

ANALISIS DEL SISTEMA SEMIINTENSIVO DE BOVINOS DE PRODUCCION DE
LECHE DE LA ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, A TRAVES DE UN
MODELO DE SIMULACION

JORGE GRIJALVA
VICTOR BARRERA
FRANCISCO ESPINOSA

RECONOCIMIENTO

El grupo de trabajo responsable de elaborar este documento, expresa su reconocimiento al siguiente personal técnico del Programa de Ganadería, por su participación en las actividades de planificación y ejecución del Módulo lechero:

Agr. José Barrera
Agr. Efrén Carrera
Agr. Arturo Godoy
Agr. Manuel Hidalgo
Dr. Freddy Loayza
Ing. Pedro LLangarí

Ing. Blanca Arce, consultora de FUNDAGRO

Ing. George Rivadeneira, Coordinador de Programas bovinos del INIAP.

CONTENIDO

i. LISTA DE CUADROS

ii. LISTA DE FIGURAS

I. INTRODUCCION

II. METODOLOGIA DE TRABAJO

2.1. Objetivo

2.2. Análisis del Sistema

- Clima
- Suelo
- Factores de Manejo y Económicos
- Animales
- Pastizal
- Interacción Pastizales-Animal
- Decisiones

2.3. Síntesis del Modelo

a. Entrada de Datos

- Entrada de Datos relacionados a los Pastizales
- Entrada de Datos relacionados a los Animales
- Entrada de Datos Económicos

b. Proceso de Consumo

c. Proceso de Energía

d. Proceso Pastizal

e. Datos de Salida

2.4. Validación

2.5. Inferencias

III. CONCLUSIONES

IV. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CUADROS

- Cuadro No. 1. Comportamiento Reproductivo y Productivo de los animales del Módulo Lechero de la E.E. Santa Catalina, 1990-1991.
- Cuadro No. 2. Mezclas Forrajeras y Rendimiento de Materia Seca en los lotes del Módulo, Período 1991.
- Cuadro No. 3. Datos de entrada del Modelo relacionados a los Pastizales.
- Cuadro No. 4. Digestibilidad y Tasa de Crecimiento del Lote de Kikuyo + Trébol blanco del Módulo Lechero de la E.E. Santa Catalina.
- Cuadro No. 5. Datos de Entrada del Modelo relacionados a los animales y al concentrado.
- Cuadro No. 6. Comparación de Medias, EPM y DEM de las estimaciones de Producción de Leche.
- Cuadro No. 7. Comparación de Medias, EPM y DEM de las estimaciones de Peso.
- Cuadro No. 8. Análisis de Variancia y Prueba de Tukey al 5% para la variable Producción Acumulada de Leche por Lactancia, E.E. Santa Catalina, 1992.
- Cuadro No. 9. Análisis Económico de Presupuesto Parcial, Análisis de Dominancia y Tasa de Retorno Marginal para Producción Acumulada de Leche por Lactancia, E.E. Santa Catalina, 1992.

FIGURAS

- Fig. No. 1.** Componentes y Relaciones Generales del Sistema de producción de leche del módulo lechero.
- Fig. No. 2.** Estructura General del Modelo de Simulación.
- Fig. No. 3.** Contrastación de la Producción de Leche de acuerdo a los datos del Modelo Físico y el Modelo Simulado.
- Fig. No. 4.** Contrastación del Peso Corporal obtenido de acuerdo a los datos del Modelo Físico y el Modelo Simulado.

ANALISIS DEL SISTEMA SEMIINTENSIVO DE BOVINOS EN PRODUCCION DE LECHE DE LA ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, A TRAVES DE UN MODELO DE SIMULACION

I. INTRODUCCION

El reconocimiento de la necesidad de estudiar los sistemas de producción agropecuarios, ha procurado que el INIAP cambie el enfoque de resolver los problemas en forma analítica, al enfoque basado en la Teoría General de Sistemas. Para ello, el Programa de Ganadería implementó un sistema físico de producción (Módulo Lechero), considerando que además de los beneficios que podría derivar para la investigación mediante la generación de coeficientes técnicos, ese módulo podría tener un papel relevante de apoyo a la transferencia de tecnología.

Se ha comprobado la utilidad de los modelos de simulación en producción animal, como herramienta de análisis de sistemas ya que permite integrar en forma ordenada la información disponible sobre los distintos componentes, y principalmente estudiar en forma cuantitativa y dinámica las relaciones e interacciones del sistema, proporcionando una mayor comprensión del sistema a estudiar.

No se debe perder de vista, que los experimentos convencionales son complementarios de los modelos conceptuales, pues éstos se alimentan de aquellos y a su vez durante el proceso de construcción del modelo, surge claramente en qué componentes del sistema está faltando información, permitiendo establecer las prioridades de investigación. Así mismo, la simulación de un sistema real puede proveer una mayor comprensión biológica de cómo opera el sistema, pues está basado tanto en un proceso de análisis como de síntesis.

Aún cuando el uso de modelación en la investigación y la implementación de sistemas físicos, aparentemente no se han desarrollado en forma complementaria, no son en absoluto opuestos, ya que los sistemas físicos, además de la utilización demostrada, pueden tener un papel decisivo en la generación de información para validar los modelos de simulación, y a través de éstos, hacer inferencias para un conjunto más amplio y variado de condiciones que las que puede contemