende del número de lactancias y semanas de lactación.

**Cuadro N° 1 Consumo de FDN para vacas en diferentes estados fisiológicos.**

Semana de lactancia	1ª Lactancia	2 o + lactancias
% del PV / día		
2	0.78	0.87
8	1.05	1.17
16	1.14	1.25
24	1.13	1.27
28	1.11	1.24
32	1.08	1.19
44	0.97	1.01
vaca seca	0.92	0.95

Fuente: Mertens, 1994

### 2.2.1.2.3 Contenido de PC de la dieta

El consumo es deprimido cuando el contenido de proteína cruda (PC) de la dieta es menor a 6-8 % (Duran, 181; Minson, 1990; Orcasberro, 1991).

Mertens (1994) estimó que el umbral limitando el consumo se encuentra entre 7 y 14 % dependiendo de la cantidad de materia orgánica fermentable.

La eficiencia del nitrógeno limita la tasa de digestión debido a menor crecimiento y actividad microbiana, principalmente la flora celulolítica (demandante específica de  $N-NH_4$ ) (Hoover, 1986), por lo tanto la depresión de el consumo se explica por mecanismos físicos al limitar la tasa de pasaje (Mertens, 1994; May et al., 1993; Moran y Stockdale, 1992).

#### 2.2.1.2.4 Tamaño de partícula

El efecto del tamaño de partícula sobre el consumo toma singular importancia cuando se alimenta con forrajes picados, especialmente ensilajes (Sniffen, 1993).

La reducción del tamaño de partícula aumenta la tasa de pasaje permitiendo mayores consumos (Beauchemin, 1991<sup>a</sup>; Allen, 1991; Welch, 1970; Sniffen et al., 1993). Esto se debe a menores requerimientos de rumia para lograr el tamaño umbral de partícula que puede abandonar el rumen (Minson y Wilson, 1994). En esta situación, el aumento en la tasa de pasaje causa una disminución en la digestibilidad del forraje siendo mayor la depresión para la pared celular por ser la fracción mas lentamente digestible (Van Soest y Mertens, 1984; Peterson et al., 1994; Sniffen et al., 1993).

La presentación física de la fibra (tamaño de partícula) también afecta el ambiente ruminal. Cuando las partículas son pequeñas (menores a 0.6 cm) reducen la rumia y secreción de saliva, generando una caída en el pH ruminal, siendo muy efectivas para prevenir estos efectos las partícula mayores a 3.8 cm (Allen, 1991) mientras que NRC (1988) recomienda que el 75 % de la FDN de la dieta provenga de forraje. Por otro lado Allen (1991) recomienda que una 50% de las partículas del ensilaje tengan una longitud mayor a 1 cm y un 15% mayor a 4 cm.

Sniffen et al. (1993) introduce el concepto de fibra efectiva como aquella fibra de un largo tal que estimule los mecanismos de rumia. Determinó que un 20 % del peso de una muestra seca debe tener una longitud mayor a 2 cm para generar el estímulo de rumia.

**Cuadro N° 2 Efectos rúmiales y sobre el consumo del tamaño de partícula.**

Forraje	Longitud media (cm)	CMS (Kg. día)	pH rumen	C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub>	Tiempo total rumia (Hrs. día)
HENO LARGO	-	24.04	6.3	3.8	11.7
HENO PICADO	0,78	25.13	6.4	3.9	11.1
HENO PELETIZADO	0,17	23.60	5.6	2	3.7

Fuente: Adaptado de De Shaver et al., 1984.

#### 2.2.1.2.5 Sapidéz y Preferencia alimenticia

Los ruminantes pueden distinguir los sabores básicos, aunque no responden por igual todos los animales de la misma especie. Existen diferencias individuales en cuanto a la aceptación o repudiación de los cuatro sabores básicos (Baumgardt, 1972).

La urea (utilizada en sustitución de la proteína) y el propionato de sodio (preventivo de la cetosis) constituyen dos ejemplos de ingredientes que utilizados en la alimentación de los rumiantes, son desagradables al paladar en concentraciones significativas. El ganado vacuno comienza a detectar la urea cuando se incorpora a las mezclas de cereales en un nivel del 1,5% y puede reducirse el consumo de alimentos cuando el nivel alcanza un 2,5% (Baumgardt, 1972).

No cabe duda que las melazas ejercen un efecto positivo sobre la sapidéz. Sin embargo la mayor parte de su influencia se debe a que reducen la pulverulencia de los alimentos y aumentan la tasa de rotura, que en el caso de los rumiantes reducen la saciedad y la distensión (Baumgardt, 1972).

El consumo de alimentos se mantiene notablemente constante a pesar de los cambios que presenta la sapidéz. Frente a condiciones que deprimen el consumo (por ejemplo cambios drásticos en el ambiente), un alimento muy sabroso puede disminuir esta depresión transitoria. Esta mejora puede justificar a que se dedique un esfuerzo y un costo especial en la formulación de raciones (Baumgardt, 1972).

En muchas circunstancias, la sapidéz puede atraer al animal hacia el comedero, y de esta manera interviene en la iniciación del hecho de comer, aunque influye poco sobre la cantidad ingerida (Baumgardt, 1972).

El contenido de proteína, carbohidratos solubles, bajo en lignina y fibra, y alto en fósforo, mejoran la aceptabilidad del alimento. Por otro lado, la presencia de sustancias como alcaloides y oxalato, la reducen.

Es aconsejable que los cambios en la ración se efectúen en forma gradual; esto permite que el animal se vaya acostumbrando a sabores extraños y, en el caso de los rumiantes, da tiempo para que la población microbiana se ajuste a los nuevos sustratos. El mantenimiento de una capacidad digestiva constante, permite un consumo constante de alimentos (Baumgardt, 1972).

#### 2.2.1.2.6 Otros factores

Otras características importantes del alimento son, el aspecto, color, tacto, contaminación con hongos, mico toxinas (Brouillett y Pell, 1993; Mertens, 1994).

Según NRC (1988) la depresión en el consumo causada por alimentos fermentados (por ejemplo ensilajes), puede ser consecuencia de la presencia de ácidos orgánicos, aminas y nitrógeno amoniacal o sus precursores, todos los cuales han mostrado que dis-

mostrado que disminuyen el tiempo y peso de la comida (Clancy et al., 1977; Conrad et al., 1977; Dulphy y Demarquilly, 1983).

Este tipo de factores que involucran al animal en interacción con el alimento, determinando la palatabilidad y preferencia han sido clasificados como regulación fisiológica del consumo (Mertens, 1994).

### **2.2.1.3 Factores asociados a la pastura**

Las vacas pastan durante 4 a 7 períodos cada 24 horas. El pastoreo empieza a la salida y acaba a la puesta del sol; sus períodos mas largos se presentan al principio de la mañana y entre el atardecer y el ocaso. Por lo tanto, el comienzo de la primera ingestión matinal depende de la estación del año (Dukes y Swenson, 1978).

En las vacas lecheras se producen 3 o 4 períodos de pastoreo entre los ordeños de mañana y tarde, y uno o dos períodos, después de este último ordeño. Los pastoreos inmediatamente siguientes a los ordeños son por regla general las mayores (Dukes y Swenson, 1978).

Los períodos de ingestión están bien definidos cuando se trata de pasturas muy sabrosas, mientras que la ingestión de pastos con plantas insípidas es muy irregular. Los períodos de ingestión de pastos alternan con los de ocio y rumia. En general, el rebaño funciona como una unidad. Todos sus miembros se ocupan al mismo tiempo en la misma actividad, trátase de la pastoreo, el ocio o la rumia (Dukes y Swenson, 1978).

Los factores de la pastura inciden sobre el consumo, a través de los componentes del comportamiento ingestivo.

El límite superior de consumo de forraje en pie por vacas lecheras fue de 17.8 Kg./vaca / día en el experimento de J.R. Garstang (1975), quien manejó pasturas fertilizadas con nitrógeno de entre 70 y 80 % de digestibilidad, pastoreo diferido con una frecuencia de defoliación óptima de alrededor de 28 días y una carga de 5 vacas / ha.

La asignación diaria de forraje necesaria y el consumo diario de MS, aumentó junto con el potencial de producción de leche. Dillon et al. (1999) mostró esto, en un sistema de evaluación para conocer la asignación diaria requerida para vacas de diferentes edades, diferente potencial (mérito genético) para lograr los mayores consumos de forraje. En la siguiente tabla se muestran los principales resultados. Cabe destacar el consumo de MS diario de 19,5 Kg. logrado por el grupo de mayor potencial.

**Cuadro N° 3 Producción de leche, asignación diaria y consumo de MS en Mayo-Junio (Hemisferio Norte).**

Potencial de producción	5000	5800	6580	7500
Rendimiento diario de leche (Kg./v)	22	25	29	33
Asignación diaria (kgMS/v) *	19.0	20.5	22.0	25.0
Consumo de MS forraje (kg/v/d)	15.3	16.5	18.3	19.5

\* Sobre 4cm del nivel del suelo

Fuente: Dillon et al. (1999)

El tiempo diario de rumia es aproximadamente las  $\frac{3}{4}$  partes del empleado en la ingestión del pasto. Las relaciones entre tiempo de pastoreo y rumia están determinadas por el clima y la calidad y cantidad de forraje disponible (Dukes y Swenson, 1978).

### 2.2.1.3.1 Disponibilidad

Según Greenhalgh (1966) existe una relación positiva y curvilínea entre la disponibilidad de forraje y el consumo del animal a pastoreo.

Varios trabajos relacionan disponibilidad de la pastura y consumo y concuerdan que cuando la disponibilidad es menor de 2000 a 2500 kgMO / ha, el consumo se resiente (Hodgson y col., 1971; Taylor, 1974).

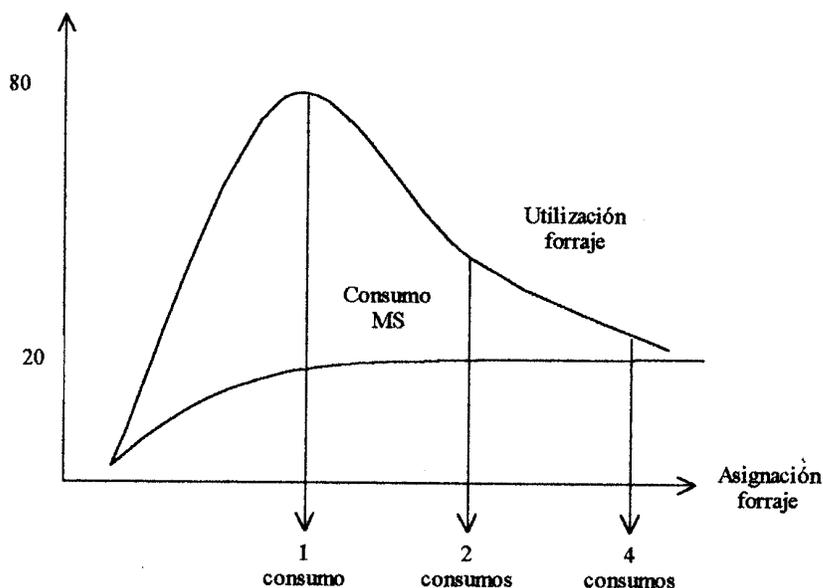
Jamieson (1975) resumiendo información, indicó que el rango de disponibilidad fuera del cual el consumo de forraje y la performance disminuyen, se encuentra entre 1100 y 2800 kgMS/ha, para el ganado. La mayoría de las mediciones fueron realizadas cortando a nivel del suelo.

En otros estudios, el límite mínimo al cual se resintió el consumo de vacas lecheras, fue de 1450 kgMS/ha (Hodgson, 1977).

Holmes (1987) destacó que disponibles de forraje menores a 2000 Kg. MS/ha afectan el consumo de MS independientemente de la asignación.

Existe considerable preocupación en lograr manejar el pastoreo de tal forma de contemplar el compromiso sensible que se presenta entre las demandas para una alta performance animal y la eficiencia de utilización de las pasturas.

**Fig. N° 13 Consumo y utilización del forraje según asignación de pastura.**



Fuente: Leaver, 1976.

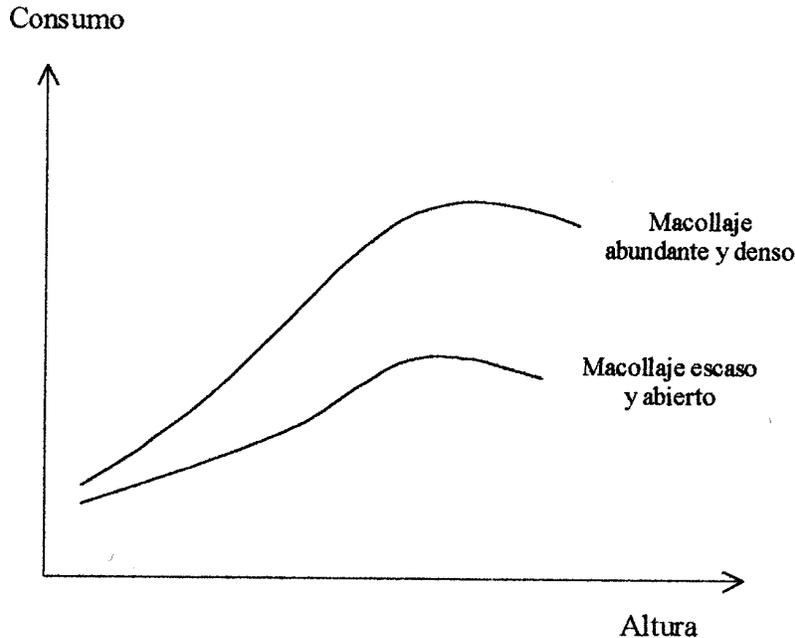
Como se observa en la gráfica anterior, a medida que disminuye la asignación de forraje, la proporción del mismo que es utilizado aumenta y el consumo declina lentamente hasta llegar al punto de máxima utilización, a partir del cual el consumo y utilización se ven afectados abruptamente.

Aunque resulte difícil aislar los efectos de cambios que se producen en la calidad de las pasturas con la variación de disponibilidad; el consumo animal se muestra incrementado con aumentos en la disponibilidad cuando las variaciones en composición botánica y calidad no son importantes. Como ejemplo, en pasturas heterogéneas la dieta depende de las especies presentes en la misma; mientras que en pasturas homogéneas la dieta es más dependiente de la disponibilidad de forraje (Arnold y Dudzinski, 1978).

### 2.2.1.3.2 Altura y Densidad

Los bovinos dependen principalmente de su móvil lengua, que emerge de la boca, rodea en círculo un bocado de hierba y lo lleva dentro de la boca. Por lo tanto el ganado no puede pastar más que en aquellos lugares donde la hierba tenga 3 o 4 centímetros (Dukes y Swenson, 1978).

**Fig. N° 14 Consumo vs. altura del tapiz según densidad**



Fuente: Marchi, 1978.

Resulta visible en la figura anterior, la relación entre la altura del tapiz y el consumo posible. Pero la altura y densidad describen aun mejor la variable mencionada. La pastura muy densa ejerce quizá mucha resistencia al bocado y la muy laxa resulta en bajo volumen (Curso 4° año Prod. Anim. en Pastoreo, EEMAC 1999).

Cuanto mas dificultad encuentre el animal para efectuar una defoliación que le permita ingerir una abundante cantidad de forraje, menor ha de ser el nivel de consumo (Willoughby, 1958; Arnold, 1962).

Hodgson (1990), propone una altura mínima del remanente de 10 cm luego del pastoreo para vacas lecheras, de manera de permitir un 100% del consumo relativo.

La máxima producción de una pastura bajo pastoreo intermitente, con intervalos de descanso que dependerán de la época del año, se logrará permitiendo que alcance los 25 cm de altura previo al pastoreo. Parecería que para sacar el máximo beneficio del área foliar máximo, las pasturas deberían someterse a un pastoreo aliviado, para dejar unos 7,5 a 15 cm de rastrojo (Guía N° 432, Forrajeras Tomo II, Facultad de Agronomía).

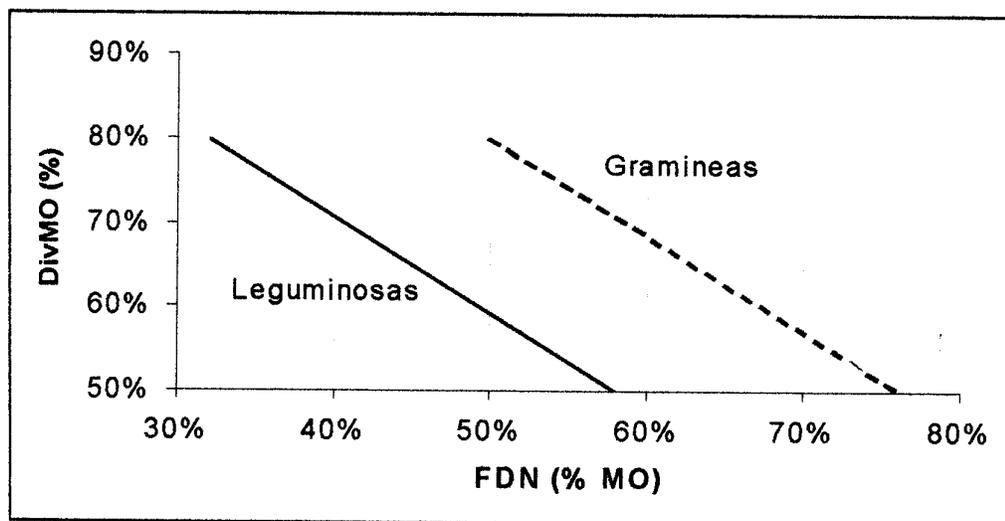
Taylor, citado por R.D. Baker (1975) mostró que el consumo de forraje en el ganado disminuyó cuando la altura del rechazo fue de 9.7 cm.

### 2.2.1.3.3 Composición botánica

La calidad intrínseca de una pastura está determinada por las especies presentes, su estado del crecimiento, el tipo de suelo, la fertilización y manejo aplicado. En la práctica, la calidad del forraje debe ser juzgada por los constituyentes químicos presentes en tipo y cantidad y en su relación a los requerimientos del animal, y en las posibilidades de que sus deficiencias puedan ser cubiertas efectivamente por la suplementación (Baker, R. D., 1975).

Es común considerar a la calidad del forraje en términos de proteína y energía, reconociendo que un solo parámetro del alimento no es adecuado por si solo. Sin embargo, como los niveles de proteína del forraje son normalmente adecuados, el consumo de forraje ha sido relacionado a alguna medida de concentración energética, usualmente la digestibilidad. Actualmente se reconoce que el material estructural de la planta, como la pared celular (FDN), provee una mejor estimación comparativa del consumo potencial de diferentes especies y variedades (Baker, R. D., 1975).

**Fig. N° 15 Digestibilidad De la MO de gramíneas y leguminosas según FDN (MO)**



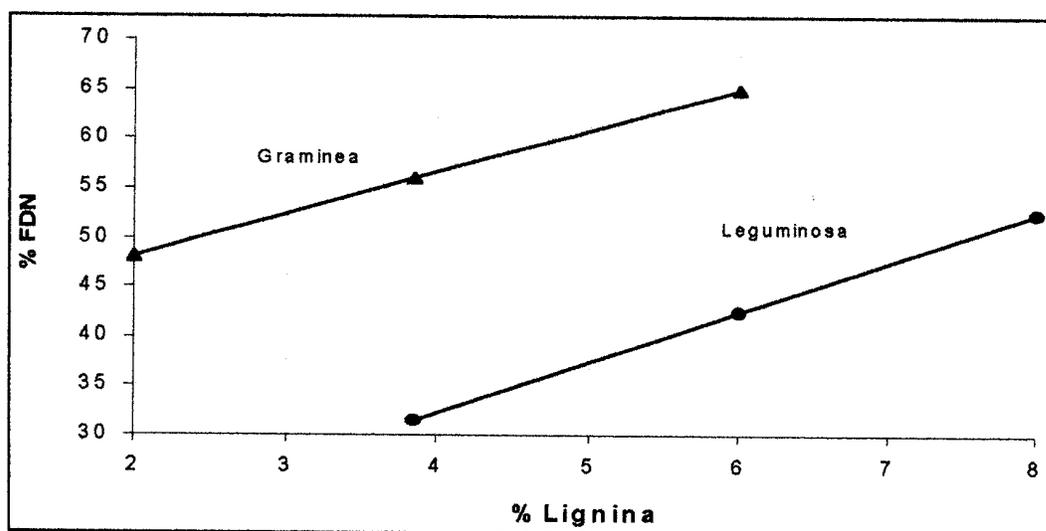
Fuente: Adaptado de Minson, 1989.

Las vacas consumen un 20 % mas de MS cuando se alimentan de leguminosas que de gramíneas (Journet y Remond, 1976; Kilmer et al., 1979; Wangness y Muller,

1981), probablemente por el mayor contenido de FDN en las gramíneas.

Se ha encontrado un mayor consumo de leguminosas (28%) en relación a las gramíneas. Las diferencias se atribuyen en un 17% por un menor tiempo de retención en rumen (Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC).

**Fig. N° 16 Relación entre el % FDN (pared celular) y % de lignina para Gramíneas y Leguminosas**

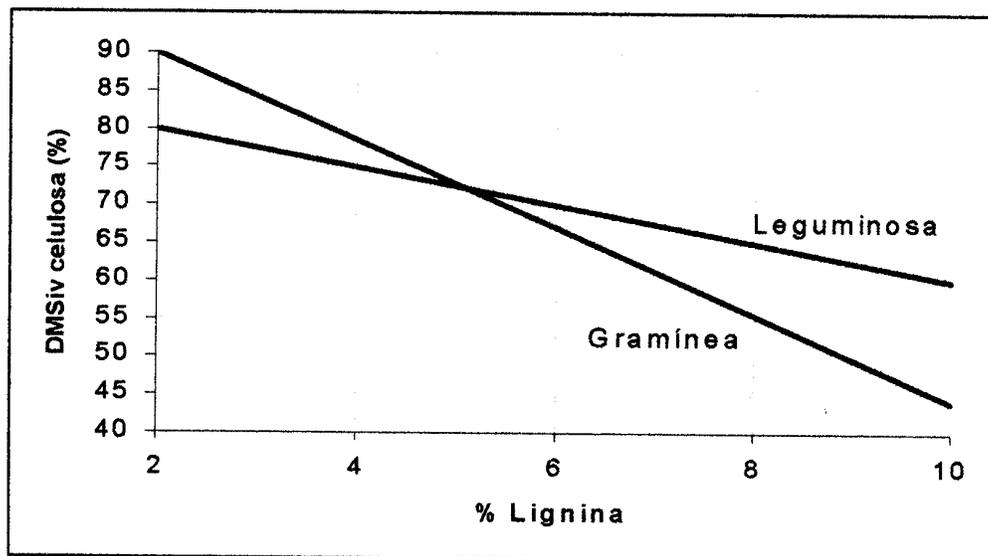


Fuente: Guía de Utilización de Pasturas, cód. N° 216 (EEMAC)

No es indicativo relacionar el nivel de lignina con el consumo por el nivel de variación entre especies; a su vez la lignina no aporta a la voluminosidad del forraje, no siendo efectiva como estímulo de distensión en el rumen. La correlación entre la lignina y el consumo voluntario es de  $-0.08$ . (Curso de producción animal en pastoreo, EEMAC, 1999).

Por otro lado, la lignina afecta negativamente a la pared celular de los forrajes, afectando adversamente su degradabilidad ruminal por los microbios. (Curso de producción animal en pastoreo, EEMAC, 1999).

**Fig. N° 17 Relación entre el % Lignina y DMSiv de la celulosa, para Gramíneas y Leguminosas**



Fuente: Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC

Se puede asociar un aumento de la lignina a medida que avanza la madurez de la planta, pero en el caso de las leguminosas, esta se encuentra menos ligada a la celulosa que en las gramíneas (Curso Forrajeras. 1999. EEMAC).

**Cuadro N° 4 Composición básica de pared celular en Gramíneas y Leguminosas.**

Como % Pared celular	GRAMINEAS	LEGUMINOSAS
Celulosa	30	45-50
Hemicelulosa	65	30-35
Lignina	7	20

Fuente: Curso Forrajeras. 1999. EEMAC

Si bien las leguminosas tienen en promedio más lignina que las gramíneas, esta se encuentra menos asociada a la pared celular y resulta así rápidamente separable en el rumen, donde decanta, permitiendo el ataque microbiano de sus fibras en forma más efectiva y rápida. Por este motivo, entre otros, las leguminosas permiten un mayor consumo, al promover una tasa de pasaje ruminal más rápida en comparación con las gra-

gramíneas.

A su vez la disposición de las fibras presentes en una y otra intervienen en el tamaño de partícula resultante en el rumen y luego de un pre-masticado. La disposición paralela de las fibras en las gramíneas determina tamaños mas grandes que requieren de mayor período de rumia (Curso de Forrajeras. 1999. EEMAC).

También las leguminosas presentan mayor contenido celular rico en proteínas, el cual es rápidamente soluble en el rumen luego de la ruptura de su epidermis, lo cual favorece la fermentación y acelera la tasa de pasaje (Facultad de Agronomía. EEMAC 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216).

Otra discriminación botánica de importancia en determinar diferencias en el consumo, es la existente entre especies templadas y tropicales.

Las gramíneas templadas tienen usualmente mayor consumo que las tropicales por una mayor digestibilidad de la MS (Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC).

Las gramíneas tropicales en relación a templadas, poseen mayor proporción de pared celular, pasaje mas rápido a la deposición de pared secundaria y menor contenido de proteínas y contenido celular, todo lo cual implica menor consumo potencial para las primeras (Curso de Producción Animales en Pastoreo, EEMAC 1999).

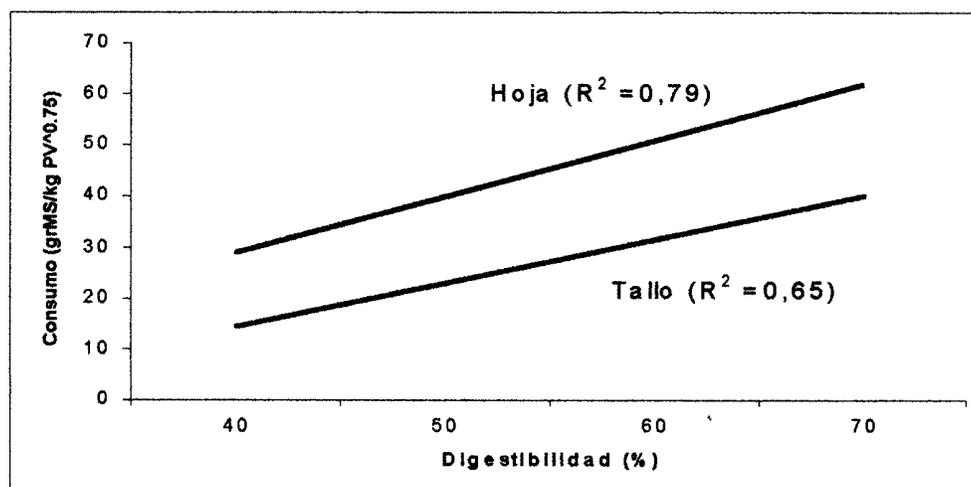
Según Hodgson (1982), la distribución vertical del forraje ejerce la mayor influencia sobre el comportamiento ingestivo en pasturas templadas, mientras que en pasturas tropicales, variables asociadas con densidad de hojas y relación hoja / tallo, resultarían mas importantes.

De acuerdo con Denim y Dirven (1975) la baja calidad de la gramíneas tropicales y subtropicales dependería fundamentalmente de las temperaturas en que crecen por efectos negativos de la edad del forraje y de la formación de tallos fértiles.

#### 2.2.1.3.4 Relación hoja / tallo

A similares valores de digestibilidad, las hojas se consumen mas que los tallos (Facultad de Agronomía. EEMAC 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216.).

**Fig. N° 18 Consumo de MS según la digestibilidad y partes de la planta.**



Fuente: Laredo y Minson, 1973.

La medida de tiempo de retención en rumen para hoja y tallo para 26 forrajes estudiados, osciló entre 24,6 y 33,3 horas respectivamente. Como el peso de materia seca en el rumen fue similar, el tiempo menor que la fracción hoja permanece en el rumen, permite un mayor consumo de esta (Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC).

El mayor tiempo de retención en rumen de la fracción tallo es debido a la mayor proporción de partículas largas y con mayor tiempo de retención (Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas, Guía N° 216. EEMAC).

Estas diferencias de mayores consumos de hoja frente a tallos, parecen estar asociadas a distintos niveles de fibra o pared celular del forraje. Sin embargo Mertens ha mostrado que las diferencias en forrajes en pared celular, no explican totalmente las diferencias en consumo. En una comparación de 126 gramíneas y 61 leguminosas, la pared celular solamente explicó el 58% de dicha variación, pero cuando se incluyó la tasa de pasaje fue posible explicar el 73% de la variación.

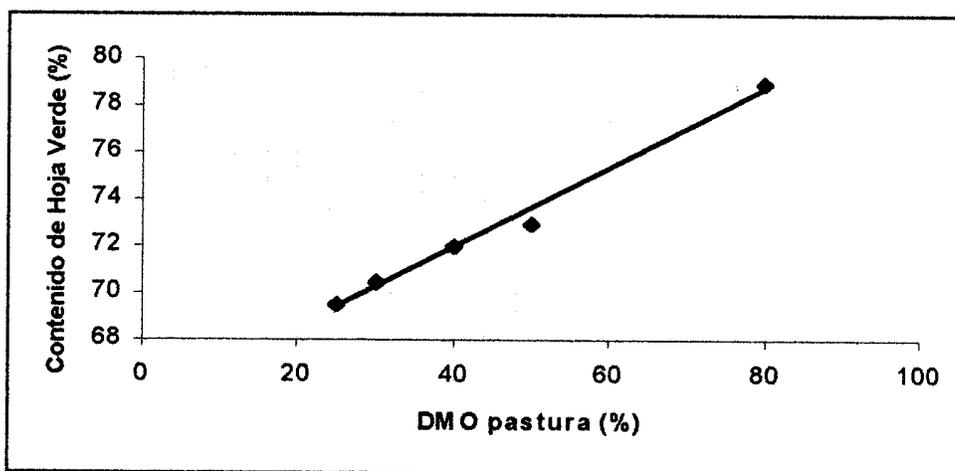
Los manejos del pastoreo severos e intensos cambian las proporciones de las distintas partes de las plantas del tapiz, con la consiguiente disminución de la calidad del forraje ofrecido y el consumo. En los sucesivos rebrotes, la relación hoja / tallo tiende a disminuir, esto es así ya que la planta adopta un hábito mas postrado y con mayores estructuras de sostén en relación al área foliar, como un instinto de la planta de escapar al

al estrés del pastoreo (Curso 4º año, Producción Animal en Pastoreo, EEMAC 1999).

En las plantas no cortadas, a las que se les permite crecer desde la primavera hasta la floración, la relación hoja / tallo tiende a disminuir con el avance de la madurez, adoptando un hábito más erecto. La caída abrupta de esta relación se produce luego de la emisión de la inflorescencia. A su vez las fracciones hoja-tallo en sí mismas, cambian su constitución con la edad (Guía N° 432, Tomo de Forrajeras II, EEMAC, 1997).

En pasturas homogéneas y con densidad no limitante, la mayor altura pos pastoreo, determina mayor proporción de hoja verde en la dieta y por lo tanto mayor DMO de la dieta consumida (Stakelum y Donovan, 2000).

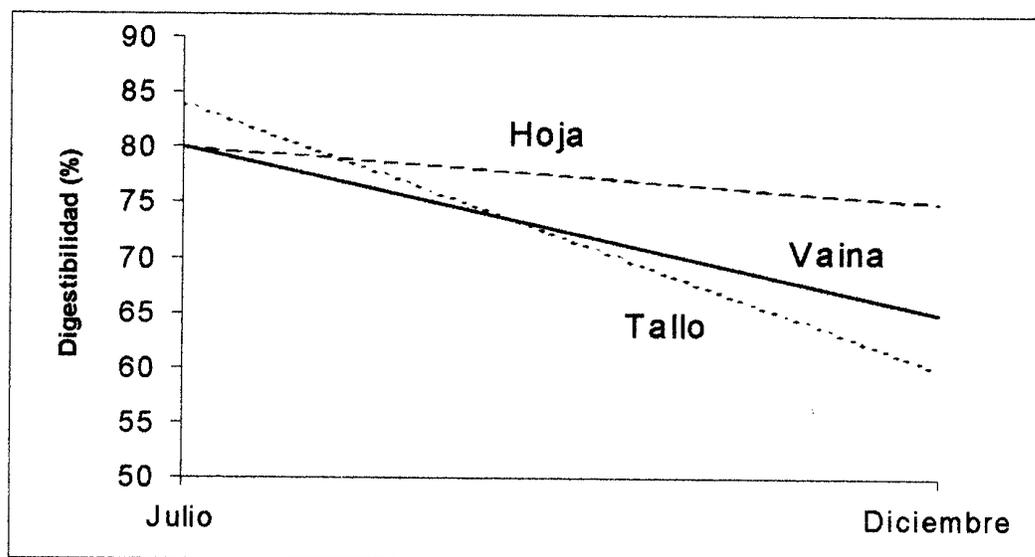
**Fig. N° 19 Digestibilidad de la MO del tapiz según el contenido de hojas verdes.**



Fuente: Stakelum y Donovan, 2000

En las gramíneas y en menor grado en las leguminosas, la fibra cruda aumenta hasta alcanzar un máximo en el momento en que maduran las semillas. Así también decrece el contenido de PC, EE y el contenido de agua.

**Fig. N° 20 Variación en digestibilidad de los distintos componentes de la planta al avanzar la madurez.**



Fuente: Curso de Producción Animal en Pastoreo. 1999. EEMAC.

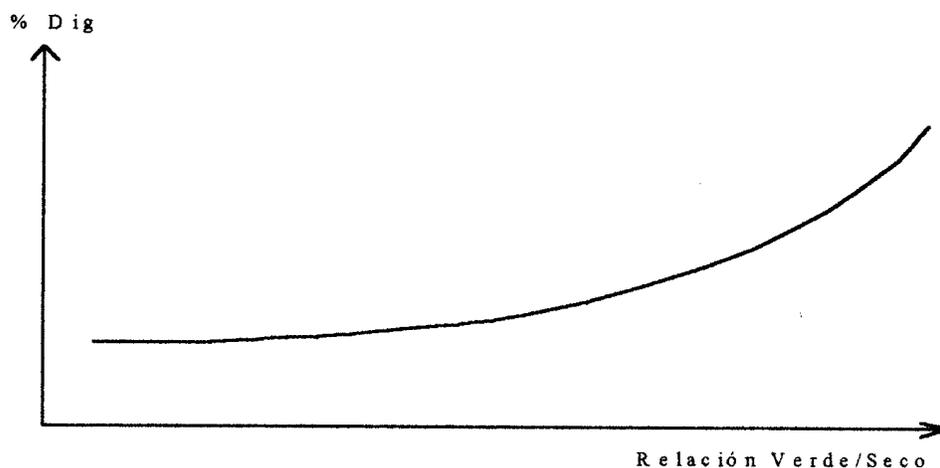
La variación que muestra la gráfica anterior está presente en forma natural en el tapiz, con lo cual adquiere importancia la profundidad a la cual es pastoreado. Resulta lógico pensar que con un remanente mayor, el animal podrá cosechar una dieta de mayor calidad.

La misma gráfica permite concluir que como fuente de nutrientes, que el forraje es la fuente de alimentos mas variable, ya que es afectado por el tipo de planta, la especie, fertilidad del suelo, estado fonológico, y las practicas de manejo.

### 2.2.1.3.5 Relación verde / seco

La presencia de material senescente o muerto en la base del tapiz dificulta el pastoreo rasante y deprime el consumo por baja calidad.

**Fig. N° 21 Relación entre Digestibilidad y relación Verde / Seco del tapiz**



Fuente: Curso Forrajeras. 1999. EEMAC.

### 2.2.1.3.6 Barreras físicas

La vaina de la hoja ha sido identificada como un límite físico para el consumo de pastura de los animales (Hodgson, 1990). La altura de la vaina en el tapiz depende de la altura de corte, por lo tanto del manejo del pastoreo (Jackson D.K., 1975). La presencia de cantidades crecientes de vainas de la hoja en el horizonte de pastoreo, se constituye en una restricción a la cosecha de forraje por parte de los animales.

Wade (1991) estudió la dinámica de defoliación por vacas lecheras de una pastura de *raigrás* perenne con el objetivo de caracterizar los cambios simultáneos de la pastura, consumo de forraje y producción de leche. Las vacas pastorearon parcelas de 25 kilos de MO de asignación promedio diario por animal. En el siguiente cuadro se resumen los resultados.

**Cuadro N° 5 Dinámica de defoliación de una pastura de raigrás.**

<b>DÍAS PASTOREO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Consumo kgMS/d	17.2	16.7	15.8	12.9	12.9
Digestibilidad (%)	85	84	83	82	82
Leche Kg./d	23.3	23.2	22.7	21.1	19.5
Altura 1 dispon. (cm)	12.9	10.3	9.7	8.2	7.4
Altura 2 dispon. (cm)	24.0	18.6	15.7	13.6	12.1
Altura de Vainas (cm)	8.4	8.7	8.5	8.2	7.8

Fuente: Wade, 1991 (Cit. por P. Chilbroste)

Altura 1: determinaciones hechas con un disco que comprime la pastura.

Altura 2: altura de la lamina extendida.

A partir del 3° día de pastoreo se observó una caída pronunciada en el consumo de MS y producción de leche. También a partir del 3°, la altura de las vainas de las hojas comenzaron a disminuir, por lo que si este nivel fuera una barrera física al pastoreo, se comportaría como una barrera móvil, en función de la presión de pastoreo. Relacionando la evolución de la producción de leche con la de las características de la pastura, Wade encontró el mejor ajuste con la fracción "lamina libre", calculada como la diferencia entre altura de la pastura y la altura de las vainas de las hojas. Esta relación confirma la importancia tanto de las características de las pasturas previo al pastoreo, como de la altura de las vainas de las hojas como fuentes de resistencia al consumo de forraje (Wade, 1991)

### 2.2.1.3.7 Contenido de MS

Sobre pasturas de leguminosas y gramíneas de alta digestibilidad y contenido de agua, se ha puesto de manifiesto que el bajo contenido de MS influye negativamente sobre la cantidad ingerida, cuando la digestibilidad del pasto es superior 70% ((Osoro, K y Mercedes Cebrian, 1982; John y Ulyatt, 1987 citado por Osoro, 1989).

Según Vérite y Journet, 1970 por debajo de 18% de MS del forraje se reduce el consumo en aproximadamente 1 Kg. por cada disminución de 4 puntos en el contenido de la misma.

Los aumentos del 1% de MS en forrajes con 10, 20, 30 o 95 % de MS, aumenta el consumo en 10, 7, 3 y 0,3 % respectivamente (Curso de Bovinos de Leche, EEMAC 1999).

El total de MS ingerida disminuye a partir de un contenido de 50 % de humedad en el alimento (Davies et al., 1983). Aumentos del 1% de humedad en forrajes con 50% de agua, disminuye el consumo de MS en 20 gr./100 kgPV (Curso de Bovinos de Leche,

EEMAC 1999).

Recientemente en un trabajo de vacas en pastoreo Gibbs et al. (1997), encontraron que la tasa de consumo de forraje fresco fue constante dentro del día, mientras que la tasa de consumo de MS aumento linealmente durante el día. El contenido de materia seca de la pastura también aumento linealmente durante el día.

Hasta que punto los cambios observados en tasa de consumo fueron provocados o no por los cambios en el %MS, es objeto de investigación actualmente (P. Chilbroste, 1998. EEMAC. XXVI Jornada Uruguaya de Buiatría).

### 2.2.1.3.8 Selectividad

Los animales pastan *selectivamente*: comen partes específicas de las plantas individuales o especies particulares en diferentes estadios de desarrollo. Se conocen dos fases de la pastoreo selectivo: la *defoliación progresiva*, selección de las partes mas suculentas de la planta, y el *floreo*, selección de ciertas especies vegetales del pasto. La pastoreo selectivo ha sido estudiada comparando la composición química de muestras de forraje presentes en el tapiz y el efectivamente consumido por el ganado (Dukes y Swenson, 1978).

Los animales pastorean en un plano vertical; luego, en un tapiz uniforme, las capas superiores de la pastura se pastorean primero. Cuando forrajes de igual palatabilidad están disponibles, el mas accesible es el mas preferido; por lo tanto, las plantas erectas promueven un mayor consumo que las postradas (Facultad de Agronomía. EEMAC. 1997. Guía N° 432, Forrajeras Tomo II).

En la defoliación selectiva intervienen varios factores, psicogénicos, fisiológicos y mecánicos (Dukes y Swenson, 1978).

El sabor de las especies vegetales puede afectar al grado de pastoreo selectivo. El sabor es influido por propiedades del forraje tales como el aroma, la morfología, la composición botánica, la succulencia, la aspereza, la pilosidad, la relación hoja / tallo, el tratamiento con abonos, y las propiedades físicas y químicas de los suelos (Dukes y Swenson, 1978).

Las vacas rechazan selectivamente los pastos contaminados por sus propias heces y orina (Dukes y Swenson, 1978).

La selección afecta directamente el consumo. La selectividad es una conducta permanente aunque aumenta en condiciones de mayor diversidad de especies (heterogeneidad) y alta disponibilidad, lo que asegura distintos componentes de la planta en el

en el tapiz.

Cuando hay exceso de forraje con respecto a la demanda animal y heterogeneidad en calidad o palatabilidad, los animales tienen posibilidad de seleccionar, cosechando algunas áreas y cosechando otras. Como resultado en el tapiz se desarrollan manchones de alta cantidad y baja calidad y otros de baja cantidad y alta calidad y el animal volverá a seleccionar las áreas ya pastoreadas (Galli, J.R., 1996. Rev. Arg. Prod. Anim. vol. 16 N° 2).

El tiempo de pastoreo está asociado al balance costo- beneficio que significa para el animal dicha actividad. Al incidir en la selectividad a través del tiempo que tienen los animales para pastar, se incide también en la calidad de la dieta cosechada y por lo tanto, el consumo de nutrientes, siempre y cuando la disponibilidad lo permita (Curso de Producción Animal en Pastoreo. 1999. EEMAC.).

## **2.2.1.4 Factores asociados al manejo**

### **2.2.1.4.1 Suplementación**

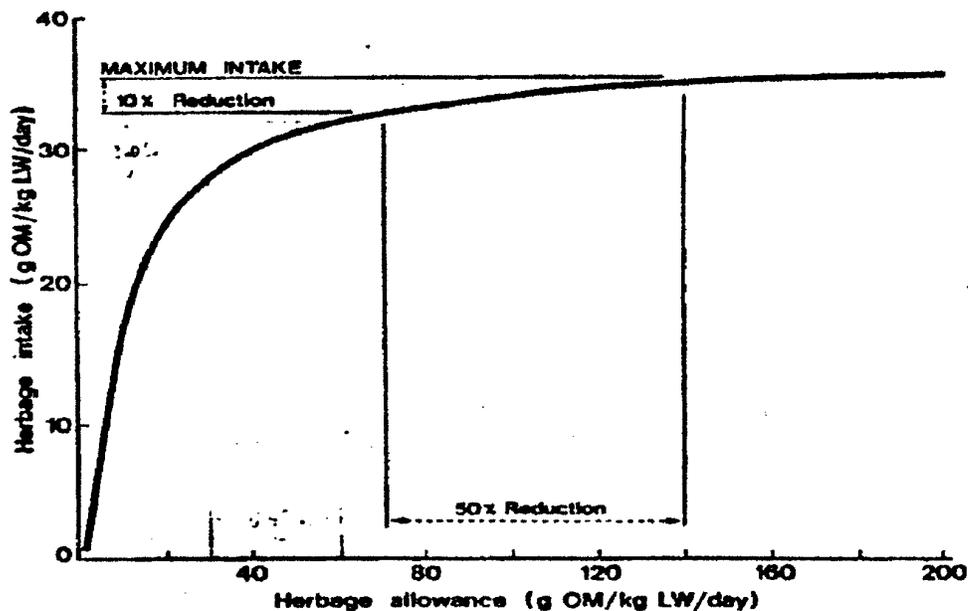
Ver tema "*Suplementación en la vaca lechera*".

### **2.2.1.4.2 Asignación de forraje**

Bajo condiciones templadas, el consumo de forraje alcanza un máximo solamente a niveles de asignación de forraje diaria (disponible medido a nivel del suelo) equivalente a cuatro veces la cantidad comida, y declina rápidamente con asignaciones por debajo de 4% del PV. La relación entre consumo de forraje y asignación resulta de la dificultad creciente en la aprehensión del forraje a medida que el tapiz es pastoreado mas cerca del suelo (Hodgson, 1975).

El mismo autor indica que los incrementos en el consumo se producen a tasas decrecientes con el aumento en la asignación, y que una disminución del 50% en las mismas, desde el valor al cual se llegó al máximo consumo, solo deprime al mismo en un 10% aproximadamente.

Fig. N° 22 Relación entre asignación diaria de forraje vs. consumo (Corderos)



Fuente: Hodgson, 1975.

En un sistema de pastoreo rotacional, controlando la frecuencia de corte de las pasturas, la asignación diaria es reflejo de la cobertura total de pasto disponible para un rodeo dado. Los métodos mediante los cuales el productor puede variar su nivel son: alterando el tiempo de residencia en una misma parcela (por ejemplo de 24 a 36 horas) o alterando la superficie pastoreada diariamente (por ejemplo de 1.0 a 1.1 has).

Para el sistema de pastoreo anteriormente mencionado, existe una relación específica entre la asignación diaria y la altura luego del pastoreo. Cuando la asignación es muy baja para el requerimiento de las vacas, la altura del pasto rechazado será baja. Inversamente, cuando la asignación es muy alta, también lo será la del remanente disponible.

#### 2.2.1.4.3 Sistema de pastoreo

##### 2.2.1.4.3.1 Franjas y momento del pastoreo

El control del pastoreo (tiempo y secuencia), genera cambios significativos en el

patrón del consumo y en la cosecha de nutrientes por parte de los animales. El pastoreo de la franja en las horas de la tarde vs. el mismo en las horas de la mañana, pudo haber tenido implicancias digestivas (diferente concentración de nutrientes en el material ingerido, 19 % MS vs. 13%) y sobre el consumo de forraje de los animales, observadas por la producción de leche entre los dos grupos de vacas (19,9 vs. 17,7 lts/v/d) (P. Chilibroste, Rev. Cangué N° 15).

En bovinos, se observan dos sesiones principales de pastoreo: una en la mañana y otra de mayor magnitud en la tarde (Gibbs, 1997). Ese patrón de pastoreo puede responder al ayuno obligado impuesto por el ordeño en el caso de ganado lechero (Rook et al., 1994), cambios en la concentración de carbohidratos solubles en la pastura (Van Vuuren et al., 1986) o contenido de MS (Gibbs et al., 1997) a lo largo del día.

#### **2.2.1.4.3.2 Tiempo para pastoreo**

En vacas lecheras, el tiempo efectivo de pastoreo con forrajes de alto valor nutritivo y bajo contenido de MS, puede constituir una restricción importante a mayores consumos de MS (P. Chilibroste, 1998. EEMAC. XXVI Jornada Uruguaya de Buiatría).

Uno de los procesos claves que se ubica entre la ingestión y digestión es la masticación del material ingerido (Ulyatt et al., 1986). La masticación es la responsable de la reducción del tamaño de partícula del alimento ingerido, proceso obligado para permitir el comienzo de la digestión microbiana en el rumen.

Laca et al. (1994) han demostrado que los vacunos son capaces de cosechar y masticar forraje en un mismo bocado o movimiento mandibular. Por otro lado los animales son capaces de obtener altas tasas de consumo instantáneo a expensas de una reducción en la eficiencia de masticado durante la ingestión, lo que redundaría en mayor tamaño de partícula en rumen y mayores requerimientos de rumia para reducirlas y habilitar la degradación y pasaje del alimento.

Chilibroste et al. (1997b, 1998), estudiaron el proceso de ingestión y digestión de vacas Holstein-Frisian pastoreando raigrás perenne. En este experimento, se les permitió pastorear por 1, 1.75, 2.5, 3.25 horas. En el siguiente cuadro se presentan los resultados:

**Cuadro N° 6 Efecto del tiempo de pastoreo sobre el consumo de MS y el tamaño de diferentes pools en el rumen.**

Variable	Antes Pastoreo	Después del pastoreo Tratamientos			Pendiente	P	
		1 h	1.75	2.5			3.25
<i>Pastoreo</i>							
Tiempo pastoreo (min)	60	103.2	120.0	149.0		***	
Consumo (Kg.)	3.52	4.35	4.80	5.73	0.74	***	
Tasa consumo Kg/100kgPV/h	0.61	0.43	0.33	0.30	0.07	***	
Peso bocado (g)	0.97	0.77	0.73	0.71	0.13	**	
<i>Contenido ruminal</i>							
Total (Kg.)	50.6	74.0	77.0	75.1	79.7	2.0	NS
MS (Kg.)	4.8	7.9	8.2	8.3	9.2	0.5	*
FDN (Kg.)	2.5	3.7	4.0	4.0	4.4	0.3	NS
<i>Productos fermentación</i>							
AGV (mol)	2.42	3.37	5.04	5.84	7.81	1.88	**
NH4 (g)	2.79	3.85	6.20	5.61	7.18	1.30	*

Fuente: P. Chilibroste 1997b, 1998

Elementos a destacar del experimento:

- Las vacas no utilizaron todo el tiempo disponible para pastorear aun habiendo ayunado la noche previa, lo cual aseguró que los animales ingresaron con hambre a la parcela.
- La tasa de consumo fue muy alta en la 1° hora de pastoreo.
- El peso de bocado también disminuyó luego de la primer hora de pastoreo.
- El contenido de MS en rumen tendió a ser mayor a medida que avanzó la sesión de pastoreo, pero no se detectaron diferencias significativas en el contenido de materia seca total (MS + líquido) de material en el rumen.
- El pool de AGV aumentó linealmente con el tiempo de pastoreo. Es significativo el hecho de que el pool de AGV aun después de 1 hora de pastoreo, fue similar a los valores previo al mismo, y recién a partir de 1,75 horas los valores aumentaron significativamente.

Normalmente se acepta que los componentes solubles de los alimentos que forman parte del contenido celular, se degradan en forma total e inmediatamente de ingerido el alimento. El comportamiento del pool de AGV en los experimentos estaría indicando que la liberación de los componentes solubles desde las células no fue inmediata y que sufrió cierta demora antes de hacerse disponible para los microorganismos rúmales. La liberación de los componentes solubles de las células requieren de masticación (Ul-

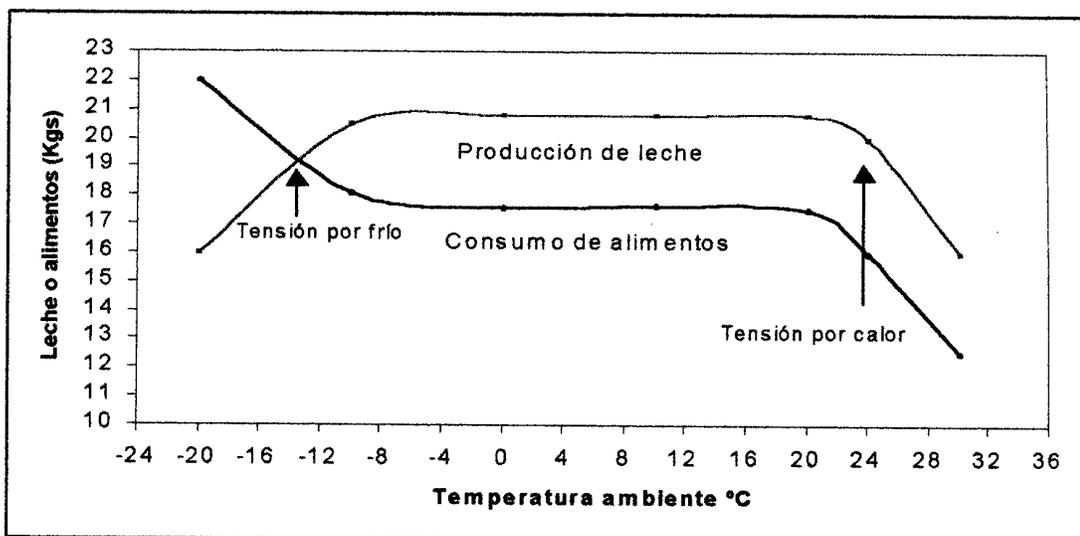
requieren de masticación (Ulyatt, 1986) que en los animales en pastoreo puede ocurrir durante la ingestión de forraje o a través de la rumia posterior al proceso de ingestión. En este caso es probable que la alta tasa de ingestión observada en los animales en la primer hora de pastoreo haya sido a expensas de una baja eficiencia de masticación durante la ingestión y selectividad del alimento consumido. El tiempo de pastoreo revela que solamente los animales en las sesiones de pastoreo mas cortas pastorearon durante todo el tiempo disponible. Los otros tratamientos interrumpieron el mismo y tuvieron un a sesión de rumia antes de retomar la actividad nuevamente. Análisis adicionales tales como la distribución del tamaño de partícula (Chilibroste et al., 1998) la fermentabilidad (Chilibroste, P. Animal Science, 1999.) del contenido ruminal reafirmaron la idea de que la eficiencia de masticación durante la ingestión fue baja, y que solo después de una sesión de rumia “obligada” se redujo el tamaño promedio de partículas en el rumen, aumentó el contenido de MS del contenido ruminal y aumentó significativamente la concentración de AGV. En este sentido es probable que el “llenado” del rumen entendido como contenido total (volumen mas que peso) puede haber señalado el cese del consumo inicialmente. La alta concentración y cantidad absoluta de AGV y nitrógeno en el rumen puede haber sido responsable del control del consumo en otros momentos del día.

## **2.2.1.5 Factores asociados al ambiente**

### **2.2.1.5.1 Temperatura**

La elevación de la temperatura ambiental hace que se incremente el ritmo respiratorio, mecanismo primordial para la disipación del calor para el ganado lechero de origen europeo. por ejemplo, el ritmo respiratorio aumenta aproximadamente 5 veces cuando la temperatura pasa de 10 a 41 °C.

**Fig. N° 23 Relaciones generales entre la temperatura ambiental, el consumo de alimentos y la producción de leche.**



Fuente: Cátedra de Bovinos de leche, 1989. Guía 106..

La producción de leche y el consumo de alimentos se reducen automáticamente, tratando de disminuir la producción de calor en el cuerpo, cuando las temperaturas se elevan. La tensión por calor afecta mas a las vacas de mayor producción y especialmente dañina en el punto máximo de lactancia. La producción de leche disminuye cuando las temperaturas ambientales sobrepasan los 27 °C para Holstein. La temperatura optima para esta raza es de unos 10 °C. Una temperatura que se eleva por encima de este valor es mucho mas perjudicial que un descenso similar por debajo de 10 °C. La alta humedad afecta adversamente la producción solo cuando la temperatura sobrepasa los 24 °C (Guía 106, Cátedra de Bovinos de leche, 1989).

Entre los aspectos de relevancia a manejar, para controlar el efecto de la temperatura sobre el consumo y producción de los animales, se encuentran la sombra el agua y manejo de los mismos (Ing. Agr., Danilo Bartaburu, Rev. Plan Agropecuario N° 94).

Esta demostrado en Uruguay que en verano se dan condiciones adversas que deprimen la producción de leche entre un 5 y 10% en vacas Holando (Bartaburu, D. Rev. Plan Agropecuario N° 94).

#### **2.2.1.5.1.1 Sombra**

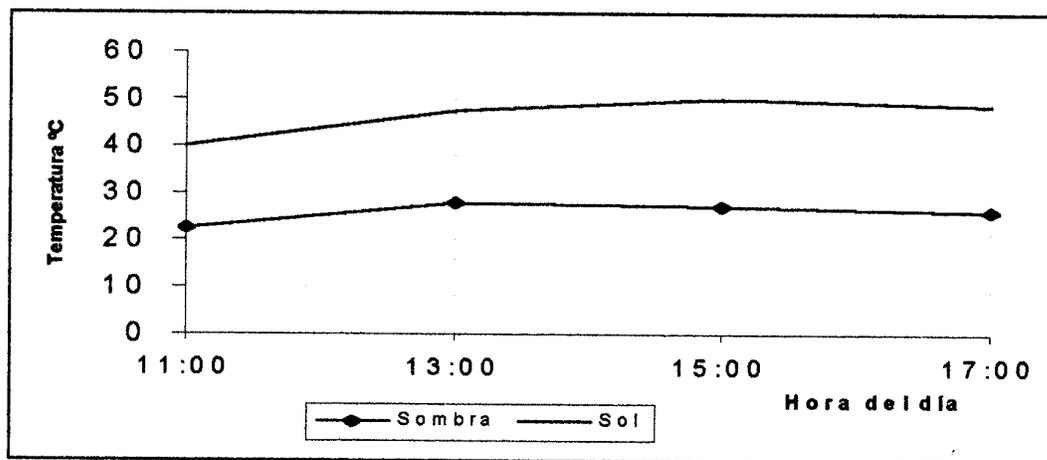
Las horas de mayor estrés calórico son entre las 10 y 18 horas. Esto obviamente está relacionado con la temperatura del día y la humedad relativa ambiente (Bartaburu, D. 2000. Rev. Plan Agropecuario N° 94).

En condiciones normales en verano, el ganado lechero debe retirarse del pastoreo alrededor de las 9-10 AM y acceder a sombra. Se debe aprovechar las horas de menor temperaturas, incluida la noche, para que el ganado pastoree, mientras que en las horas de mayor radiación solar y calor, el ganado debería estar a la sombra, con buena disponibilidad de agua (Bartaburu, D. 2000. Rev. Plan Agropecuario N° 94).

Por lo normal, los animales pastan durante las horas de temperatura confortable; ante el calor extremos los rumiantes tienden a aumentar el pastoreo nocturno (Dukes y Swenson, 1978).

En el transcurso de este periodo, entre las 10:00 y 18:00 horas se debería aprovechar a realizar uno de los ordeñes (Bartaburu, D. 2000. Rev. Plan Agropecuario N° 94).

**Fig. N° 24 Diferencia de temperatura del piso del corral de espera, con y sin malla de sombra.**



Fuente: (Bartaburu, D. 2000. Rev. Plan Agropecuario N° 94).

#### **2.2.1.5.1.2 Agua**

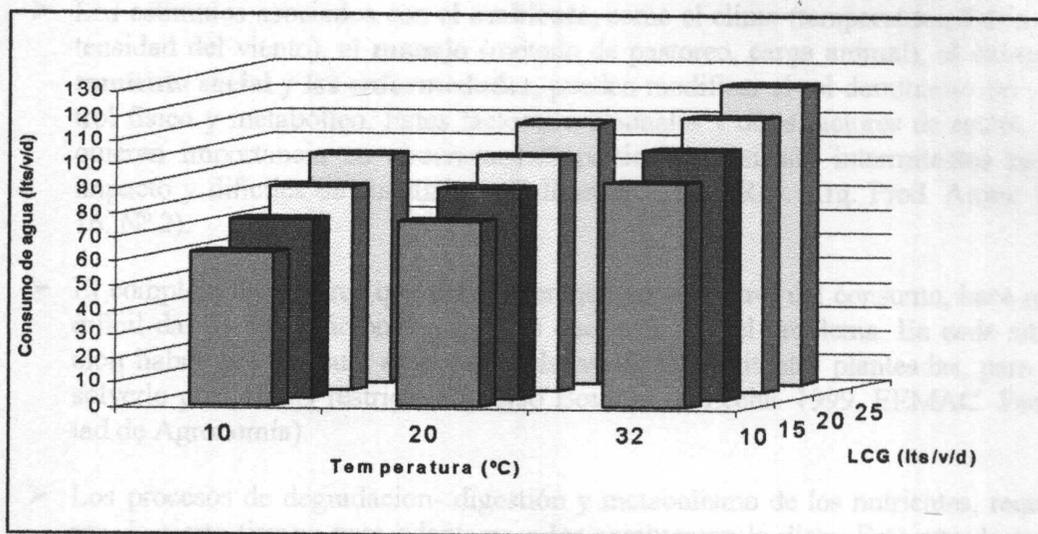
La información precedente de Australia (R. Stockdale y K. King, citados por D. Bartaburu. 2000. Rev. Plan Agropecuario N° 94) concluye que para condiciones de temperaturas medias de 22 a 30 °C, temperaturas máximas medias de 34 °C y baja HR, es posible ofrecer agua abundante a las vacas únicamente durante los horarios de ordeño, sin afectar los niveles de producción de leche. Esto es un punto polémico frente a la corriente de opinión que apoya la idea de ofrecer agua en la franja de pastoreo, a los ani-

corriente de opinión que apoya la idea de ofrecer agua en la franja de pastoreo, a los animales en el periodo estival.

Se reafirma la importancia de la disponibilidad de agua al salir y llegar a la sala de ordeño. En estos casos la demanda de agua es muy concentrada en el tiempo, por lo cual se debe disponer de un reservorio de agua y un sistema de recarga adecuado a tal situación. También se debe considerar que los accesos al agua sean satisfactorios y los animales no tengan impedimento de acceso por problemas de dominancia social.

En el siguiente gráfico se muestra una estimación del consumo de agua (NRC, 1988) para tres temperaturas y producción de leche diferentes. Para dicha estimación, se utilizó el supuesto de una vaca de 550, consumiendo una dieta de 67% digMS y un 0,18% de Na y consumos de 12, 14, 17 y 19 Kg. de MS/v/d para las respectivas producciones de leche.

**Fig. N° 25 Consumo de agua según temperatura y producción de leche.**



Fuente: Adaptado de NRC, 1988.

### 2.2.1.5.2 Lluvias

El mal tiempo reduce el pastoreo. A pesar que durante las lluvias ligeras puede no afectarlo, las lluvias fuertes reducen el tiempo de pastoreo, deprimiendo también la utilización del pasto (Waite et al., 1951, cit. por Bines, 1976).

### 2.2.2 Conclusiones

- La productividad de un animal dada cierta dieta, depende en mas de un **70 %** (Waldo, 1986) de la cantidad de alimento que puede consumir, siendo el resto de la variación explicada por la eficiencia con que digiera y metabolice los nutrientes consumidos.
- Resulta difícil pensar en estimar con exactitud el consumo de nutrientes provenientes de la **pastura**. La dificultad radica en la variabilidad y dinamismo continuo de su **composición química y factores “no nutricionales”** como la altura, densidad, cobertura y heterogeneidad. Incrementándose aun mas la complejidad por la natural interacción que estos factores presentan entre si en el tapiz, y con los de manejo, determinándose así la calidad y cantidad de forraje posible de ser cosechado por los animales en pastoreo.
- Los estímulos asociados con el **ambiente**, como el clima (temperatura, lluvia, intensidad del viento), el **manejo** (método de pastoreo, carga animal), el **comportamiento social** y las **enfermedades**, pueden modificar el rol dominante del control físico y metabólico. Estos factores adicionales y otros factores de estrés, adquieren importancia en circunstancias particulares, siendo intermitentes en su impacto y difíciles de cuantificar (Galli et al.. 1996. Rev. Arg. Prod. Anim. vol. 16, Nº 2).
- El complejo de factores que están operando en el control del consumo, hace muy difícil dar recomendaciones generales que resuelvan el problema. En cada situación habrá que ver cual es el peso relativo de las limitantes planteadas, para resolverlo por la mas restrictiva (Curso Bovinos de Leche. 1999. EEMAC. Facultad de Agronomía).
- Los procesos de degradación- digestión y metabolismo de los nutrientes, requieren de cierto tiempo para adaptarse a los cambios en la dieta. Este retardo se ve maximizado para el rumiante, el cual requiere de estabilidad ruminal para mantener un nivel de consumo determinado. La combinación de los componentes químicos de los alimentos integrantes de una dieta determinaran el tipo de relación adición- sustitución. Si existe un desbalance, se dará una “interacción negativa” provocando relaciones de sustitución. Un componente que balancea a otro, provocará una “interacción positiva”, con su consecuente adición al consumo diario.
- Concluimos que para mantener una **producción** de leche en un nivel alto y estable, es ineludible mantener un **consumo** de nutrientes estable a un nivel alto.

## **2.3 LA SUPLEMENTACIÓN EN LA VACA LECHERA**

Suplementar significa cubrir parcial o totalmente las deficiencia que presenta la dieta base. La “dieta base” es el componente alimenticio mas importante del momento.

### **2.3.1 Objetivos**

Los objetivos de la suplementación son:

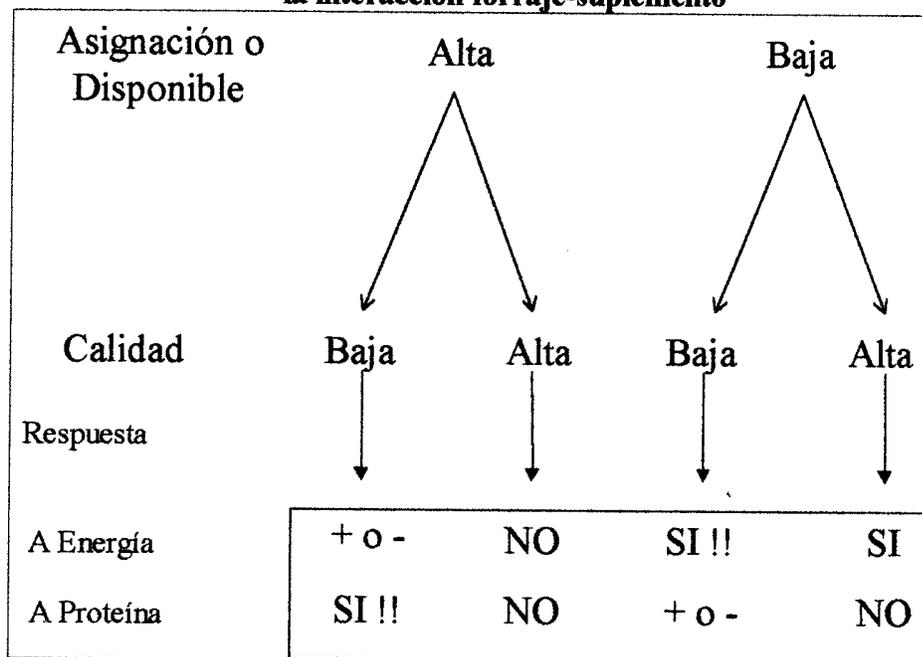
- ✓ Minimizar perdidas.
- ✓ Maximizar producción individual.
  - ✓ Aumentando el consumo de nutrientes.
  - ✓ Balanceando nutrientes, mejorando la digestión y utilización del alimento.
- ✓ Aumentar la capacidad de carga del sistema.
- ✓ Mejorar la utilización del forraje (cosecha y/o digestión).
- ✓ Corregir deficiencias específicas.
- ✓ Disminuir riesgos y estabilizar la producción.

### **2.3.2 Suplementación en pasturas templadas**

En los sistemas pastoriles de la región templada vemos como los animales recibirán un mayor nivel de suplementación en invierno, cuando la tasa de crecimiento de las pasturas disminuye, y verá, reducida la misma a un mínimo en primavera, al aumentar la disponibilidad de forraje (Rearte, D. 1995.)

El valor nutritivo de las pasturas templadas, cuando la disponibilidad no es limitante, permite alcanzar niveles de producción de 20-25 lts de leche sin necesidad de recurrir a la suplementación (Rearte, 1992; Orcasberro, 1992; Durán, 1982). En estas condiciones, cuando se ofrece una alta asignación de forraje de alta calidad a vacas de potencial medio, es poco probable que se obtengan respuestas importantes al suministro de concentrados, debido al efecto principalmente sustitutivo. Como contrapartida, respuestas importantes se pueden esperar cuando hay baja disponibilidad y/o cuando el forraje es de baja calidad (Orcasberro, 1992).

**Fig. N° 26 Respuesta esperada a la suplementación, según la interacción forraje-suplemento**



Fuente: Curso Bovinos de Carne. 1999. EEMAC

La suplementación *invernal*, no solo tendrá como objetivo, aumentar el suministro de nutrientes que se vería limitado con el pastoreo exclusivo, sino también permitir mantener durante el invierno, una carga alta que posibilite una máxima eficiencia de cosecha de las pasturas durante la estación de crecimiento de primavera – verano. Suplementos voluminosos como el ensilaje de maíz o de pastura, heno además del concentrado, serian los alimentos apropiados para esta época del año (D. Rearte, 1995).

Durante la *primavera* es cuando menos importante resulta la suplementación porque obviamente lo que se busca, es maximizar la cosecha de forraje a través del pastoreo y cualquier tipo de suplementación, ejercerá una tasa de sustitución sobre el forraje consumido disminuyendo la eficiencia de cosecha (D. Rearte, 1995).

En *verano*, cuando las pasturas ven disminuida su calidad, ensilajes de maíz de alto valor energético junto con el concentrado, serian los mas apropiados (D. Rearte, 1995).

En *otoño* al presentar las pasturas serios desbalances nutricionales de Energía / Proteína, solo alimentos energéticos como el ensilaje de maíz con alto contenido de grano o concentrados, deberían ser considerados (D. Rearte, 1995).

La eficiencia de utilización de los nutrientes ingeridos dependerá de lo balanceado que resulte la dieta, principalmente energía y proteína. Las pasturas templadas de alta

calidad presentan una gran variación en su contenido proteico, dependiendo este de las especies y su estado de crecimiento. La concentración de amoníaco ruminal dependerá de la cantidad y degradabilidad de las proteínas de la dieta y de la tasa de utilización de amoníaco por parte de las bacterias del rumen (D. Rearte, 1995).

Las elevadas concentraciones amoniacaes registradas con animales consumiendo pasturas templadas, si bien satisfacen los requerimientos bacterianos, afectan la eficiencia de utilización de los compuestos nitrogenados por parte del animal ya que importantes cantidades de  $\text{NH}_3$  son absorbidos por las paredes del rumen, metabolizadas a urea en el hígado y luego excretadas a través de la orina (Beever, D. E., 1984).

La eficiencia de utilización del amoníaco ruminal, dependerá de la energía rápidamente disponible, originada en la digestión del forraje, siendo los carbohidratos solubles, el principal componente de las pasturas que permitirán aumentar dicha eficiencia (D. Rearte, 1995).

En trabajos realizados por Elizalde et al. (1992<sup>a</sup>, 1992b) en Argentina, se observó claramente como una pastura a pesar de mantener su digestibilidad, puede variar sustancialmente su valor nutritivo en las distintas épocas del año según sea su contenido de carbohidratos solubles y proteína (degradabilidad). El forraje utilizado en estos ensayos fue Avena sativa de pastoreo. En otoño el forraje tuvo un alto contenido proteico y un mayor % de proteína soluble que en primavera. Esto obviamente se tradujo en elevadas concentraciones de  $\text{NH}_3$  en rumen. Aunque la concentración proteica del forraje fue alta tanto en otoño como en primavera, el mayor contenido de carbohidratos solubles en primavera, hizo que la eficiencia de utilización del  $\text{NH}_3$  generado en rumen fuese mayor en esta época del año (D. Rearte, 1995).

### **2.3.3 Efectos sobre el consumo de pastura**

La magnitud de este efecto estará influenciado por la cantidad de pastura disponible y la asignación diaria de forraje, la digestibilidad de la pastura y tipo y nivel (Meijs, 1985) de suplemento (Leaver, Campling y Holmes, 1968; Grainger y Mathews, 1989).

#### **2.3.3.1 Adición**

Es el incremento total de MO o de MS consumida por MO o MS de concentrado suministrado (Duran, 1982). Se expresa como  $(\text{KgMS extra de pastura} / \text{KgMS extra concentrado})$ .

Se da comúnmente cuando el aporte de nutrientes de la pastura es insuficiente, ya sea por baja disponibilidad o calidad, o tiempo de pastoreo muy restringido. La deficiencia hace que un pequeño aporte de nutrientes vía suplemento, se sume a los de la pastura

bajo pastoreo. Habría respuestas crecientes al uso de suplementos hasta cierto límite dependiente de la cantidad y calidad del suplemento (Pigurina, 1991).

### **2.3.3.2 Adición con estímulo**

Ocurre en caso en que el suplemento suministra nutrientes y su vez estimula el consumo de forraje de baja calidad. Es frecuente en la suplementación proteica o con nitrógeno no proteico (Pigurina, 1991), ya que mejora el ambiente ruminal y el crecimiento microbiano, aumentando la tasa de pasaje y digestión.

### **2.3.3.3 Sustitución**

Es la cantidad que disminuye el consumo de MO o MS de pastura por MO o MS de concentrado consumido (Duran, 1982). Ocurre cuando la pastura cubre los requerimientos del animal y se manifiesta claramente cuando el suplemento suministrado es de mayor palatabilidad y calidad que la pastura. La tasa de sustitución de pastura por suplemento aumenta a medida que aumenta la oferta de suplemento y se generan excedentes de forraje (Pigurina, 1991).

$$\text{Tasa de sustitución} = \frac{\text{Cons. forr. anim. testigo} - \text{Cons. forr. anim. suplem.}}{\text{Kg. suplemento consumido}}$$

### **2.3.3.4 Sustitución con depresión**

Se presenta cuando el suplemento de mayor valor nutritivo que el forraje consumido provoca depresión en el consumo y digestión del mismo. Ciertas modificaciones del ambiente ruminal pueden ser causa de la depresión (Pigurina, 1991). También se puede dar cuando el suplemento es de menor calidad que la pastura (Lange, 1980).

## **2.3.4 Tipo de suplemento**

### **2.3.4.1 Suplementación con concentrados**

Vacas consumiendo pasturas templadas de alta calidad y sin restricciones en el consumo, en general no presentan respuestas a la suplementación proteica; pero si la suplementación se hace con proteínas de baja degradabilidad ruminal (sobrepasante), se obtienen respuestas en la performance individual, principalmente en animales de alto

potencial (> 25 lts) (D. Rearte, 1992; Craig et al., 1988).

Las principales características nutritivas de los concentrados proteicos, están dadas por la degradabilidad (ver sección Req. de Proteína), la digestibilidad y composición de su proteína, ya que junto con las características proteicas de la pastura, influyen sobre la disponibilidad de amoníaco en el rumen y de aminoácidos dietarios en el intestino (Orcasberro, 1992).

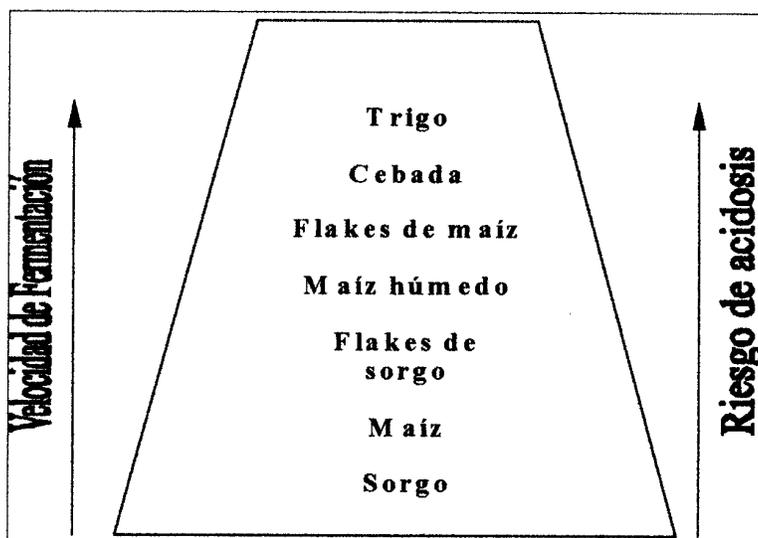
El efecto de la suplementación con concentrados energéticos sobre el consumo depende de la cantidad y calidad de la pasturas ofrecida, el tipo, nivel, frecuencia y momento de suministro del concentrado y el potencial del animal. En general la tasa de sustitución aumenta con la calidad y cantidad de pastura disponible por animal, con la cantidad de concentrado suministrado y es mayor cuando se suministran almidonosos frente a fibrosos (Rearte, 1992; Orcasberro, 1992; Mo, 1979; Dulphy, 1979; Bines, 1976; Durán, 1982; Alden, 1985; Leaver, 1986). Con alta sustitución, la consecuencia directa en el sistema sería un aumento en la capacidad de carga (Gagliostro et al., 1986).

La reducción del consumo de forraje por efecto del consumo de concentrado puede deberse a la modificación de la conducta ingestiva del animal; dedica menos tiempo al pastoreo al ser mas accesible y palatable el concentrado (Orcasberro, 1992), incremento en el grado de llenado por el consumo de concentrado y por la interferencia que este tenga con la digestión de la fibra a nivel ruminal (Rearte, 1992; Orcasberro, 1992; Grigsby et al., 1993).

El tiempo de pastoreo es el componente del comportamiento ingestivo mas afectado por la suplementación (Sarker y Holmes, 1974; Jenkins y Holmes, 1984), observándose disminuciones de 22 a 28 (Sarker y Holmes, 1974) y de 15 a 22 minutos de pastoreo por Kg. de concentrado ofrecido (Journet y Dermaquily, 1983).

El consumo de concentrados energéticos almidonosos, en especial aquellos rápidamente fermentecibles, provocan una gran concentración de AGV y lactato, generando una caída en el pH ruminal. Al caer este por debajo de 6, genera un impacto negativo en la actividad celulolítica, enlenteciendo la tasa de pasaje, por lo tanto una disminución en el consumo (Van Vuuren et al., 1986; Milne, 1982; Owens, 1988; Hoover y Miller, 1991; Beauchemin, 1991; Allen, 1991; Rearte, 1992).

#### **Fig. N° 27 Degradabilidad ruminal de algunos granos.**



Fuente: Curso de Producción Intensiva de Carne. EEMAC. 2000.

El molido de los cereales causa una disminución en el consumo, por incrementar la velocidad de fermentación en el rumen (Kautzann, cit. por Bines, 1981), dependiendo del tipo de cereal, nivel de suplementación, frecuencia de alimentación y momento y uso de aditivos.

El uso de concentrados energéticos fibrosos de alta digestibilidad, posee un buen potencial de uso como suplemento energético cuando el objetivo es minimizar el efecto sobre el consumo de forraje, dado a que este tiene una menor interferencia con la microflora celulolítica (Meijs, 1985; Rearte, 1992; Van Vuuren et al., 1986).

#### **2.3.4.2 Suplementación con ensilajes**

La suplementación con ensilajes, al igual que para los concentrados, dependerá de la disponibilidad y calidad de las pasturas y del ensilaje ofrecido (Rearte, 1992). En general se citan tasas mayores para ensilajes y en especial para altos niveles de suplementación (Leaver, 1985; Phillips, 1988).

Si se suplementan pasturas ad-libitum se provocan situaciones de sustitución con depresión del consumo (1.17 kgMS de pastura por kgMS de ensilaje) debido a la menor calidad del forraje conservado (Leaver, 1985; Phillips, 1988).

Generalmente al reducirse el forraje fresco (asignación), se incrementa el consumo de ensilaje, por lo tanto se reduce la calidad promedio de la dieta total, lo que conlleva a que se vea perjudicado el comportamiento individual de los animales (Acosta,

1991).

En ocasiones se da adición con estímulo y generalmente están explicadas por la limitante de un nutriente en los alimentos (Rearte, 1992; Moran y Stockdale, 1992). En esta situación lo que se da es que un alimento presenta deficiencia de un nutriente (por ejemplo proteína en el ensilaje de maíz y fibra en el rebrote de pastura) y exceso en el otro (fibra en el ensilaje y proteína en el rebrote de pastura), por lo que se da una complementariedad y mayor eficiencia de uso a nivel ruminal de ambos (Rearte, 1992; Phillips, 1988). Consideramos que este efecto se consigue, siempre y cuando haya una restricción en la asignación del forraje.

Moran y Stockdale, 1992 midieron una tasa de sustitución de 0.67 kgMS de pastura por kgMS de ensilaje, cuando se suministraron 3 kgMS de ensilaje de maíz a vacas pastoreando forraje de alta calidad, con una asignación de 45 kgMS/v/d.

Moran y Stockdale (1992), reportaron un efecto de adición con estímulo al agregado de proteína adicional (harina de semilla de algodón), en el consumo de pastura cuando se le suministraba ensilaje de maíz en un 35 a 45 % de la dieta.

Cuando se suplementa sobre una pastura restringida, también hay sustitución pero el consumo total se ve incrementado (Rearte, 1992; Phillips, 1988). Para esta situación, Phillips (1985) encontró que la tasa de sustitución promedio era de 0.31, disminuyendo al aumentar el grado de restricción.

Rearte (1992), determinó que la tasa de sustitución fue afectada por la forma de suministro del ensilaje, siendo de 0.92 cuando este se lo ofreció en un vez diaria y 0.72 cuando se lo repartió en dos veces.

Concluyendo se puede decir que la suplementación con ensilajes permite aumentar la carga, ya que se dan altas tasas de sustitución, aunque no se logren los máximos rendimientos individuales, se logran incrementos en producción por unidad de superficie (Acosta, 1991).

### **2.3.5 Frecuencia de suministro**

Cuando se suplementa con cereales, un mayor número de comidas por día, no solamente aumenta el consumo, sino que también ayuda a mantener una tasa de fermentación uniforme en rumen (Kautzann, cit. por Bines, 1981).

Rearte (1992), determinó que las tasas de sustitución son afectadas por la forma de suministro del ensilaje, siendo de 0.92 cuando se lo ofreció en una sola comida diaria, a 0.72 cuando se lo hizo en dos veces por día.

En situaciones donde existe un alto aporte de concentrados en la dieta (> 6 Kg./v/d), es conveniente fraccionar el suministro diario en comidas de no más de 3 Kg. y separadas por un intervalo mínimo de 4 horas para evitar disturbios metabólicos (Chilibroste, P. 2001. EEMAC. Jornada Anual de Lechería.)

### **2.3.6 Efecto sobre la producción de leche**

$$\text{Respuesta al concentrado} = \frac{\text{Producción extra de leche}}{\text{Suministro extra de concentrado}}$$

La respuesta en producción de leche depende del potencial genético, la etapa de lactancia y el estado corporal al parto, de la cantidad y calidad de pastura disponible y de la cantidad, características, frecuencia y momento en que se suministra el concentrado (Orcasberro, 1992).

La producción de leche que se logra al inicio de la lactancia proviene en parte del aporte de nutrientes del tejido movilizado en ese periodo, cuando el consumo de la vaca es bajo y su potencial de producción, alto. Es por ello que existe respuesta al estado corporal pre-parto, el que interactúa con la suplementación, condicionando la respuesta, vía potencial genético (Orcasberro, 1992).

La suplementación puede influir sobre la producción de leche en el corto y largo plazo. La respuesta en el corto plazo o efecto directo, es el aumento de producción que se logra en el momento que se suministra el suplemento por encima del que permite el forraje como único alimento. El efecto a largo plazo o residual, es el aumento en producción que se obtiene en la misma lactancia, después de finalizado el periodo de suplementación (Orcasberro, 1992; Leaver, 1985; Durán, 1982). La respuesta directa en general varía entre 0,1 y 1,4 lts extra por Kg. extra de concentrado (Leaver, 1985; Durán, 1982; Gilles et al., 1990), y la residual asciende a un 55% de la directa, siendo en la mayoría de los casos quien determina la viabilidad económica de esta práctica (Leaver, 1985).

Chilibroste et. al. (2000) en un experimento sin pastoreo, con heno de alfalfa y tres niveles de suplementación (6-9 y 12 Kg. BF) durante los primeros 60 días de lactancia, encontraron una respuesta directa del orden de 1.3 y 0.56 al pasar de 6 a 9 y de 9 a 12 kg. respectivamente y de 0.95 lts/kg. extra de concentrado al pasar de 6 a 12 kg. El efecto residual durante los siguientes 200 días fue en promedio 1.5. La respuesta total (250-260 días) fue de 4.5 y 2.5 lt de leche por vaca y por día, por kg. adicional de concentrado suministrado al pasar de 6 a 9 y de 9 a 12, respectivamente.

Para Broster et al. (1969, 1975), el efecto residual sobre la producción de leche equivalió en promedio a 4 veces el efecto inmediato al inicio de la lactancia. La respuesta de 180 o 190 Kg. durante las primeras 8-9 semanas posparto del periodo experimental, fue incrementada respectivamente a 862 o 680 Kg. de leche para toda la lactancia. Para todas las vacas, la mayor producción de leche establecida, se mantuvo en el mismo nivel, aun después de los cambios en la disponibilidad del alimento. El cambio de 1 Kg. leche en el pico de la producción, significó 150-200 Kg. en la producción por lactancia. El 75% del efecto de largo plazo fue iniciado durante las primeras 4 semanas de lactancia.

Existe una interacción muy fuerte entre la respuesta en producción de leche y la oferta de forraje por animal, como lo muestra los experimentos de Cea (1987). En los mismos se puede ver como al aumentar la oferta de forraje por animal, disminuye la eficiencia del concentrado en términos de respuesta explicado por un mayor efecto sustitutivo.

#### **Cuadro N° 7 Resumen de respuestas al concentrado, obtenidas por varios autores**

Asignación (Mg/MSVd)	Utilización (%)	Tipo de pastura	Ensilaje (str)	Nivel de concentrado	Tipo de concentrado	Producción (litro/Vd)	Respuesta (litro/kg)	Autor
15,3	90,8	W	N			7,8		Mirlos y Barro (1989)
15,3	85,1	W	N	32	FR	11,6	1,20	Mirlos y Barro (1989)
2h		V	adlib			120		Giles et al. (1990)
2h		V	adlib	46	EF	17,5	1,40	Giles et al. (1990)
2h		V	adlib	46	RBC	17,3	1,30	Giles et al. (1990)
2h	40,2	FP	adlib			7,7		Nozili y Resquin (1991)
2h	40,2	FP	adlib	3	EF	120	1,40	Nozili y Resquin (1991)
2h	40,2	FP	adlib	6	EF	12,9	0,90	Nozili y Resquin (1991)
9	54,8	FP	adlib			10,9		Colazzi y Ergahardt (1991)
9	54,8	FP	adlib	2	EA	12,9	1,00	Colazzi y Ergahardt (1991)
9	54,8	FP	adlib	4	EA	13,9	0,80	Colazzi y Ergahardt (1991)
9	54,8	FP	adlib	6	EA	15,6	0,80	Colazzi y Ergahardt (1991)
138	85	W	N			100		Geynrot (1992)
138	85	W	N	55	EA	134	0,60	Geynrot (1992)
27,5	48,7	W	N			124		Geynrot (1992)
27,5	48,7	W	N	55	EA	164	0,70	Geynrot (1992)
138	53,5	FP	N			128		Oca (1987)
138	53,5	FP	N	46	RBC	165	0,80	Oca (1987)
27,8	40	FP	N			17,2		Oca (1987)
27,8	40	FP	N	46	RBC	19,9	0,60	Oca (1987)
55	28	FP	N			19,3		Oca (1987)
55	28	FP	N	46	RBC	21,8	0,50	Oca (1987)
30	4,7	FP	N			19,3		Gajdos et al. (1986)
30	4,7	FP	N	2	EA	21,0	0,90	Gajdos et al. (1986)
30	48,9	FP	N	4	EA	21,7	0,60	Gajdos et al. (1986)
21	60,5	V	N	7	EA	25,6		Mijs (1985)
21	66,3	V	N	7	EF	26,7		Mijs (1985)
7,6	78,9	FP	N			154		Geingery y Mathews (1988)
7,6	82,8	FP	N	32	EA	18,5	0,97	Geingery y Mathews (1988)
17,1	69	FP	N			20,9		Geingery y Mathews (1988)
17,1	64,3	FP	N	32	EA	23,1	0,69	Geingery y Mathews (1988)
33,1	48	FP	N			23,1		Geingery y Mathews (1988)
33,1	41,4	FP	N	32	EA	240	0,28	Geingery y Mathews (1988)
21	81	V	N			146		Milauch et al. (1990)
21	71	V	N	25	EF	15,7	0,50	Milauch et al. (1990)

Donde: PP = Pradera permanente.

VV = Verdeo de verano.

VI = Verdeo de invierno.

EF = Energético fibroso.

EA = Energético almidonoso.

RBC = Ración balanceada comercial.

Adlib = Ad libitum

De la información contenida en el cuadro anterior y de las tesis revisadas, se eligieron algunos experimentos que nos permita estimar la respuesta en producción de le-

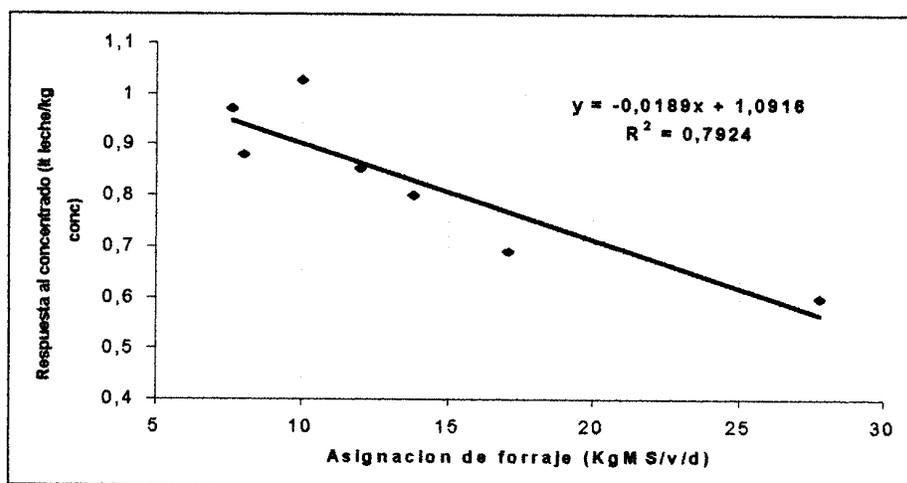
che, a la suplementación (básicamente con concentrados almidonosos y ración balanceada comercial (RBC)). Estos experimentos fueron realizados para etapas de lactancia temprana y media, sobre pasturas templadas de buena calidad, con niveles de concentrado de 3 a 6 Kg./v/d, asignaciones de pastura entre 8 y 28 kgMS/v/d y producciones de 15 a 25 lt leche/v/d.

Cuando los componentes de la dieta tienden a balancearse, es decir son complementarios, la relación de sustitución, si la hay, no reproduce la tendencia típica de disminución de la respuesta frente a asignaciones no restringidas.

**Cuadro Nº 8 Resumen de respuestas utilizadas para ajustar la regresión.**

Asignación	Pastura	Tipo concentrado	Nivel de concentrado	Ensilaje (s/n)	Producción	Respuesta	Autor
13.8	PP	RBC	4.6	n	16.5	0.800	Cea (1987)
27.8	PP	RBC	4.6	n	19.9	0.600	Cea (1987)
8	PP	RBC	6	s	21.6	0.879	T. 2603
12	PP	RBC	6	s	23.3	0.852	T. 2603
7.6	PP	EA	3.2	n	18.5	0.970	Grainger y Mathews (1989)
17.1	PP	EA	3.2	n	23.1	0.690	
10	PP	EA	6	s	24.9	1.026	T. 2879

**Fig. Nº 28 Respuesta al concentrado según asignación de forraje.**



Fuente: ver cuadro anterior.

### 2.3.7 Efecto sobre la composición de la leche

La cantidad de leche sintetizada en la glándula mamaria en un momento determinado dependerá del flujo sanguíneo, de la concentración de precursores de leche en plasma y de la eficiencia de captación y utilización por parte de la glándula, de dichos precursores (Rearte, 1992).

Los constituyentes osmóticamente activos y quienes determinan el volumen producido, son la lactosa, los minerales (principalmente Na, K y cloruros) (Oldham y Sutton, 1983).

**Cuadro N° 9 Composición química promedio de la leche (Holstein).**

Componente	%
Grasa	3.7
Sólidos no grasos	8.5
Proteína	3.1
Lactosa	4.6
Cenizas	0.73

Fuente: Fuente: Guía N° 106, Cat. Bov. de Leche, 1989.

**Cuadro N° 10 Principales precursores de los componentes de la leche.**

Componente	Precursores	Origen
Lactosa	Glucosa sanguínea	Propiónico, gluconeogénesis y glucosa duodenal.
Ácidos grasos de cadena corta (4-14 C)	Unidades de acetato y $\beta$ -hidroxibutirato	Fermentación de carbohidratos en el rumen
Ácidos grasos de cadena larga (16-20 C)	Triglicéridos	Dietario o movilización de reservas
Proteínas	Aminoácidos del plasma	Aminoácidos absorbidos en duodeno (bacteriano o dietario pasante)
Caseína		
Inmunoglobulinas y albúminas	Inmunoglobulinas y albúminas	Plasma sanguíneo
Minerales	Minerales	Plasma sanguíneo
Vitaminas	Vitaminas	Plasma sanguíneo

Fuente: Rearte, D. 1992; Bath et al. 1982; Oldham y Sutton 1983; Guía N° 106, Cat. Bov. de Leche 1989.

La utilización directa de pasturas de alta calidad, provoca un perfil de parámetros de fermentación ruminal distinto al logrado en sistemas no pastoriles, que afecta la síntesis de grasa en la glándula mamaria. La alta concentración de carbohidratos solubles de la pastura, genera un cuadro denominado como pseudo- acidosis en el cual se da un efecto combinado de bajo pH (5,9 a 6,2), exceso de amoníaco (6-30 mg/100 ml), excesos de AGV (80-120 mmol/l) y una baja relación entre precursores lipogénicos sobre precursores glucogénicos (rel. C2/C3 : 2-2,5 a 1). Estas condiciones son sub- óptimas para la digestión ruminal de la fibra y afecta negativamente la síntesis de grasa en leche (Rearte, 1992; Van Vuuren, 1986).

La variación en la composición de la leche puede explicarse entonces por la teoría glucogénica. Un aumento en la proporción de propiónico (C<sub>3</sub>) en el rumen, como resultado del consumo de concentrado energético, incrementa el nivel de glucosa e insulina en sangre. El incremento de insulina activa en sangre, estimula la lipogénesis y disminuye la lipólisis, resultando en una disminución de los triglicéridos que el plasma ofrece a la glándula mamaria, disminuyendo así los precursores y la grasa en leche (Meijs, 1985).

Según Grainger y otros (1982), el contenido graso en leche es afectado por la condición corporal de la vaca al parto, además de la alimentación posparto. Al mejorar la condición al parto aumenta el contenido graso de la leche, y se hace mas notable cuando el nivel de alimentación posparto, es bajo (por un efecto dilución y teoría glucogénica).

La incapacidad de la vaca en lactancia temprana de consumir un adecuado nivel de energía junto al suministro de proteína muy degradable, va a producir excesos de amonio en el rumen y altas concentraciones de urea en sangre y en leche, pero los niveles de proteína en leche serán bajos. El menor contenido proteico de la leche se debe a un reducido nivel de PC bacteriana causada por un déficit de energía.

Por otro lado, vacas que consumen un adecuado nivel de energía, pero la proteína soluble en la dieta está en exceso, producen un exceso de amonio en rumen, altas concentraciones de urea en sangre y leche, y concentraciones normales de proteína en leche (3.2%) (Kautmann y Luppig, 1982).

Los ácidos grasos insaturados cuando llegan a la glándula mamaria, también hacen sentir sus efectos en la composición de la leche. Se ha comprobado una inhibición de los mismos sobre la acetil-carboxilasa, enzima esta limitante para la síntesis de "no-vo" de los AG de cadena corta y media que ocurre a nivel de la glándula mamaria (Storry et al., 1973).

La suplementación con proteína dietaria no ha tenido efectos consistentes sobre el contenido proteico de la leche. Sin embargo, déficit severos de proteína en la dieta

generalmente reducen la concentración de este componente en la leche (Rearte, 1992; Sutton, 1989).

La síntesis de proteínas de la leche requiere energía en forma de ATP. En los rumiantes el ATP, se genera a partir de la oxidación de carbohidratos, primordialmente de glucosa, acetatos y grasas. Así pues, la síntesis óptima de proteínas de la leche no se puede producir a menos que se proporcione en la dieta una cantidad adecuada de energía (Guía 106, Cátedra de Bovinos de Leche, 1989).

Altas concentraciones de Propiónico en rumen, favorecen la formación de proteína en leche (Thomas, 1983 cit. por Rearte, 1982). Una alta concentración de propionato favorece la síntesis de glucosa en hígado a partir de dicho metabolito, disminuyendo la gluconeogénesis a partir de aminoácidos, quedando estos disponibles en mayor cantidad para ser utilizados en la glándula mamaria para síntesis de proteína de la leche. El aumento en la síntesis de glucosa y la disponibilidad de aminoácidos, favorece también la síntesis de lactosa, con el consiguiente aumento en la producción de leche (Minson, 1981 cit. por Rearte, 1992).

De lo anteriormente mencionado se desprende la idea de la necesidad de cierta cantidad de energía como glucosa para prevenir el desdoblamiento de aminoácidos gluconeogénicos (aminoácidos que poseen esqueletos carbonados presentes en el ciclo de Krebs). En lo que hace al tenor proteico de la leche, se han tenido respuestas importantes con el suministro de grandes cantidades de concentrado, cuando la base de este lo constituye el maíz (Sutton et al., 1980; Yousaf et al., 1970). Debido a la baja degradabilidad relativa del almidón del maíz frente a otros cereales (trigo, cebada..), este permite mayor escape ruminal, con menor interferencia en la relación C2/C3 y mayor absorción de glucosa en el duodeno.

La inclusión de lípidos en la dieta generalmente deprimen la concentración de proteínas en leche por causas extra- ruminales (Sutton y Morant, 1989; Emery y Herdt, 1991; Palmquist y Jenkins, 1980; Wu y Huber, 1994; Oldham y Sutton, 1983; Rearte, 1992). En una extensa revisión bibliográfica acerca del tema Wu y Huber (1994) plantean las siguientes teorías que intentan explicar el fenómeno:

1. Deficiencia de glucosa.
2. Resistencia a insulina en la glándula mamaria.
3. Incremento en la eficiencia de producción de leche.
4. Deficiencia de somatotrofina.
5. Menor síntesis de proteína bacteriana
6. Reducción en la transferencia de aá a la glándula mamaria.

### **2.3.8 Grasa dietaria**

Podría ser interesante suplementar con grasa por ejemplo a una vaca en lactancia temprana como forma de disminuir su balance negativo, a la vez de proveer de AG a la ubre. Otro caso que podría ser beneficioso es cuando el tracto gastro-intestinal limita el consumo de energía.

Las grasas no pueden ser utilizadas como fuente de energía por los microbios del rumen, no obstante afectan de diversos modos la función ruminal (Wu y Hoover, 1994; Stern et al., 1993; Chalupa y Sniffen, 1991; Emery y Herdt, 1991; Palmquist y Jenkins, 1980). Los AG, normalmente esterificados en las dietas de rumiantes son hidrolizados a glicerol y AGL por la flora microbiana ruminal. El primer compuesto es fermentado rápidamente mientras que los AGL instaurados son hidrogenados en los dobles enlaces (saturación). Dado que la hidrogenación depende de la presencia del grupo carboxilo libre, la hidrólisis sería el mecanismo regulador de la transformación de las grasa a nivel ruminal (Palmquist y Jenkins, 1980; Byers y Schelling, 1988; Emery y Herdt, 1991).

La flora microbiana tiene la capacidad de transformar los isómeros *cis* a *trans*, modificar la longitud de los AGL (produciendo AGL con un número impar de C) y de ramificarlos, por lo que la composición de las grasas secretadas en leche puede diferir ampliamente de la grasa presente en la dieta (Byers y Schelling, 1988; Palmquist y Jenkins, 1980).

En una revisión de 49 experimentos de suplementación con grasa sobre vacas lecheras con diversas fuentes de grasa Wu y Hoover (1994), concluyen que con niveles por debajo de 7-8 % de grasa en la dieta no existen efectos claros sobre el consumo y estos dependen de la fuente de grasa utilizada, mientras que cuando el nivel supera el 8 % el consumo declina consistentemente para todas las fuentes (saturados o insaturados).

Se han planteado varios mecanismos posibles de interferencia de las grasas con la fermentación ruminal y por ende con la digestión de la fibra (Byers y Schelling, 1988; Palmquist y Jenkins, 1980). Los posibles mecanismos de interferencia son:

- Cobertura física de la fibra por grasa.
- Toxicidad sobre los microorganismos.
- Efecto sobre la actividad de las membranas microbianas.
- Reducción de la disponibilidad de cationes (Ca y Mg.) a través de la formación de jabones.
- Reducción de la flora de protozoarios.

El hecho de que la grasa de la dieta solo aporta energía a la vaca y no a la actividad microbiana (incluso le puede ser nociva), se torna extremadamente importante que esta sea inerte en el rumen (sobre-pasante). Los métodos más empleados para lograr esto

son:

- Suministrar semillas enteras de oleaginosas (Algodón, Soja y Girasol).
- Lípidos bajo formas de sales insolubles de Ca
- Tratamientos protectores.
- Grasa animales altamente saturadas.

Fuente: Fuente: Emery y Herdt, 1991; Rearte, 1992.

El uso de semillas enteras de oleaginosa logra un efecto sobre-pasante por protección física de los lípidos (Emery y Herdt, 1991; Rearte, 1992; Byers y Schelling, 1988).

Cuando se suministran jabones de calcio es vital que el pH del rumen no caiga por debajo de 6, ya que la constante de disociación de estos jabones (pka) es de 4.5, y por debajo de este valor dejan de ser inertes (Emery y Herdt, 1991; Chalupa et al., 1986).

El tratamiento con formaldehído y caseína protege a los lípidos confiriéndoles la capacidad de ser sobre pasantes al rumen y no afectar la actividad ruminal (Byers y Schelling, 1988).

La mayoría de los forrajes y granos son bajos en lípidos; usualmente contienen menos del 3-4 %, a excepción de las semillas de oleaginosas. En general la vaca lechera debería ser capaz de utilizar alrededor de 450 gr. de grasa por día en adición a la grasa presente naturalmente en los alimentos (Palmquist, 1983). La grasa adicional se traduce en un 2 a 3 % mas en el total de MS de la dieta o alrededor de 5 % de grasa adicionada con los granos. Este porcentaje variará con el tipo de forraje y alimentos usados y en su contenido natural de grasa, particularmente con semillas enteras de oleaginosas como algodón y soja, que contienen altos niveles de lípidos.

Una revisión de varios estudios, indicaron que un máximo de 5% de grasa en el total de la MS de la dieta, resulto en la máxima producción de leche en lactancia temprana (Palmquist, 1983). La premisa fue demostrada, cuando 5% de sebo fue suministrado a una mezcla de granos para ganado lechero, y subsecuentemente la producción de leche (LCG) se incrementó en 5% tanto para vacas de primera lactación, como multíparas (Mattias et al., 1982).

Una dieta conteniendo alta proporción de forrajes, ayuda a mantener la función ruminal normal, y provee un ambiente en el cual la grasa es menos inhibitoria para la fermentación y digestión de los nutrientes.

El grado de saturación de las grasas es de mayor importancia. Las grasas insaturadas (aceites) son menos deseables para alimentar el ganado lechero, por sus efectos

inhibitorios en el ambiente ruminal.

Las grasas presentes en los vegetales son preponderantemente de cadena larga ( $C_{16}$ - $C_{20}$ ) y con alto grado de insaturación (por ejemplo semilla de algodón y s. de girasol).

Las grasas animales que son más saturadas y mezclas de grasas animal - vegetal son las que han respondido más positivamente a la performance lechera (Palmquist y Conrad, 1980; Palmquist y Jenkins, 1980; Heinrichs et al., 1981; Mattias et al., 1982; Palmquist, 1983).

Debido a que los aceites vegetales tienen mayor nivel de grasas insaturadas, son menos satisfactorios que las grasas saturadas como suplementos dietéticos. Semillas enteras de soya, algodón y girasol han sido utilizadas con éxito, pero siempre bajo el principio de alimentar a un máximo de 0,5 Kg. de grasa adicional (NRC, 1988). Semilla entera de algodón debe ser limitada a 2,5 a 3 Kg./vaca/día, con la posibilidad de presentarse toxicidad por gopipol y efectos nocivos del ciclopropano (Hawkins et al., 1985).

Las grasas insaturadas que contienen altas cantidades de ácido oleico, aparentemente exceden la capacidad de hidrogenación de los microorganismos del rumen y son las que deprimen más el contenido de grasa en leche. Un aumento de los AG de cadena larga en la dieta incrementan su secreción por la leche; a la vez que inhiben la síntesis de los AG de cadena media y corta por el tejido mamario (Palmquist, 1983).

La grasa adicionada a la dieta disminuye el contenido de proteína en leche en alrededor de 0,1% (Palmquist y Jenkins, 1980; Palmquist, 1983, 1987), primariamente por un menor contenido de caseína (DePeters, 1986).

En ocasiones utilizar grasas protegidas, a incrementado el contenido graso y eficiencia parcial de la producción de leche (Bines et al., 1978; Brumby et al., 1978). Sin embargo, esta práctica puede resultar en un incremento en la proporción de AG poli insaturados incrementando así la susceptibilidad de la leche a la rancidez por oxidativa (Bath, 1982).

La información de las pruebas con grasas protegidas (Bines et al., 1978; Brumby et al., 1978) sugieren que suplementar vacas con alrededor del 15 % de sus requerimientos de EM (6 a 7 % de grasa en el total de la MS de la dieta) como AG de cadena larga, resulta en la máxima eficiencia parcial de uso de la energía para producción de leche.

La protección de las grasas puede ser de tipo físico (semilla entera de oleaginosas) y de tipo químico en forma de sales de calcio (NRC, 1988).

Pablo Chilibroste recomienda ser cautelosos al superar los 800-900 gramos de lí-

pidos en el consumo diario de la vaca lechera por su efecto depresivo en el consumo y subsecuentemente los efectos sobre biosíntesis y composición de leche (Agosto de 2001. Jornada Anual de Lechería.)

### **2.3.9 Fibra dietaria**

El contenido de fibra en la dieta esta inversamente relacionado con el contenido de EN (Waldo y Jorgensen, 1981).

No obstante esto un mínimo de fibra efectiva de buena calidad, es necesario:

- Maximizar el consumo de materia seca
- Maximizar el consumo de energía
- Mantener normal la fermentación ruminal
- El porcentaje de grasa en leche
- Prevenir desordenes metabólicos posparto.

La cantidad de fibra a ser incluida en la dieta de la vaca lechera es influenciada por:

- Condición corporal
- Nivel de producción
- Tipo de fibra
- Tamaño de partícula
- Arreglo de las fibras
- Consumo de materia seca total y su densidad
- Capacidad buffer del forraje
- Frecuencia de alimentación

El procesamiento del forraje a un tamaño pequeño, es mas rápidamente consumido y fermentado en el rumen, reduciéndose el tiempo de rumia, la secreción de saliva, el pH del fluido ruminal y la relación acético:propiónico (O'Dell et al., 1968; C. N. Miller et al., 1969; Santini et al., 1983; Shaver et al., 1984; Woodford, 1984; Bailey, 1961).

Las recomendaciones generales de alimentación de vacas lecheras, sugieren que por lo menos 1/3 del total de MS de la dieta debería ser fibra larga, o su equivalente a silo o forraje picado, del orden de 1,5 % de PV, aunque es difícil de determinar este equivalente en fibra efectiva.

La cantidad de fibra de la dieta de vacas lecheras, es normalmente expresada en FC (fibra cruda), FDA o FDN. La FC representa la fracción de fibra resistente a la reacción en ácido y álcali. El FDA consiste en celulosa, lignina, NIDA y cenizas insolubles al ácido. La FDN consiste en hemicelulosa, celulosa, lignina, NIDA y cenizas insolubles al ácido. El FDN y FDA son mediciones mas precisas del contenido de fibra de un ali-

mento (Van Soest, 1968; Lofgreen y Warner, 1970; Mertens, 1980, 1982). Desde el momento que ambas características físicas y químicas de los alimentos están involucradas en determinar la calidad de la fibra y el valor energético de los alimentos, no hay un solo análisis de la fibra que estime ambos parámetros con precisión.

La información obtenida por Kawas (1984), muestra que la mayor producción de LCG, entre las 10 y 16 semanas posparto, para vacas comiendo heno de alfalfa como forraje, se obtuvo con una concentración de FDN y FDA (% de la MS consumida) de 24-26 y 17-21 respectivamente. Estas vacas ganaron peso y produjeron 30 Kg. de LCG/d.

Mertens sugirió que del 34 al 38 % de FDN en la MS de la dieta fue la concentración óptima para vacas produciendo de 16 a 24 Kg. de LCG/d, con dietas conteniendo heno de pasto Bermuda, silo de maíz, silo de sorgo, heno de alfalfa, vainas de semilla de algodón y de soja y combinaciones de estos alimentos como fuente de fibra (Mertens, 1985<sup>a</sup>). Reportó un consumo de FDN óptimo de  $1,2 \pm 0,1$  % del PV, cuando el 70-80 % del FDN de la dieta era aportado por forraje.

Por lo tanto la óptima cantidad de FDN o FDA en la dieta, varía con la producción de leche y el tipo de forraje.

La NRC recomienda para vacas en las tres primeras semanas de lactación, un mínimo de 21 % de FDA y 28 % de FDN. Durante periodos de alta producción de leche, sin embargo, los contenidos de FDA y FDN pueden disminuirse a 19 y 25 % respectivamente para lograr balancear mejor el metabolismo energético de la vaca. Ante esta situación cobra gran importancia la frecuencia de alimentación y la utilización de buffer en la dieta.

### **3 MATERIALES Y METODOS**

La producción lechera es un sistema complejo, en el que intervienen un gran número de elementos que interactúan entre sí. Esto hace que su estudio sea difícil y de alto costo, al encararlo bajo el espectro de la investigación tradicional.

Un modelo de simulación permite usar un gran número de variables en forma simultánea, permitiendo avances satisfactorios en la comprensión de dicho sistema.

Este enfoque metodológico, llevó a aplicar en este trabajo, la teoría de sistemas, que presenta una importante capacidad de análisis y síntesis global.

El objetivo del presente modelo es predecir los resultados de diferentes estrategias de suplementación durante la lactancia, a la vez de brindar una herramienta útil y práctica para profundizar en el conocimiento del sistema bajo estudio.

#### **3.1 METODOLOGIA**

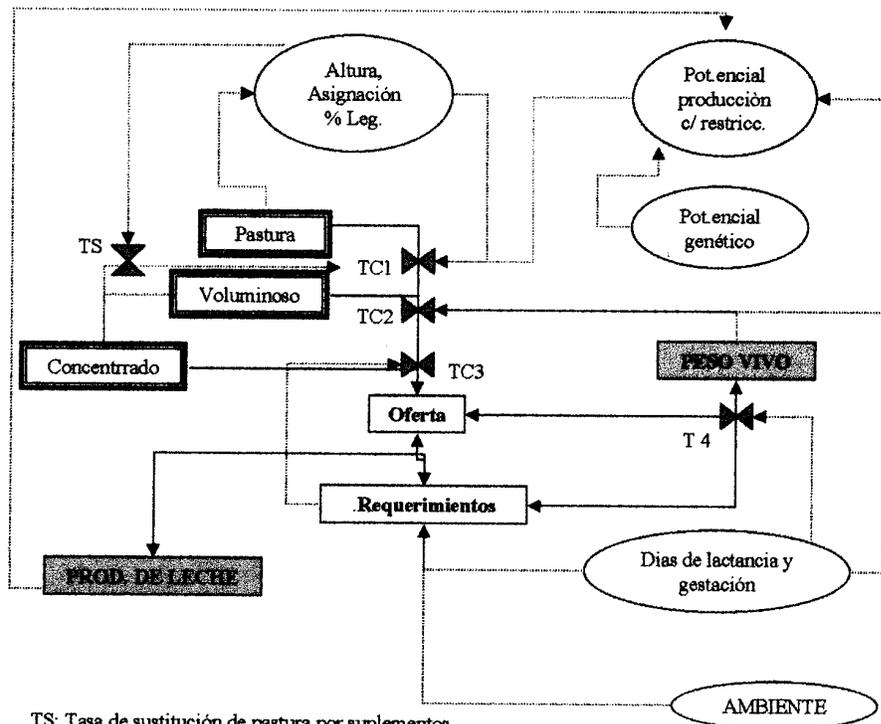
El modelo es *conceptual* y se clasifica como *homomórfico* (Aguilar y Cañas, 1992), ya que homologa el funcionamiento del sistema bajo estudio. Es *matemático* y *mecanicista* ya que incluye funciones matemáticas que generan resultados a distintos niveles de organización. En el sistema bajo estudio, el menor nivel de organización consiste en la presentación y mezcla de los alimentos para conformar la dieta y el mayor nivel consiste en el consumo por parte de la vaca y su conversión a leche.

Este modelo de *simulación dinámica*, mediante el ingreso inicial de las distintas entradas por parte del usuario, interrelaciona las variables del sistema para generar un resultado a través de un período de tiempo máximo, que puede llegar a la lactancia completa. Para simular el sistema, se resuelven las ecuaciones matemáticas en serie, sobre una unidad base de tiempo, el día. Las ecuaciones son utilizadas para actualizar el sistema cada día. De esta manera es que el funcionamiento del sistema es simulado.

El software utilizado para escribir el modelo fue Microsoft® *Visual Basic 6.0*, con bases de datos realizados en Microsoft® *Excel 1997*.

### 3.1.1 ESTRUCTURA DEL MODELO

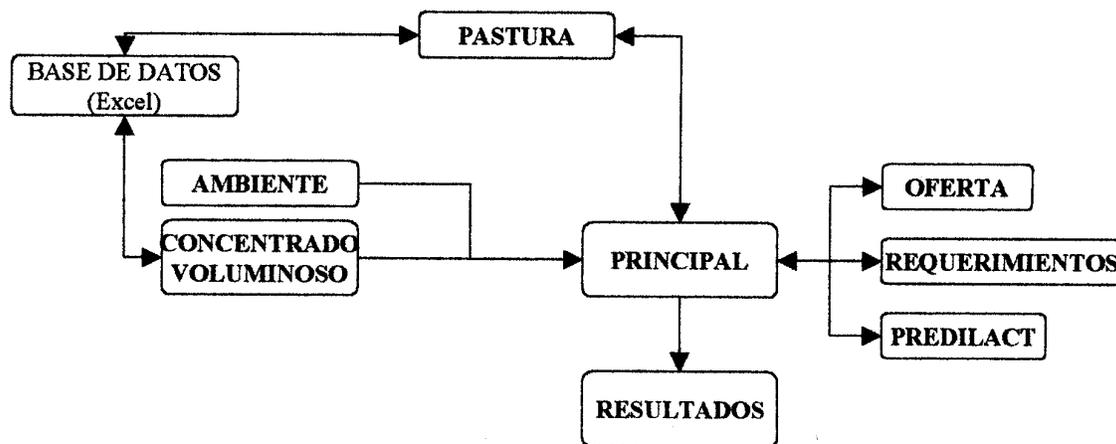
Fig. N° 29 Diagrama de flujo del MODELO



TS: Tasa de sustitución de pastura por suplementos  
 TC1: Tasa de consumo de pastura  
 TC2: Tasa de consumo de Forrajes (pastura y voluminoso)  
 TC3: Tasa de consumo total

T 4: Variación de PV

**Fig. N° 30 Estructura operacional del modelo**



Como se ve en la figura, el módulo **Principal** es el nexo general y dinámico entre las demás subrutinas del programa y la base de datos realizada en Excel.

Las Base de datos es tomada por el modelo de un archivo Excel. Contiene la información de composición química de los distintos alimentos, las tasas de crecimiento mensual de las pasturas, temperatura ambiente correspondiente y el cálculo del potencial de leche para el día requerido.

Para ingresar las variables de “entrada”, se recurre a los módulos del programa: **Ambiente, Vaca, Pastura, , Concentrado y Voluminoso.**

El programa calcula los resultados sobre una base temporal diaria comenzando desde la fecha actual a ingresar en el módulo *Pastura*.

Sobre esta base temporal se presentan los resultados de producción de leche para un período máximo de una lactancia completa. Dicho período queda determinado básicamente por la utilización de las pasturas, que es función de la asignación de forraje ingresada, del tamaño del potrero y del rodeo .

A su vez, admite como supuesto ,el uso de franja diaria para la utilización del pasto. La pastura es única para un período en cuestión; siendo necesario el ingreso de otra pastura, o la misma, en caso de que las condiciones productivas así lo requieran. En este caso el programa preguntará al usuario para que tome dicha decisión.

El programa tiene en cuenta la situación productiva sin pastura, es decir con dieta base de voluminoso.

### 3.1.1.1 Módulo oferta

Este módulo calcula la **oferta** de nutrientes por el sistema de AFRC, 1993. Ver revisión bibliográfica.

### 3.1.1.2 Módulo requerimientos

Los **requerimientos** son estimados en base a las funciones de AFRC (1993); la función de CSIRO (1994) para gastos en actividad de cosecha; NRC (1994) para el cálculo de costos de termorregulación, NRC (1988) para requerimientos de Ca, P, S, K y Mg.

#### 3.1.1.2.1 Evolución del peso vivo

El cambio de PV, se derivó de experimentos de Satter Roffler (1975); P.W. Moe (1985), citado por NRC (1988). Se derivaron las siguientes funciones que estiman el cambio de PV en función de los días de lactancia y del PV al parto.

Consideramos que estamos excluyendo por lo menos otros tres factores que intervienen en gran medida en la GMD: El potencial de producción, la dieta y la condición corporal al parto. El peso vivo ingresado en el experimento, corresponde a un día particular de la lactancia, el cual lo suponemos relacionado con el peso vivo al parto mediante la función siguiente.

$$\%PV = -0.000000006 * \text{DiasLact}^3 + 0.000005 * \text{DiasLact}^2 - 0.0008 * \text{DiasLact} + 1.0008$$

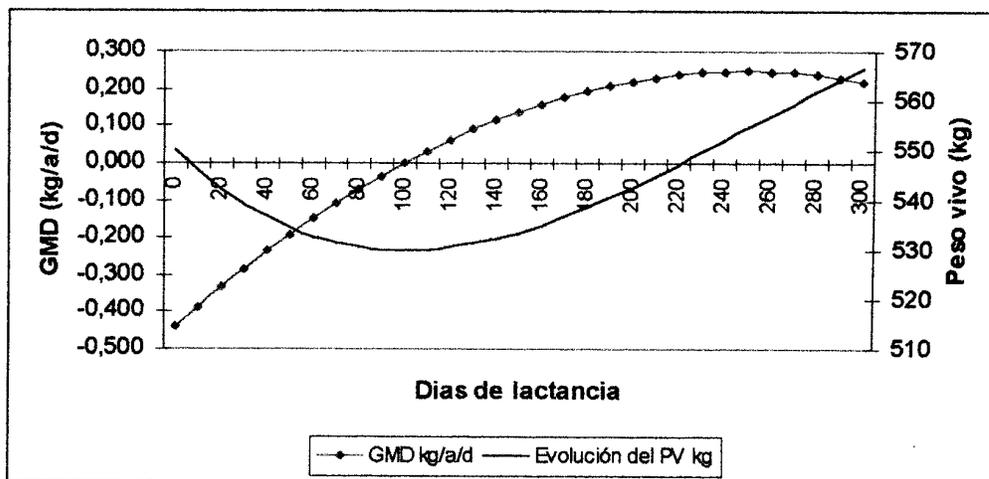
$$\text{PV al parto} = \text{PV inicial} * 1 / \%PV$$

Con la función derivada de los autores mencionados estimamos el cambio de peso vivo como función del peso vivo al parto y el día de lactancia. Según días de lactancia (DiasLact) obtengo el % de GMD para cada día:

$$\text{GMD \%} = 8E-24 * \text{DiasLact}^3 - 0.00000002 * \text{DiasLact}^2 + 0.00001 * \text{DiasLact} - 0.0008$$

$$\text{GMD (Kg/día)} = \text{PV al parto} * \text{GMD\%}$$

**Fig. N° 31 Cambio de peso vivo según día de lactancia y PV al parto.**



### 3.1.1.2.2 Predicción de la producción diaria de leche

Se calcula la producción de leche posible por energía o proteína metabolizable, seleccionando en cada día por el restrictivo.

Cabe mencionar que dicha estimación es previa al filtro del consumo por requerimientos.

Si el consumo de la dieta supera los requerimientos potenciales con restricción de ese día, la producción “real” de leche será igual a la potencial y el consumo de MS se ajustará según estos requerimientos. Este criterio se amplía en el ítem *Consumo máximo según requerimientos*.

### 3.1.1.3 Módulo ambiente

En el se seleccionan los datos referidos a las condiciones climáticas. Los mismos son extraídos de una base de datos que corresponde a promedios para las zonas centro, norte y sur del país, información de la Dirección Nacional de Meteorología.

El usuario debe ingresar la zona de ubicación del experimento y las condiciones de barro y calor (estrés térmico) previstas para los meses subsiguientes.

### 3.1.1.4 Módulo Vaca

En el modulo **Vaca** se ingresa la información referente al animal o promedio de un lote: N° de vacas, Peso vivo, Condición Corporal, N° de lactancias, Días de lactancia y de gestación, Potencial de producción, Leche acumulada hasta la fecha, Contenido graso y proteico en leche a producir y el precio de la misma.

El N° de vacas se utiliza para el calculo de la dotación, tamaño de franja y tiempo de ocupación de la pastura. La condición corporal interviene en el costo energético de termorregulación por frío. El programa diferencia entre 1 lactancia y mas de 1, lo cual se tiene en cuenta en la capacidad de consumo de FDN. Los días de gestación intervienen en los requerimientos.

A través de una función adaptada de Woods (1976), los días de lactancia y el potencial de producción, permiten predecir la producción potencial diaria y acumulada hasta la fecha en cuestión.

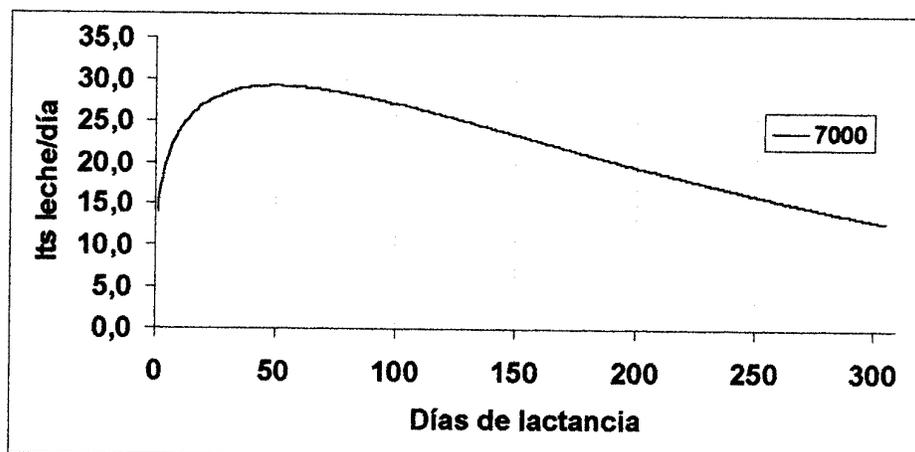
Esta función determina el techo de producción diaria para el animal:

$$\text{Producción de leche (lts/día)} = \text{Potencial} * 0.002 * \text{Diaslact}^{0.2516} * e^{-0.005 * \text{Diaslact}}$$

Donde: Potencial = producción de leche por lactancia.

Diaslact = Dia de lactación.

**Fig. N° 32 Curva de lactancia para una vaca de 7000 lts.**

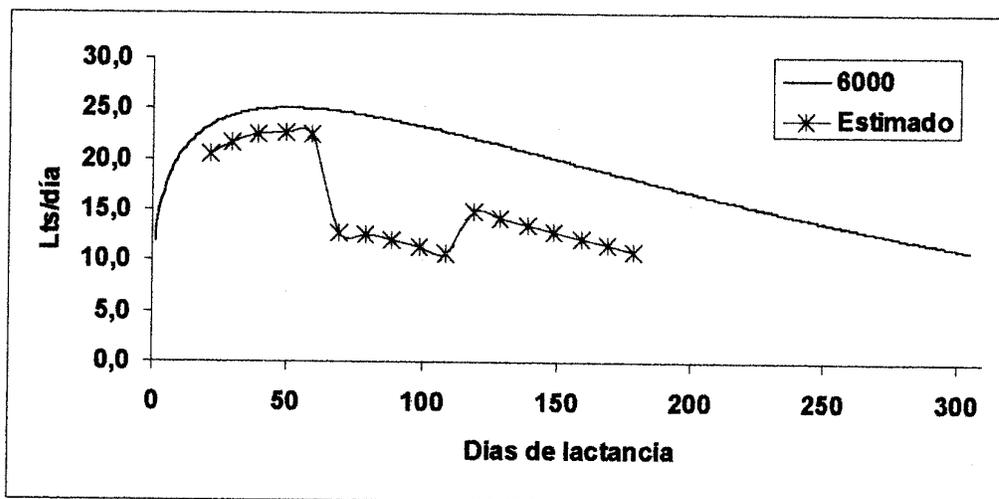


Fuente: Adaptada de Wood, 1976.

Si el dato de Leche acumulada ingresado se corresponde con el mismo del potencial sugerido en la celda inmediatamente siguiente a este valor, implica una situación sin restricciones. De existir una restricción previa, es decir el dato ingresado será menor al sugerido, el programa calculará un nuevo techo de producción, que se obtiene disminuyendo al mismo en un 1% de la diferencia entre el potencial acumulado y la leche producida hasta el momento (Sugerido por Silva, M.G. et al. 1987). Esta disminución se mantiene hasta el final disminuyendo el "techo" de producción potencial. A su vez, si la dieta seleccionada, determina una nueva restricción por mas de 14 días, el programa calcula una nueva disminución adicionándola a la anterior.

En la figura 33, se muestra la curva de producción potencial para una vaca de 6000 litros / lactancia y la estimación del modelo según dos restricciones alimenticias. Según el potencial de esta vaca, hasta el día 20 (inicio de la "corrida") de lactancia podría acumular 393 litros de leche. Se ingresó un dato "real" de 120 litros hasta esa fecha.

**Fig. N° 33 Ejemplo dinámico mostrando un periodo de restricción alimenticia.**



Manejando una asignación de 15 kgMS / vaca / día de pastura de buena calidad y 4 kilos de maíz molido (BF), se estimaron los primeros 40 días, visualizándose en la gráfica el efecto de la restricción inicial. Para los próximos 58 días se retira el suplemento visualizándose la caída en producción, merito también de la baja asignación de pastura. En el periodo siguiente, se repone la suplementación y queda expresado en la grafica estimada por el modelo, el efecto aditivo de ambas restricciones.

El **% grasa** y **% proteína** estará determinando la concentración energética del

litro de leche producido. Estos parámetros se mantienen fijos en el accionar del modelo.

### **3.1.1.5 Módulo pastura**

En el módulo **Pastura** se selecciona la Pastura, la superficie, Asignación fija para el periodo, disponible inicial, % Cobertura, % Forraje verde, Distancia tamborero, Índice topográfico, Costo del forraje en pie, Día y Mes iniciales.

El programa no admite asignaciones menores de 7 KgMS / v / d, por considerarlo un mínimo aceptable para dietas a base de pastura. Por debajo de este mínimo, podría comprometerse el uso eficiente de la pastura.

El manejo del pastoreo será exclusivamente en franja diaria.

La pastura, superficie, asignación, % forraje verde, cobertura, disponible inicial y tasa de crecimiento, conjuntamente con el N° de vacas, determinarán el tiempo máximo de ocupación de la pastura y a su vez el primer periodo de tiempo que correrá el programa. Al mismo tiempo, existe la posibilidad de seleccionar un tiempo de ocupación menor. Luego de finalizado este primer periodo de ocupación, el usuario podrá ingresar la misma u otra dieta y seguir simulando progresivamente hasta completar la lactancia. Al momento de esta opción, se muestra el disponible de la primera franja de la pastura actual, para verificar su reutilización o rechazarla.

La distancia al potrero y el índice topográfico, actúan modificando el costo energético de mantenimiento.

El costo del forraje se utiliza para el calculo del costo de la dieta, en el cual se toma en cuenta la utilización.

El día y mes iniciales, determinan la tasa de crecimiento actual de la pastura seleccionada y la temperatura ambiente, ubicada en la base de datos. La misma varía para los días siguientes según la base de datos.

### **3.1.1.6 Módulo Voluminoso**

En este módulo se selecciona el voluminoso ofrecido y la asignación del mismo en base fresca.

La utilización del voluminoso seleccionado quedará subordinada a la relación de calidad existente entre el mismo y la pastura, medidas a través de su EM.

### 3.1.1.7 Módulo Concentrado

En el módulo concentrados se selecciona la mezcla, según una discriminación por energéticos, proteicos, aditivos y minerales.

El programa asume que el concentrado se consume todo previa utilización ingresada por el usuario.

A medida que el usuario ingresa la mezcla de concentrados, se van actualizando a la vista, el valor nutritivo de la misma y su costo.

### 3.1.1.8 Módulo Principal

En éste módulo se centraliza toda la información. A continuación desarrollaremos los pasos que sigue el modelo en su dinámica.

#### 3.1.1.8.1 Estimación del Consumo

##### 3.1.1.8.1.1 Altura de la pastura

Inicialmente el disponible de MS de la pastura se traduce en altura a través de funciones lineales adaptadas a partir de información extraída del curso de 4° año de Forrajes, Facultad de Agronomía (EEMAC), 1999.

Altura de la pastura por estrato para Praderas:

```
If Disp > 2258 Then
hi = 1500 / 300 + 411 / 164 + 347 / 139 + (Disp - 1500 - 411 - 347) / 57
If Disp <= 2258 Then
hi = 1500 / 300 + 411 / 164 + (Disp - 1500 - 411) / 139
If Disp <= 1911 Then
hi = 1500 / 300 + (Disp - 1500) / 164
If Disp <= 1500 Then
hi = Disp / 300
```

Altura de la pastura por estrato para T. Blanco Puro:

```
If Disp > 2258 Then
hi = 1500 / 600 + 411 / 170 + 347 / 150 + (Disp - 1500 - 411 - 347) / 100
If Disp <= 2258 Then
hi = 1500 / 600 + 411 / 170 + (Disp - 1500 - 411) / 150
If Disp <= 1911 Then
```

$$hi = 1500 / 600 + (Disp - 1500) / 170$$

If Disp <= 1500 Then

$$hi = Disp / 600$$

Altura de la pastura por estrato para Verdeos de invierno:

If Disp > 1250 Then

$$hi = 454 / 182 + 374 / 150 + 422 / 169 + (Disp - (454 + 374 + 422)) / 120$$

If Disp <= 1250 Then

$$hi = 454 / 182 + 374 / 150 + (Disp - 454 - 374) / 169$$

If Disp <= 828 Then

$$hi = 454 / 182 + (Disp - 454) / 150$$

If Disp <= 454 Then

$$hi = Disp / 182$$

Altura de la pastura por estrato para Sorgos:

$$hi = Disp / 80$$

Donde:

hi: altura de la pastura (cm)

Disp: Disponible (KgMS/ha)

### **3.1.1.8.1.2 Función para estimar el consumo de Pastura**

Para la estimación del consumo de pastura se utilizó una función cuadrática de Peyraud et al, 1995.

$$CMS_{pastura} = (0.263 * LCG + 0.95 * PV / 100 - 98 * 1 / Asignación * 0.9 + Altura * 0.91 - 0.0013 * Altura^2 - 8.9) / 0.9$$

Esta ecuación fue estimada en situaciones de 3000 a 7000 kgMS/ha de disponible en pasturas mono específicas de raigrás con alturas (de lamina extendida) menores de 20-25 cm.

Debido a que dicha ecuación disminuía mucho el consumo de pastura con alturas por debajo de 23 cm, se le introdujeron modificaciones empíricas al factor altura.

La ecuación fue modificada de la siguiente forma. Incluye variaciones en el factor altura, inclusión de un factor por ganancia de peso y debido al % de leguminosas de la mezcla forrajera (NRC, 1996).

La ecuación quedaría:

$$\text{CMSpastura} = \frac{(((0.263 * \text{LCG}) + (0.95 * \text{PV} / 100) - \text{FactAsig} + \text{FactAlt} + \text{FactorGMD}) + (0.263 * \text{LCG} + 0.95 * \text{PV} / 100 - \text{FactAsig} + \text{FactAlt}) * 0.2 * \text{Leg})}{0.9}$$

Donde:

- LCG: Producción potencial de leche corregida por grasa al 4 % y según restricciones, como se mostró anteriormente.
- Factor Altura (kgMS/vaca/día): Según altura de lámina extendida.
- Factor Asignación (kgMS/vaca/día).
- Leg: % de leguminosas de la mezcla forrajera.
- Factor GMD (kgMS/vaca/día)

El LCG corresponde a la leche potencial de ese día corregida por restricciones previas, la cual incrementa el consumo de pastura en 263 gramos de MS por litro.

El factor altura se integra de la siguiente forma:

If  $hi \leq 15$  then

$$\text{FactAlt} = 0.45 * hi - 0.8837$$

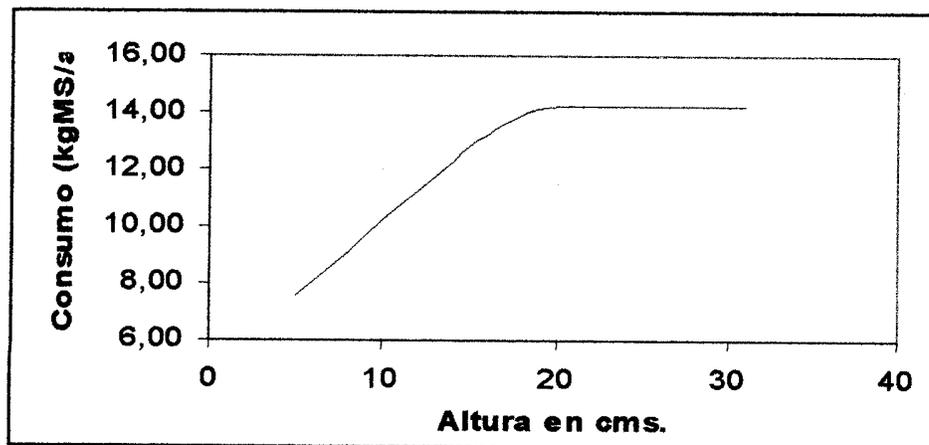
If  $15 < hi < 20$

$$\text{FactAlt} = -32.57 + 5.215 * hi - 0.227 * hi^2 + 0.003265 * hi^3$$

If  $hi > 20$  Then

$$\text{FactAlt} = 7.05$$

**Fig. N° 34 Ejemplo del funcionamiento del factor altura.**



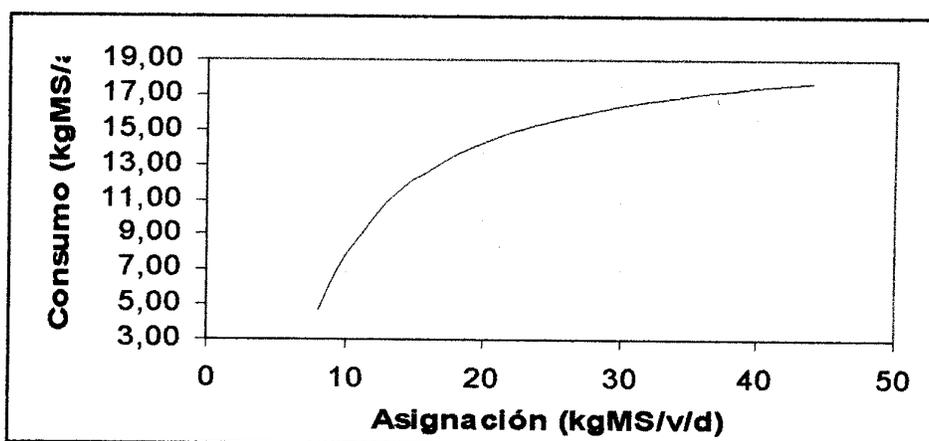
Para el ejemplo de la figura 34, se mantuvieron constantes los demás valores de la función. El LCG en 20 litros, Asignación en 20 kgsMS/vaca/día, leguminosas en 30%, peso vivo en 550 kilos y el factor ganancia diaria en 0.

Para el calculo del factor asignación se utilizó la función original de Peyraud:

$$\text{FactorAsig} = 98 / (\text{Asignación} * 0.9)$$

El factor 0.9, implica un 90% de MO sobre la MS.

**Fig. N° 35 Ejemplo del funcionamiento del factor asignación.**



Para el ejemplo de la figura 35, se mantuvieron constantes los demás valores de la función. El LCG en 20 litros, Altura de 20 cms, leguminosas en 30%, peso vivo en 550 kilos y el factor ganancia diaria en 0.

El factor GMD se utiliza en el caso de que el cambio de peso vivo sea mayor a cero. Funciona de la siguiente forma:

$$\text{Factor GMD} = \text{VE}_{gp} * \text{GMD} / \text{EM}_p$$

Donde:

GMD: ganancia media diaria.

EM<sub>p</sub> : Concentración energética de la pastura (Mcal/kgMS).

VE<sub>gp</sub>: Valor energético de la variación de peso.

Debido a que la función de Peyraud, 1995 se estimó en etapas tempranas de lactancia donde generalmente se pierde peso, hemos integrado a la función este factor

GMD como forma de contener los requerimientos extra para dicho proceso en etapas medias y tardías. Es decir, en etapas tempranas el factor vale 0, y cuando gana peso, se divide la energía contenida en dicha ganancia por la concentración energética de la pastura, confeccionando así el presente factor aditivo al consumo estimado por Peyraud.

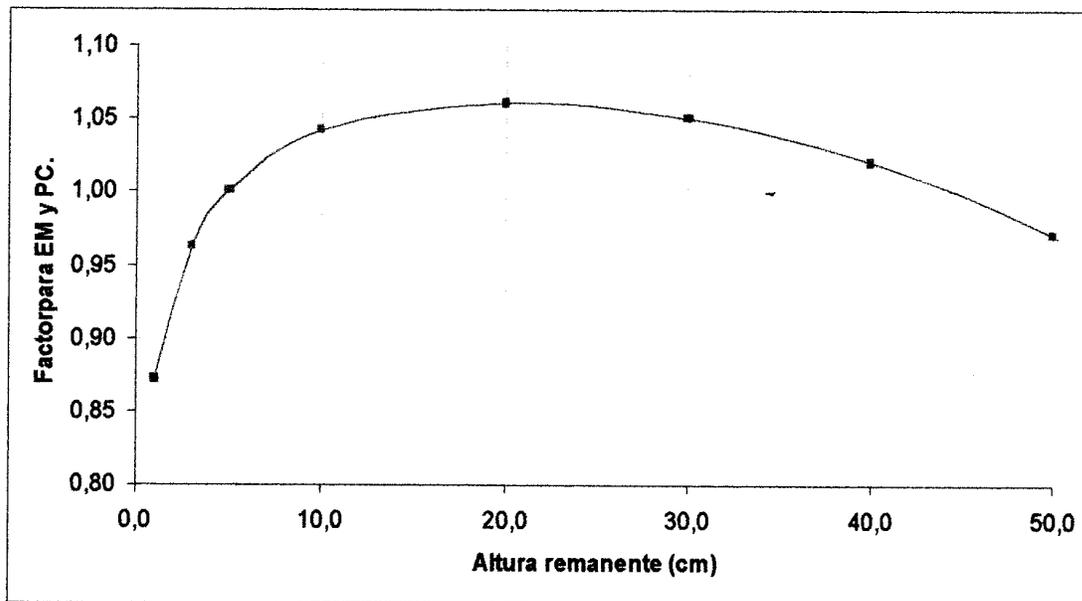
Para la altura remanente se aplican las mismas funciones, pero teniendo en cuenta el disponible luego de que los animales abandonan la franja.

Con la altura remanente se estima un índice diferencial de selección en forma empírica.

Wales, W.J. et al (1999) en sus experimentos con diferentes asignaciones y disponibles iniciales, estimó índices de 1.09, 1.33 y 0.79 para digestibilidad, proteína cruda y FDN respectivamente, con aumentos en la asignación de forraje. Aunque no obtuvo diferencias significativas en promedio.

Con la intención de simular mejor las situaciones de alta asignación de pastura donde el animal tiene mayor opción de seleccionar una dieta de mayor valor nutritivo (EM y PC) y menor contenido de FDN, se propone la siguientes funciones.

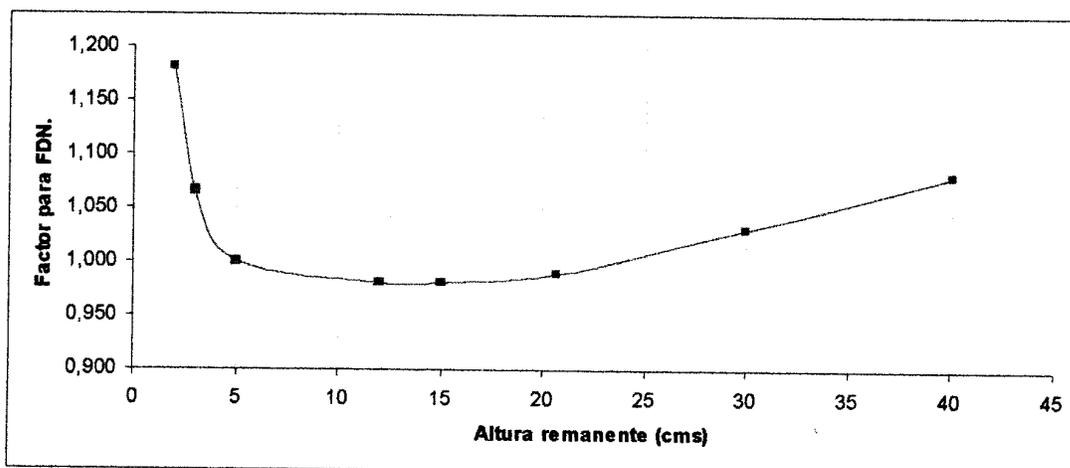
**Fig. N° 36 Índice empírico de selección para EM y PC según altura remanente.**



Para el caso de una pastura de trébol blanco, éste índice no se modifica, y permanece en 1. Nos basamos en el hecho de que para esta especie la calidad no varía sustan-

cialmente en los diferentes estratos de altura considerados.

**Fig. N° 37 Factor empírico de selección para FDN según altura remanente.**



### **3.1.1.8.1.3 Sustitución de pastura por voluminoso**

Luego de la estimación del consumo “primario” de pastura, se le resta la cuota parte por sustitución del voluminoso. La siguiente función se construyó empíricamente utilizando algunos valores extraídos de las tesis revisadas (ver más adelante).

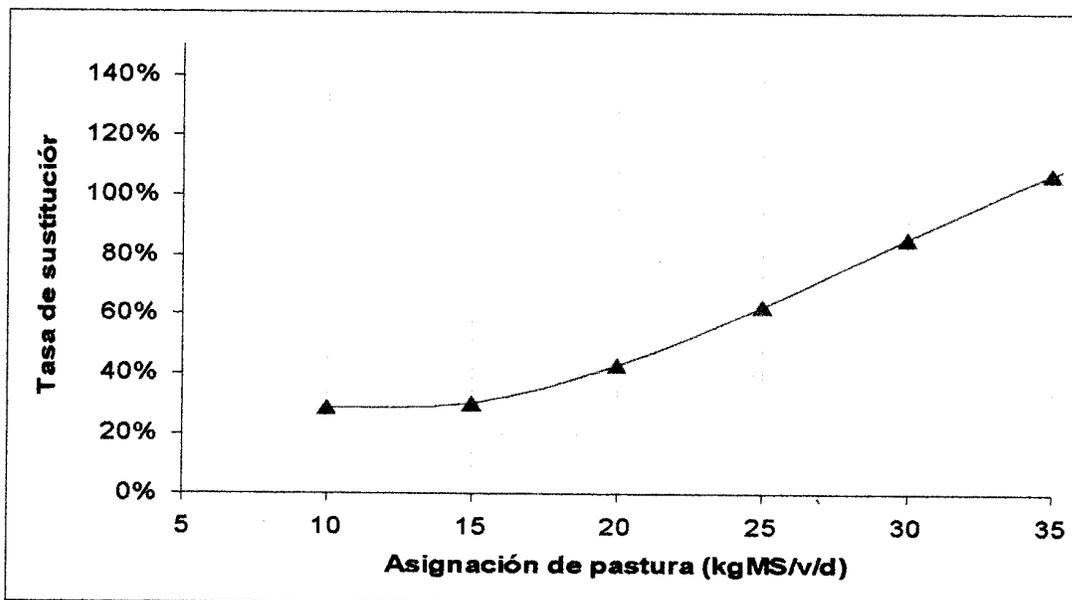
$$TSv = -0.000055 * Asig^3 + 0.0047 * Asig^2 - 0.088 * Asig + 0.75 - 0.000045 * Asig^3 + 0.0042 * Asig^2 - 0.0888 * Asig + 0.571$$

Donde:

TSv: Tasa de sustitución de pastura por voluminoso (kgMS de pastura / kgMS de voluminoso asignado).

Asig: asignación de MS de forraje en pie (kgMS/v/d).

**Fig. N° 38 Funciones para estimar la tasa de sustitución por voluminoso.**



En el caso de que la tasa de sustitución fuera mayor a 1 se consideró razonable por falta de información nacional topear este valor.

#### **3.1.1.8.1.4 Sustitución de pastura por concentrado**

El programa admite que el concentrado ingresado es consumido en su totalidad.

Seguidamente se calcula la tasa de sustitución de pastura por concentrado, con lo cual el modelo disminuye en esa cuota parte el consumo de pastura.

Se revisaron las tesis de Facultad N° 2239, 2257, 2467, 2603, 2225, 2218, 2875, 2340 y 2879 en la búsqueda de relaciones de sustitución bajo condiciones nacionales. El objetivo de la mayor parte de las tesis mencionadas no era calcular la tasa de sustitución, por lo cual:

- muchas no presentan un testigo sin suplementar.
- otras vacas recibiendo distinto nivel de concentrado pastoreaban juntas con lo que el consumo de pastura está promediado.
- otras el consumo de pastura está medido como el desaparecido de forraje, pareciéndonos un valor exagerado (18.4 a 20 kgMS/vaca/día con DMS in vitro de 66.62%) y a su vez mostrando relaciones de adición con concentrados

fibrosos alcanzando consumos totales de 25 Kg. de MS/vaca/día con una producción de 15 litros.

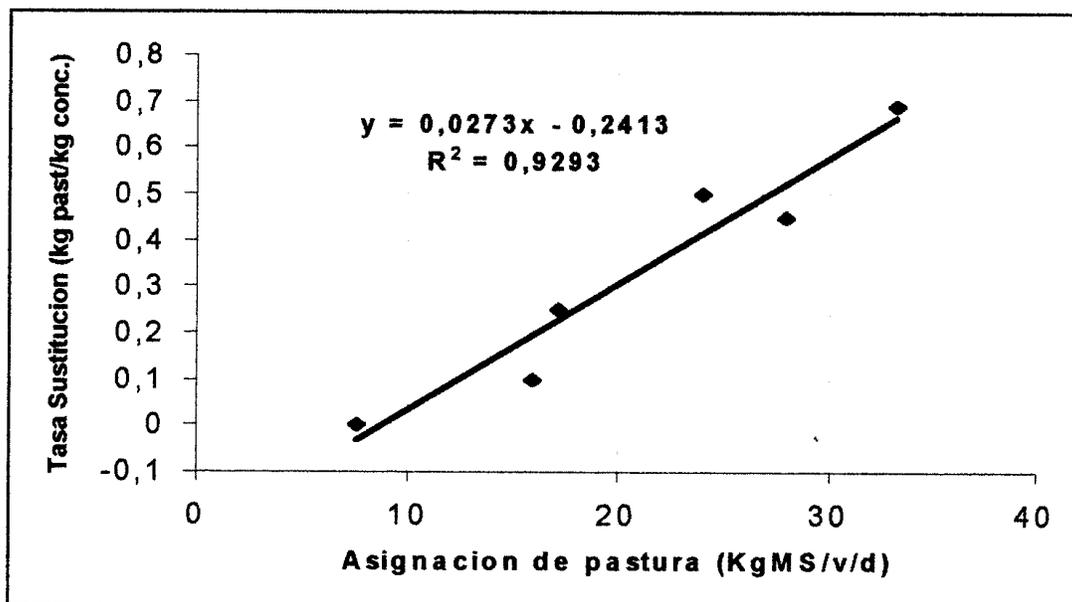
- : consumo y tasa de sustitución de ensilaje o heno.

De la revisión mencionada y de trabajos extranjeros, se resumió la siguiente información:

**Cuadro N° 11 Efecto de la suplementación con concentrados sobre el consumo de pasturas.**

Referencia	Dieta	Asignación de forraje	Consumo (kgMS/v/d)		Sustitución
			Concentrado	Pastura	
Meijs y Hoekstra (1984)	Raigrás perenne + concentrado almidonoso	16 kgMO/v/d (sobre 4cm)	0.8	10.9	0.1
			3.2	10.5	
			5.6	10.4	
		24 kgMO/v/d (sobre 4cm)	0.8	14.8	0.5
			3.2	13.6	
			5.6	12.4	
Gallardo (1988)	Raigrás y Trébol blanco + maíz molido	alta ?	3.6	16.4	0.55
			6.7	14.7	0.55
Grainger y Mathews (1989)	Raigrás perenne + Trébol blanco + Concentrado a base de granos.	7.6 kg. MS	3.2	6.3	-0.06
		17.2 kg. MS	3.2	11.0	0.25
		33.2 Kg. MS	3.2	13.6	0.69
<b>Mattiauda et al. (1990)</b>	<b>Avena + Afr. de trigo</b>	<b>21 kg. MS</b>	<b>2.5</b>	<b>15.1</b>	<b>0.87</b>
<b>Meijs (1986)</b>	<b>Raigrás perenne + Concentrado fibroso</b>	28 kgMO (sobre 4 cm)	<b>5.3</b>	<b>12.6</b>	<b>0.21</b>
	Raigrás perenne + Concentrado almidonoso		5.4	11.5	0.45

**Fig. N° 39 Tasa de sustitución de pastura por concentrado vs. asignación diaria**



Fuente: Adaptada de la información del cuadro anterior.

Los experimentos utilizados para ajustar la regresión anterior, manejan un nivel de suplementación con concentrados entre 3 y 6 Kg./v/d, la fuente de energía es básicamente el almidón, las asignaciones variaron entre 7,6 y 33 kgMS/v/d y pasturas templadas de buena calidad. Presentan una similitud en cuanto a la cantidad de pastura de buena calidad que sustituyen al variar la asignación de la misma ( $R^2$ : 93 %).

El trabajo de Mattiauda et al., no fue incluido en el ajuste de la regresión. Incluirlo, disminuye su ajuste ( $R^2$ : 53%). Para aventurar una causa que explique la alta sustitución obtenida, suponemos una baja complementariedad entre los componentes de dicha dieta; tal vez, la similitud de la fracción de proteína potencialmente degradable en rumen y carbohidratos estructurales en ambos alimentos y la mayor facilidad para el consumo por parte del suplemento (concentrado fibroso), suponiendo similar palatabilidad, podrían explicar la mayor sustitución obtenida. Sin embargo, se obtuvo una respuesta media en producción (0,5 lt leche/kg. conc.), posiblemente explicada por un aumento de consumo de MS total (0,325 kg.MS/v/d) y de energía.

El trabajo de Meijs (1986), tampoco lo incluimos en la regresión, el mismo incluye un concentrado energético fibroso como complemento de un *raigrás*. Se trata de

un concentrado con su energía basada en pectinas (pulpa de remolacha y otros) y posiblemente baja proteína total, lo cual complementa bien a la gramínea alta en proteína y fibra efectiva interfiriendo menos en el rumen, provocando menor sustitución y aumentando el consumo total de MS, lo que explica el mayor consumo de energía (Rearte, 1992). Es de destacar que nivel de concentrado no superó el 30% de la dieta.

La regresión lineal evidencia un coeficiente de correlación interesante para la estimación de tasa de sustitución, pero el número de experimentos incluidos resulta pequeño como para permitirnos una gran confianza predictiva.

A su vez, dichas regresiones serán utilizadas dentro de su rango acotado de situaciones.

#### **3.1.1.8.1.5 Consumo de FDN máximo**

Luego de que el consumo de MS se ha conformado con los ingredientes ingresados pasando por los factores mencionados y tasas de sustitución, pasa por un nuevo filtro según capacidad de llenado del rumen. Este elemento es estudiado bajo la óptica de Mertens (1992, Ver bibliografía), de la cual se extrapolan las siguientes funciones.

If NumLact >= 2 Then

$$\text{FDNmaxPPV} = 0.00000005 * \text{DiasLact}^3 - 0.0000412 * \text{DiasLact}^2 + 0.0087 * \text{DiasLact} + 0.76$$

NumLact = 1 Then

$$\text{FDNmaxPPV} = 0.00000006 * \text{DiasLact}^3 - 0.0000415 * \text{DiasLact}^2 + 0.0079 * \text{DiasLact} + 0.7038$$

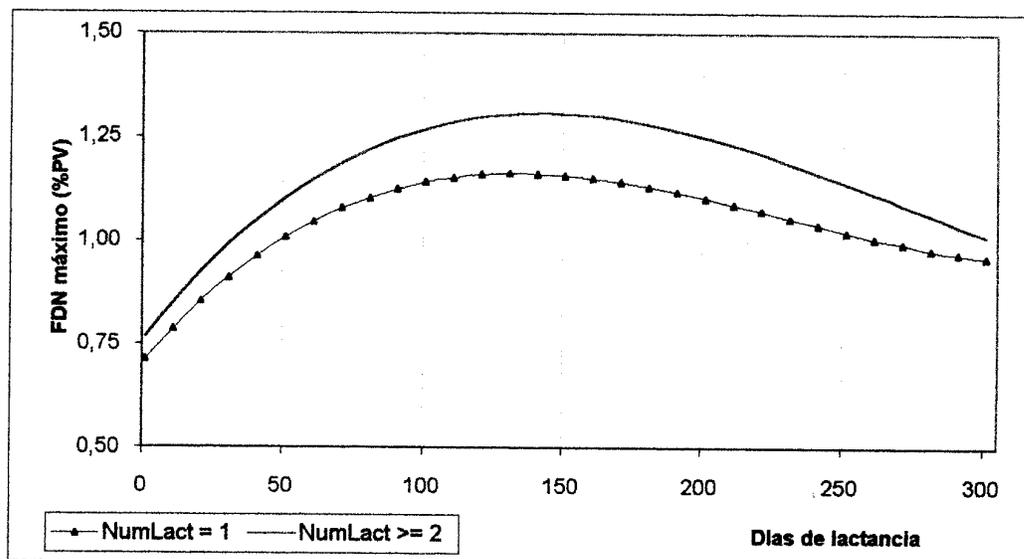
Donde:

NumLact: número de lactancias

DiasLact: día de lactación.

FDNmaxPPV: FDN máximo como % del peso vivo.

**Fig. N° 40 Consumo de FDN máximo según N° y días de Lactancia**



Si el FDN a partir de los forrajes (ofrecido de voluminoso + consumo de pastura, previa disminución por sustitución) supera el máximo permitido por la función de la gráfica 55, entonces, el consumo quedará limitado por FDN según el siguiente criterio:

- ✓ Si no hay voluminoso, se consumirá pastura hasta el máximo de FDN permitido.
- ✓ Si no hay pastura, se consumirá el mismo hasta satisfacer el máximo permitido de FDN.
- ✓ Si están ambos presentes en la dieta, y el EM del voluminoso es mayor que el de la pastura, se consume todo el voluminoso y el resto de FDN se satisface consumiendo pastura. Puede ocurrir, que el ofrecido de voluminoso sea alto en relación a la dieta y no sobre excedente de FDN para permitir el consumo de pastura; es decir, consumo de pastura = 0. Deducimos que debe ser cautelosa la asignación ingresada de voluminoso.
- ✓ La situación inversa a la anterior.

#### **3.1.1.8.1.6 Consumo máximo por requerimientos**

En última instancia quien limita el consumo potencial de MS, son los requeri-

mientos según el potencial de producción de ese día.

Si el consumo de MS estimado hasta el momento supera los requerimientos según el potencial de ese día, entonces el consumo de voluminoso y pastura quedará limitado a ese potencial mediante la EM correspondiente. Nuevamente se reducirá de la pastura o del voluminoso según un orden jerárquico establecido en base a la EM, como sigue:

- ✓ Si no hay voluminoso ni concentrado, se consumirá pastura hasta satisfacer los requerimientos de EM.
- ✓ Si no hay voluminoso pero si concentrado, se le resta a los requerimientos el aporte de EM por el concentrado, y el resto, hasta satisfacer los requerimientos, se consumirá de pastura según su [EM].
- ✓ Si sólo existe voluminoso, se consumirá el mismo hasta satisfacer los requerimientos.
- ✓ Si no existe concentrado, pero si pastura y voluminoso, entonces se consumirá el de mayor calidad y el resto hasta satisfacer los requerimientos.
- ✓ Existiendo en la dieta los tres elementos, se consumirá todo el concentrado, deduciéndose el consumo de pastura y voluminoso como en el ítem anterior.

### **3.1.1.9 Módulo resultados**

#### **3.1.1.9.1 Resultados uno**

Básicamente presenta resultados de producción individual en cuanto a cantidad y composición de la leche producida. Si bien el programa maneja una base temporal diaria, los resultados se presentan cada diez días.

Cabe mencionar que en la gráfica aparecen dos curvas simultáneamente. La curva teórica potencial sin restricciones según el valor de potencial ingresado en el *módulo vaca*; y la curva estimada por el modelo en la simulación del sistema con la dieta planteada por el usuario. Esta presenta la producción de leche estimada a intervalos de diez días.

#### **3.1.1.9.2 Resultados dos**

En este caso se presentan los valores nutritivos de la dieta, información sobre la pastura, consumo y balance de la dieta.

### 3.1.1.9.3 Resultados tres

Presenta un resumen promedio por corrida, de algunos parámetros biológicos y económicos útiles.

## 3.2 VALIDACIÓN

La validación es una de las etapas mas importantes a llevar a cabo en la modelación. Para ello es necesario contar con experimentos que puedan ser reproducidos por el modelo. Como los experimentos utilizados en la validación fueron extraídos de la bibliografía, es decir, no diseñados para la validación de este modelo, en algunos casos carecemos de toda la información necesaria. Para estos casos utilizamos valores que intentaron reproducir, a nuestro criterio, la situación planteada.

Con el fin de evaluar las estimaciones del modelo en su relación con la realidad, utilizamos 5 experimentos, que abarcan 23 situaciones distintas.

A continuación se presentan los datos observados (O) y estimados (E) por el programa en los distintos experimentos.

### 3.2.1 Simulación de experimentos de Peyraud et al. (1988-1989)

Cabe señalar que aunque la ecuación de Peyraud et al. es base de la función utilizada para la estimación del consumo de pastura, la misma ha sido modificada y entendimos de orden utilizar sus experimentos en la validación como forma de evaluar las modificaciones introducidas.

Los experimentos se llevaron con vacas de lactancia media, en la primavera, sobre pasturas de raigrás perenne (81-82 % DigMO; 50-51% FDN; 19,6 %PC), y con una suplementación mínima de 1 kg (BF) de concentrado (3.18 EM, 22.2 %PC).

Los tratamientos consistieron en aplicar diferentes asignaciones de pastura en dos experimentos separados.

#### 3.2.1.1 Experimento N° 1

- ✓ Duración 35 días.
- ✓ Etapa de lactancia: 140

- ✓ Días de gestación: 50 (supuesto: preñez a los 90 días de parida)
- ✓ Disponible promedio: 4700-5300 KgMS/ha

TRATAMIENTOS	Baja Asignación (20 KgMS/v/d)		Media Asignación (30 KgMS/v/d)	
	Primípara	Múltipara	Primípara	Múltipara
<b>PV (Kg)</b>	536	555	563	550
<b>%G</b>	4.04	4.02	3.72	3.4
<b>%P</b>	2.97	2.82	3.01	2.58
<b>Cons. Pastura EXPERIMENTAL</b>	12.7	17.3	15.3	17.8
<b>Cons. Pastura MODELO</b>	13	15.4	12.9	15.3
<b>Leche EXPERIMENTAL</b>	18	23.3	20.3	27.5
<b>Leche MODELO</b>	18.8	23.1	19.4	26.4

- ✓ En este experimento se utilizó una pastura de raigrás medio (EM: 2,65)
- ✓ Disponible promedio de 4480 kgMS/ha.
- ✓ Concentrado: 0.7 Kg Cebada molida, 0.24 kg H. De soja, 0.04 kg de melaza.
- ✓ Potencial genético de 6000 y 9000 para primíparas y múltiparas respect.

### 3.2.1.2 Experimento N° 2

- ✓ Duración 25 días.
- ✓ Etapa de lactancia: 140
- ✓ Días de gestación: 50 (supuesto: preñez a los 90 días de parida)
- ✓ Disponible promedio: 6700 KgMS/ha

TRATAMIENTOS	Baja Asignación (21 KgMS/v/d)		Media Asignación (32 KgMS/v/d)		Alta Asignación (51 KgMS/v/d)	
	Primíp.	Múltip.	Primíp.	Múltip.	Primíp.	Múltip.
<b>PV (Kg)</b>	535	589	541	603	542	607
<b>%G</b>	3.87	3.69	3.94	3.62	3.84	3.66
<b>%P</b>	30.6	2.85	3.14	29.3	3.25	3.01
<b>Cons. Pastura EXP.</b>	13.8	16.9	16.3	19.6	17.6	19.7
<b>Cons. Pastura MOD</b>	12.9	16.4	13	16.7	13	16.5
<b>Leche EXPERIM.</b>	18.3	24.2	19.2	26.2	200.1	27.8
<b>Leche MODELO</b>	19.6	26.7	19.5	27.7	19.1	26.9

- ✓ En este experimento se utilizó una pastura de raigrás medio (EM: 2,65)
- ✓ Disponible promedio de 5990 kgMS/ha.
- ✓ Concentrado: 0.7 Kg Cebada molida, 0.24 kg H. De soja, 0.04 kg de melaza.
- ✓ Potencial genético de 6000 y 9000 para primíparas y múltiparas respect.

### **3.2.2 Simulación de experimentos de Chilbroste P. Et al. (2000).**

Los experimentos se llevaron con vacas en sus primeros 60 días de lactancia, en otoño del 200, sin pastoreo, con dieta base Heno de alfalfa de mediana calidad (65-68 % Dig) a una asignación de 12 Kg.

Los tratamientos consistieron en aplicar tres niveles (6, 9 y 12 Kg/v/d) de un concentrado comercial (18% PC).

- ✓ Duración 60 días.
- ✓ Etapa de lactancia: 0-60
- ✓ PV: se supone un peso vivo inicial de 500 Kg
- ✓ Potencial genético: se supone de 7000 lt/305 d.
- ✓ Se utiliza como voluminoso: "Heno de alfalfa, florac. media" (2.04 EM, 58 %FDN y 16 %PC).
- ✓ Como concentrado se utiliza: "Ración comercial" (2.8 EM, 18 %PC).

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>N 6</b>	<b>N 9</b>	<b>N 12</b>
<b>%G</b>	3.71	3.55	3.56
<b>%P</b>	3.02	3.08	3.21
<b>Cons. Voluminoso EXPERIMENTAL</b>	10	10	xx
<b>Cons. Voluminoso MODELO</b>	8,2	7,7	4.1
<b>Leche EXPERIMENTAL</b>	17.9	21.9	23.6
<b>Leche MODELO</b>	18.3	24.5	26

### **3.2.3 Simulación de experimentos de Garnsworthy P.C. et al. (1987).**

Los experimentos se llevaron con vacas en sus primeros 140 días de lactancia, en un sistema de confinamiento, con dieta base de Heno (1.91 EM) ad libitum, 2 Kg de pulpa de remolacha, 5 kg de ensilaje de subproductos de cervecería y 10 kg de concentrado (62% cebada, 18% H. De soja, 5% de melaza, 5% Sebo, 5% H. Pescado, 5% Minerales y Vit.)

Los tratamientos consistieron en suministrar un concentrado con alto UDP (74 gr/kg) y otro con bajo UDP (45 gr/kg), a su vez estos tratamientos sobre vacas con alta y baja condición corporal al parto (3.5 y 2).

Para la validación se toma solo un tratamiento. Se seleccionó el de alto UDP y

sobre vacas gordas.

- ✓ Etapa de lactancia: 7-140
- ✓ PV inicial de 589 Kg
- ✓ Potencial genético: se supone de 8000 lt/305 d.
- ✓ Se utiliza como voluminoso: "Heno de raigrás, florac. temp." (1.96 EM, 69 %FDN y 5.5 %PC).
- ✓ Concentrado se utiliza: 10 Kg (BF) de: 62% cebada molida, 18% H. De soja, 5% de melaza, 5% Sebo, 5% H. Pescado, 5% Minerales y Vit.

TRATAMIENTOS	Alto UDP y C.C 3.5
%G	4.85
%P	3.38
Cons. Voluminoso EXPERIMENTAL	xx
Cons. Voluminoso MODELO	8.5
Leche EXPERIMENTAL	27.2
Leche MODELO	28.6

### **3.2.4 Simulación experimentos de Grainger C. y Mathews G.L. (1986)**

El experimento fue realizado con vacas multíparas Frisian y Frisian x Jersey, de lactancia temprana, en el inicio de la primavera, sobre pasturas permanentes donde dominaba raigrás perenne (76-77 % DigMS; 3.1-3.2 % N).

Los tratamientos consistieron en aplicar 3 asignaciones diferentes de pastura (7.6, 17.1 y 33.1 kgMS/v/d), y dos niveles de asignación de concentrado (0 y 3.2 kgMS/v/d).

- ✓ Duración 88 días.
- ✓ Peso vivo inicial: 454
- ✓ Etapa de lactancia: 21
- ✓ Días de gestación: 0
- ✓ Disponible promedio: 2200 - 2500 KgMS/ha

Asignación de pastura (KgMS/v/d)	7.6		17.1		33.1	
Consumo Concentrado (KgMS/v/d)	0	3.2	0	3.2	0	3.2
%G	4.75	4.11	4.27	4.1	4.35	4.18
%P	2.94	2.84	3	3.06	3.09	3.13

<b>Cons. Pastura EXPERIMENTAL</b>	6.1	6.3	11.8	11	16	13.6
<b>Cons. Pastura MODELO</b>		7.2	12.4	12.2	12.4	12.4
<b>Leche EXPERIMENTAL</b>	15.4	18.5	20.9	23.1	23.1	24
<b>Leche MODELO</b>		12.4	18.5	25.1	19.6	25.7

- ✓ En este experimento se utilizó una pastura de “raigrás temprano” (EM: 2,8; PC: 25%; FDN: 42% ).
- ✓ Disponible promedio en el modelo de 4055 kgMS/ha.
- ✓ Concentrado: 3.6 Kg de Afrechillo de trigo (2.55 EM, 15% PC).
- ✓ Potencial genético de 8000 lts/305d.

### **3.2.5 Simulación de experimentos de Stockdale C.R. (1992)**

El experimento fue realizado con vacas multíparas Frisian, de lactancia tardía, en otoño, sobre pasturas permanentes de trébol blanco puras (70 % DigMS, 3.63 %N, 32 %FDN).

Los tratamientos consistieron en aplicar 2 asignaciones diferentes de pastura (19 y 39 kgMS/v/d), y dos niveles de asignación de silaje de maíz (0 y 4.4 kgMS/v/d) de 74% digMS, 1.07%N y 50%FDN.

- ✓ Duración 32 días.
- ✓ Peso vivo inicial: 498
- ✓ Etapa de lactancia: 213
- ✓ Días de gestación: 123 (supuesto: se preña a los 90 días posparto)
- ✓ Disponible promedio: 2600-2700 KgMS/ha

<b>Asignación de pastura (KgMS/v/d)</b>	<b>19</b>		<b>39</b>	
<b>Asignación voluminoso (KgMS/v/d)</b>	<b>0</b>	<b>4.4</b>	<b>0</b>	<b>4.4</b>
<b>%G</b>	4.34	4.18	4.19	4.37
<b>%P</b>	3.11	3.17	3.21	3.31
<b>Cons. Pastura EXPERIMENTAL</b>	8.5	7.9	12.2	10.5
<b>Cons. Pastura MODELO</b>	11,7	9.0	14.7	9.8

<b>Cons. Voluminoso EXPERIMENTAL</b>	0	4.4	0	4.3
<b>Cons. Voluminoso MODELO</b>	0	4.3	0	4.3
<b>Leche EXPERIMENTAL</b>	10.1	13.7	15.5	15.9
<b>Leche MODELO</b>	11,4	15.0	17.4	16.1

- ✓ En este experimento se utilizó una pastura de trébol blanco de tercer año (EM: 2.65; PC: 24%; FDN: 35%).
- ✓ Disponible promedio en el modelo de 2640 kgMS/ha.
- ✓ Voluminoso: 0-4.4 Kg de Ensilaje de maíz (mucho grano) (2.67 EM, 8.10% PC y FDN 52%).
- ✓ Potencial genético de 8000 lts/305d.

### **3.2.6 Resumen de la validación**

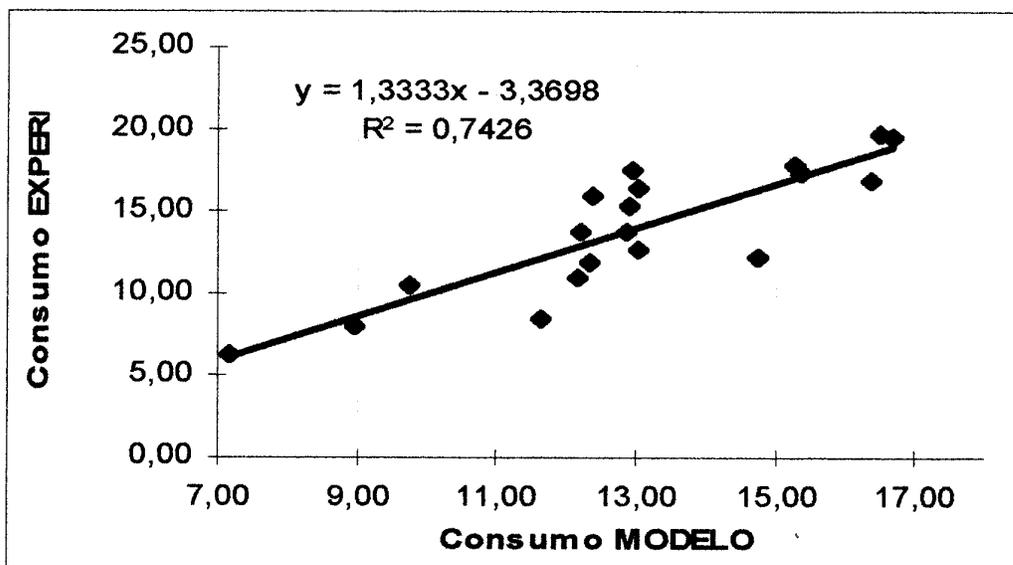
Con el objetivo de realizar una simple evaluación del modelo, se resumen los datos de la validación anterior y se presenta la regresión entre los datos observados y estimados de consumo de pasturas y producción de leche.

El análisis de regresión se realizó en Microsoft Excel®.

Como se observa en la figura N° 60, el modelo se ajusta para la predicción del consumo de pastura en un 74.3% frente a valores reportados en los experimentos, existiendo una posibilidad de error de 2,1 KgMS.

Cabe destacar que el modelo tiende a subestimar el consumo real observado en los experimentos. Por cada 1.3333 kilos de MS observado el modelo estima 1 kilo consumido.

**Fig. N° 41 Regresión ajustada entre el consumo de MS en los experimentos y los correspondientes estimados por el modelo.**



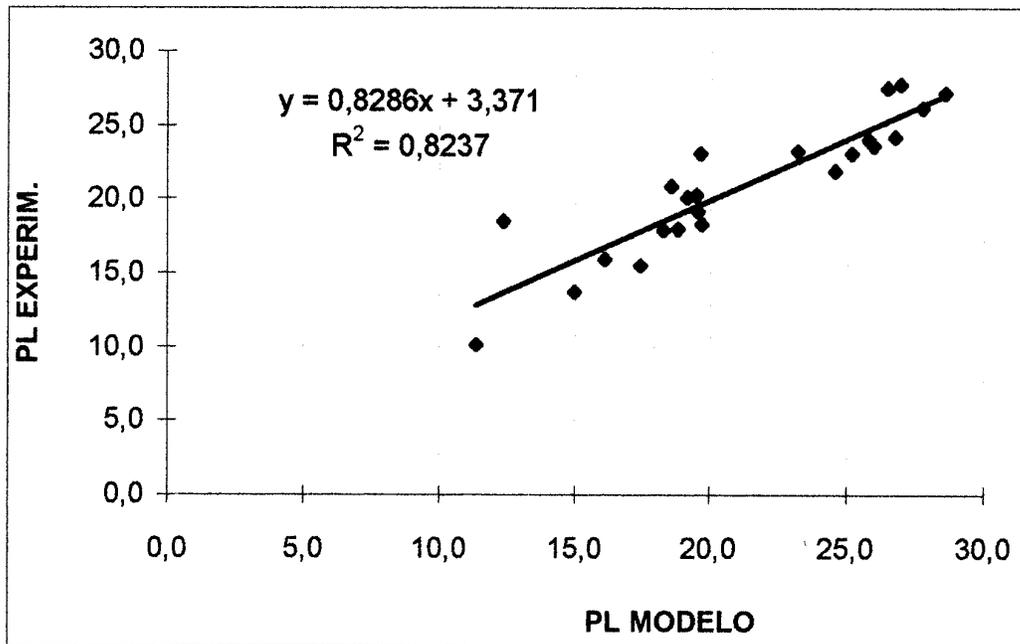
### Resumen Consumo de MS de pastura

#### *Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	86,2%
Coefficiente de determinación $R^2$	74,3%
$R^2$ ajustado	72,8%
Error típico	2,1
Observaciones	19

La estimación de la producción de leche se ajustó en un 82% y es subestimada en un 18%.

**Fig. N° 42** Regresión ajustada entre la Producción de Leche en los experimentos y los correspondientes estimados por el modelo.



## **Resumen de Producción de leche**

### *Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	90,8%
Coefficiente de determinación $R^2$	82,4%
$R^2$ ajustado	81,5%
Error típico	1,96
Observaciones	23

### **3.3 EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO**

Este ítem consiste en realizar estimaciones para situaciones creadas artificialmente como forma de evaluar la sensibilidad que presenta el modelo.

Se intentó seleccionar experimentos que incluyan variaciones de asignación y distintos niveles de suplemento.

### 3.3.1 Experimento 1

El mismo maneja una pastura de avena temprana (EM=2.80) a tres niveles de asignación (12-20-30 kgMS/v/d) y cuatro niveles de concentrado energético (0-3-6-9 kgBF/v/d).

- ✓ Fecha: 15 de mayo
- ✓ Duración 56 días.
- ✓ Peso vivo inicial: 550
- ✓ Etapa de lactancia: 15
- ✓ Número de lactancias: 3
- ✓ Disponible promedio: 2471 KgMS/ha
- ✓ Potencial genético de 7000 lts/305d.

Asign. pastura	12				20				30			
Consumo Concentrado	0	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9
Consumo de pastura	9,9	9,9	10,0	8,1	13,5	13	10,7	7,9	13,8	12,8	10,4	7,7
Prod.de leche (lts/v/d)	10,8	17,1	24,8	27,8	20,3	26	27,8	27,8	22,2	26,9	27,8	27,8
Utilización pastura (%)	80,2	80,2	84,3	65,2	69,5	63,3	53,2	42	51,7	44,6	38,1	31,1
Dotación (aha)	3,3				2				1			
Productividad (PL/ha)	2007	3195	4632	5183	2273	2914	3110	3110	1655	2012	2073	2073
Costo/litro (US\$/lt)	0,027	0,032	0,032	0,041	0,022	0,029	0,040	0,055	0,028	0,036	0,049	0,065
PL excedente (Lt/v/d)	8,6	13,1	18,8	19,3	17,0	20,4	19,5	16,4	17,5	19,7	17,7	14,5
PL excedente (Lt/ha)	28	43	62	58	34	41	39	33	18	20	18	15

Comparando entre el tratamiento 12 y el 20 de asignación y la suplementación de 9 kilos de concentrado, podemos ver que no hay variación en el consumo de pastura ni producción. Seguramente limitaron los requerimientos de energía metabólica, y se observa aquí la importancia que otorga el modelo a ese nivel de suplementación sobre la

asignación.

Por otro lado, el modelo contempla que a mayor asignación existe mayor selección, no hay relación directa lineal entre consumo y producción, aunque no interrelacionó bien con la restricción por FDN, como discutiremos en el experimento 2.

En éste experimento también se observa que a mayor asignación, menor utilización del forraje producido.

Para el tratamiento 12 de asignación podría discutirse si es sustentable o no, dado que plantea una dotación de 3,3 animales / há. Este tratamiento resulta interesante sobre todo a altos niveles de suplementación donde presenta los mas altos valores de producción excedente por hectárea. Para considerar este tratamiento desde el punto de vista de la sustentabilidad, debería tenerse en cuenta la dotación general del predio y el tipo de pastura en relación a la frecuencia de corte a que será sometida durante el período establecido en el experimento.

### **3.3.2 Experimento 2**

El mismo maneja una Pradera conv. Larga 1º año (EM = 2,59) a cuatro niveles de asignación (12-20-30 y 45 kgMS/v/d) y sin suplementación alguna.

- ✓ Fecha: 15 de Setiembre
- ✓ Duración 55 días.
- ✓ Peso vivo inicial: 550
- ✓ Etapa de lactancia: 15 días
- ✓ Número de lactancias: 3
- ✓ Disponible promedio: 3100 KgMS/ha
- ✓ Potencial genético de 7000 lts/305d.

<b>Asignación de pastura</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>45</b>
<b>Consumo de pastura</b>	10.	11.8	12.2	12.2
<b>Prod.de leche (lts/v/d)</b>	8.3	13.2	15.5	15.9
<b>Utilización pastura (%)</b>	85	61	45	33
<b>Dotación (aha)</b>	4.3	2.6	1.7	1.1
<b>Productividad (PL/ha)</b>	1948	1844	1467	1004
<b>Costo/litro (US\$/lt)</b>	0,025	0,023	0,028	0,037
<b>PL excedente (Lt/v/d)</b>	6.8	10.9	12.3	11.5
<b>PL excedente (Lt/ha)</b>	29	28	21	13

Se puede apreciar en este experimento que el consumo y producción calculados por el modelo encubren un error con relación a las condiciones planteadas. Seguramente el error se debe a que los índices de selección no funcionaron de la forma esperada o la función utilizada para éste factor no fue la adecuada, o en el modelo, mantiene demasiada importancia el consumo de FDN como limitante del consumo.

### 3.3.3 Experimento 3

El mismo maneja también una Pradera conv. Larga 1° año (EM= 2,59) a tres niveles de asignación (20-30 y 45 kgMS/v/d) y sin suplementación alguna.

- ✓ Fecha: 15 de Setiembre
- ✓ Duración 55 días.
- ✓ Peso vivo inicial: 550
- ✓ Etapa de lactancia: 150 días
- ✓ Número de lactancias: 3
- ✓ Disponible promedio: 3100 KgMS/ha
- ✓ Potencial genético de 7000 lts/305d.

Asignación de pastura	20	30	45
Consumo de pastura	14	15.1	15.2
Prod.de leche (lts/v/d)	14.4	18.9	19.8
Utilización pastura (%)	65	43	36
Dotación (aha)	2.6	1.5	1.1
Productividad (PL/ha)	2014	1526	1254
Costo/litro (US\$/lt)	0.022	0.026	0.030
PL excedente (Lt/v/d)	12.1	15.2	15.4
PL excedente (Lt/ha)	31.5	22.8	16.9

Se observa en éste experimento que como era de esperarse mejoró la estimación dada por el modelo al día 150 de lactancia. Para esta etapa la función utilizada en relación al FDN como factor de control físico del consumo, libera la presión ejercida a los 15 días de lactancia como era el experimento anterior.

### 3.4 POTENCIALIDADES DEL MODELO

- ✓ Permite planificar la alimentación del rodeo durante la lactancia.
- ✓ Permite reproducir diversas situaciones vaca- dieta- ambiente, estimando performance y eficiencia de utilización de algunos recursos.
- ✓ Las ventajas anteriormente mencionadas, sirven a la experimentación, subordinado esto, a la confianza dada por el modelo.

### **3.5 LIMITANTES DEL MODELO**

- ✓ Los índices de selección para proteína, energía y FDN son empíricos.
- ✓ Quizás el FDN de la dieta mantiene mucha relevancia como factor físico del control del consumo, o no es bien atenuado por un eficiente índice de selección.
- ✓ La estimación de las tasas de sustitución, según las distintas dietas posibles, resulta de una simplificación del problema.
- ✓ La composición química de los alimentos utilizados por el programa responde a valores promedio de tablas modificables por el usuario.
- ✓ Las tasas de crecimiento de las pasturas se corresponden con las calculadas en promedio para el país.
- ✓ La variación de peso vivo en el modelo, depende del peso vivo al parto y los días de lactancia.
- ✓ Con respecto a la resorción de Ca, el programa admite hasta el 10% de las reservas óseas.
- ✓ El contenido graso y proteico de la leche, no son predichos por el modelo.
- ✓ La disminución en producción de leche por debajo del potencial, debida a una restricción alimenticia previa, es un valor sugerido.

### **3.6 CONCLUSIONES**

- ✓ La validación mostró bastante consistencia con los experimentos utilizados durante esta etapa.
- ✓ Es necesaria una validación mas exhaustiva, es decir con mayor numero de experimentos , abarcando mayor diversidad de situaciones con el fin de aumentar credibilidad sobre el modelo, o bien detectar sus debilidades con mayor precisión.
- ✓ Consideramos necesario generar información en relación a las limitantes del modelo que así lo demandan.

#### **4 RESUMEN**

El modelo de simulación generado predice la producción de leche individual y promedio para un lote de vacas lecheras Holstein en diferentes condiciones de alimentación. La unidad base temporal es el día y su tiempo máximo de estimación es una lactancia completa comenzando desde la fecha ingresada. La dieta la conforma inicialmente el usuario, quedando sujeta a cambios según las relaciones de sustitución preestablecidas en el modelo. El modelo puede trabajar con una pastura a la vez, pero utilizar varias en toda la lactancia, siendo posible así el manejo estratégico de la suplementación según sea el caso. Proporciona datos de la pastura como tamaño de franja diaria, función de la asignación entre otros; disponible remanente, tiempo de ocupación, todo lo cual permite planificar la utilización de las mismas por parte del rodeo. Por último, proporciona algunos indicadores económicos que permiten evaluar el manejo alimenticio planteado. Para la validación se utilizaron cinco experimentos que conforman 23 situaciones distintas. La regresión ajustó en un 74% para el consumo de pastura entre los valores observados y los estimados, siendo de 82% o para producción de leche.

#### **5 SUMMARY**

The generated model of simulation predicts the production of individual milk and average for a lot of dairy Holstein cows in several feeding conditions. The temporary base unit is the day and its maximum time of estimate is a complete lactation, beginning from the entered date. The diet its initially conformed by the user, remaining subject to changes according to the relationships of substitution preset in the model. The model could work with a pasture at the same time, but use several in the whole lactation, being possible the strategic handling of the supplement, so it as is the case. It provide data of the pasture like size of daily stripe, function of the assignment; available remnant, time of occupation, everything which allows to plan the use of the same by the whole group of cows. Lastly, it provide indicative economic that allows to evaluate the nutritious expounded handling. For the model evaluation, five experiments were used that they conform 23 different situations. The regression adjusted 74 % for the consumption of pasture between the observed and the estimated values, being of 82% for production of milk.

## **6 BIBLIOGRAFIA**

1. **AFRC**. Energy and Protein Requirement of Ruminants. 1993. UK, University Press, Cambridge.
2. **ALVARÉZ, A.; HIRIART, C.; URRUTIA, A.** 1995. Suplementación de vacas lecheras pastoreando praderas con afrechillo de trigo y pulpa de citrus. Tesis Ing. Agr. – Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 99 p.
3. **ARC**. Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux: Slough, G. B. 351 p.
4. **AZPIRÓZ, P; BOIX, A.** 1994. Resultados físico - económicos de diferentes sistemas de manejo de la suplementación con concentrados, para distintos sistemas de producción de leche en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 140 p.
5. **BAKER, R.D.** 1975. Effect of sward characteristics on herbage intake under grazing – nutritive quality, species and amount. Pasture utilization by the grazing animal. Occasional symposium N° 8. British Grassland Society.
6. **BARTABURU, D.** 2000. La Vaca Lechera en el Verano: Sombra, agua, manejo. Rev. Plan Agropecuario 94: 39-42
7. **BARTESAGHI, M.; FERRÉS, A.** 1996. Efecto de la presión de pastoreo, el nivel de suplementación con concentrados y el tipo de ensilaje II. Producción y composición de leche, variación de peso y condición corporal de vacas lecheras de parición de otoño. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 110 p.
8. **BATH, D.L.; DICKINSON, F.N.; TUCKER, H.A.; APPLEMAN, R. D.** 1989. Anatomía y Fisiología de la glándula mamaria. p. 309-327. Montevideo. Facultad de Agronomía.
9. **BENECH, F.; FELIX, C.** 1999. Efecto del tipo y nivel de suplementación con concentrados y de la oferta de pastura por vaca sobre la producción y la composición de la leche y variación de peso y condición corporal de vacas lecheras de parición de otoño suplementadas con ensilaje de maíz ofrecido ad libitum. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía, v. 2.
10. **BUCKMASTER, D.R.; HOLDEN, L.A.; MULLER, L.D.; MOHTAR, R.H.**

Modeling Intake of Grazing Cows Fed Complementary Feeds. Penn State, University Park, PA. p 9-10.

11. **CETRULO**, F. P. 1993. Efecto de la suplementación con pulpa de remolacha y afrechillo de arroz sobre la performance reproductiva de vacas Holando en pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía, 99 p.
12. **CHILIBROSTE**, P. 1998. Fuentes comunes de error en la alimentación del Ganado lechero en pastoreo: I. Predicción del consumo. (26ª) Jornadas uruguayas de buiatría. Paysandú. 14 p.
13. **CHILIBROSTE**, P. 1998. Fuentes comunes de error en la alimentación del Ganado lechero en pastoreo: II. Balance de nutrientes. (26ª) Jornadas uruguayas de buiatría. Paysandú.
14. **CHILIBROSTE**, P. 1999. Estudio integrado de las estrategias de pastoreo y suplementación en vacunos: información relevante en el manejo de recursos escasos. Cangué N° 15, p 9-12.
15. **CHILIBROSTE**, P.; **AGUILAR**, C.; **GARCIA**, F. 1997. Nutritional evaluation of diets. Simulation model of digestion and passage of nutrients through the rumen- reticulum. Animal feed science and technology 68 (1997) 259-275. Santiago de Chile – Chile.
16. **CHILIBROSTE**, P.; **ELIZONDO**, F.; **MATTIAUDA**, D.; **BRUNI**, M.A. 2000. Manejo de la franja diaria sobre la producción y composición de leche en vacas Holando. Cangué 20: 22-25.
17. **CHILIBROSTE**, P.; **MATTIAUDA**, D.; **FABVRE**, E.; **ELIZONDO**, F.; **BRUNI**, M. 2001. Explotación del potencial animal en sistemas lecheros: el caso de la parición de otoño. Revista Cangué 21: 6-10.
18. **CURCH**, D.C.; **POND**, W.G. 1996. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Balderas 95, México, D.F., Limusa. 438 p
19. **DÍAZ**, J.E.; **GARCÍA**, J.A.; **REBUFFO**, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. INIA, La Estanzuela. Serie Técnica 71.
20. **DUKES**, H.H.; **SWENSON**, M.J. 1977. Fisiología de los Animales Domésticos, v1. Colección Ciencia y Técnica Aguilar, Madrid - España. 1054 p.
21. **FERNÁNDEZ**, C. E.; **ROVOIR**, P. 1995. Efecto de la oferta por animal y del nivel de suplementación con concentrados sobre el consumo de ensilaje, la pro-

ducción y la composición de leche y la variación de peso y la condición corporal en vacas lecheras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, v2.

22. **FRIESEN, V.; MOURE, S.** 1999. Efecto del manejo del pastoreo y tipo de suplementación sobre la producción y composición de la leche de vacas Holando en el período estival. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 66 p.
23. **GALLI, J.R.; CANGIANO, C.A.; FERNÁNDEZ, H.H.** 1996. Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. Rev. Arg. Prod. Anim.. Vol. 16, N° 2. Unidad Integrada Balcarce INTA – UNMdp.
24. **GARNSWORTHY, P.C; JONES, G.P.** 1987. The influence of body condition at calving and dietary protein supply on voluntary food intake and performance in dairy cows. Anim. Prod. 44: 347-353.
25. **GEYMONAT, F.E.** 1992. Efecto de la presión de pastoreo y de la suplementación concentrada en vacas Holando de parición de primavera sobre pasturas con sudangrás. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 206 p.
26. **GILLES, J.C.** 1993. Efecto de la suplementación con afrechillo de arroz sobre el rendimiento y la composición de la leche y sobre la ganancia de peso y la variación de condición corporal en vacas lecheras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 79 p.
27. **GRAINGER, C; MATHEWS, G.L.** 1989. Positive relation between substitution rate and pasture allowance for cows receiving concentrates. Australian Journal of Experimental Agriculture 29: 355-360
28. **HAFEZ, E.; DYER, I.** 1972. Desarrollo y Nutrición Animal. Montevideo. Facultad de Agronomía. 21p.
29. **HALVORSON, M.** 1998. Microsoft Visual Basic 6.0. Manual del Programador. Microsoft Corporation. 921p.
30. **HALVORSON, M.** 1998. Aprende Microsoft Visual Basic 6.0 ya. Madrid, Universidad Complutense de Madrid. 619p.
31. **HEINZEN, M.** 1999. Manejo nutricional y producción de lana. Paysandú, EEMAC. Facultad de Agronomía. 27p.
32. **HEINZEN, M.; CHILIBROSTE, P.; SOCA, P.** 2000. Curso Análisis de Siste-

mas y Modelación en Producción Animal. Facultad de Agronomía, EEMAC. Paysandú.

33. **HODGSON J.; JACKSON D.K.** 1975. Pasture utilization by the grazing animal. Occasional symposium N° 8. British Grassland Society.
34. **HODGSON, J.; JACKSON, D.K.** 1975. Pasture Utilization by the Grazing Animal. Occasional Symposium No. 8. British Grassland Society. 110p.
35. **INIA.** Guía para la alimentación de rumiantes. INIA Serie Técnica 44.
36. **INTA.** 1999. Tabla de composición de alimentos para vacas lecheras. E.E.A. Balcarce, Cervas, INTA (Argentina).
37. **KLAASSEN, H.; MEERHOF, A.; TRIVER, F.** 1993. Efecto de la suplementación de vacas lecheras en pastoreo II. Consumo y producción de leche. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 122 p.
38. **LEBORGNE, R.** 1978. Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros. 54p. Montevideo.
39. **MAYNARD, L.A.; LOOSLI, J.K.; HINTZ, H.F.; WARNER, R.G.** 1979. Nutrición Animal. 640p. Editorial McGraw-Hill de México.
40. **MC DONALD, P.; EDWARDS y GRENHALGH, J.F.D.** 1986. Nutrición Animal. Montevideo. Facultad de Agronomía.
41. **NRC.** 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 157p. Sixth Revised Edition. Washington, D.C.
42. **NRC.** 1994. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 244p. Washington, D.C.
43. **ORCASBERRO, R.** 1989. Manejo de la vaca lechera en el período seco. 24p. Montevideo. Facultad de Agronomía.
44. **ORCASBERRO, R.; FERNÁNDEZ, S.** 1982. Los forrajes en la alimentación de ovinos. 16p. Montevideo. Facultad de Agronomía.
45. **ORCASBERRO, R.; MARISCHAL, M. de J.; ARIAS, G.; COSTABEL, M.; PIAGGIO, L.** 1998. Alimentos. Montevideo. Facultad de agronomía. 28 p.
46. **OSORO, K.; CEBRIAN, M.** 1985. Energy Intake in Pastures. P41-45. INIA (Spanish Agricultural Research Institute). La Coruña, Galicia, Spain.

47. **PACHECO**, D. 1987. Glándula Mamaria. 35p. Montevideo. Facultad de Agronomía.
48. **PEYRAUD**, J.L.; **COMERON**, E.A.; **WADE**, M.H.; **LEMAIRE**, G. 1996. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Ann. Zootech* (1996) 45: 201-217. Elsevier, INRA, Francia.
49. **RADICIONI**, D.; **TARANTO**, V. 1993. Efecto de la suplementación de vacas lecheras en pastoreo I. Ambiente ruminal y composición de la leche. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 102 p.
50. **REARTE**, D.H. 1992. Alimentación y composición de la leche en los sistemas pastoriles. 81p. E.E.A. Balcarce, Cervas, INTA (Argentina).
51. **REARTE**, D.H. 2001. Sistemas Pastoriles Intensivos de Producción de Carne de la Región Templada. 18p. E.E.A. INTA Balcarce. 7620 – Balcarce (Argentina).
52. **ROVIRA**, J. 1973. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo. 288p. Montevideo. Editorial Hemisferio Sur.
53. **SILVA**, M.G.; **MANSILLA M.**, **JHAN**, E.B. 1987. Modelo de Simulación de Producción de Leche. I. Estructura y Calibración. *Agricultura Técnica (Chile)* 47 (4): 390-399.
54. **SIMEONE**, A.; **BERETTA**, V.; **BERMÚDEZ**, J. 2001. Curso Producción Intensiva de Carne. Montevideo, Facultad de Agronomía.
55. **SMITH R.C.G.**; **WILLIAMS**, W.A. 1973. Model Development For a Deferred – Grazing System. *Journal of Range Management* 26 (6).
56. **STAKELUM**, G.; **O'DONOVAN**, M. 2001. Grass Utilization and Grazing Management for Dairying. Teagasc, Moorepark Production Research Center, Fermoy, Co. Cork. Irlanda.
57. **STOCKDALE**, C.R. 1995. Maize silage as supplement for pasture-fed dairy cows in early and late lactation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* N°35: 19-26.
58. **STOCKDALE**, C.R. 1996. Substitution and production responses when lactating dairy cows graze a white clover pasture supplemented with maize silage. *Australian Journal of Experimental Agriculture* N°36: 771-776.

59. **STOCKDALE**, C.R. 1999. Effect of length of the period of supplementation with concentrates on pasture intake and performance of grazing dairy cows. Australian Journal of Experimental Agriculture N°39: 803-809.
60. **UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA**. Facultad de agronomía. 1989. Consumo de alimentos Tomo I. Parte I. 21p. Montevideo.
61. **UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**. Facultad de Agronomía. 1991. Utilización de Pasturas. 145p. Montevideo.
62. **UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**. Facultad de Agronomía. 1997. Forrajes, Tomo I. 121p. Paysandú.
63. **UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**. Facultad de Agronomía. 1997. Forrajes, Tomo II. 153p. Paysandú.
64. **UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**. Facultad de Agronomía. 1998 Tabla de composición de alimentos para vacas lecheras. 25p. Montevideo.
65. **VASALLO**, C. 1990. Manejo del Rodeo Lechero. 12p. Montevideo. Facultad de Agronomía.
66. **WALES**, W.J.; **DOYLE**, P.T.; **STOCKDALE**, C.R.; **DELLOW**, D.W. 1999. Effect of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. Australian Journal of Experimental Agriculture N°39: 119-130.
67. **WIKTORSSON**, H. 1989. Plano general de nutrición de vacas lecheras. 109-125. Montevideo. Facultad de Agronomía.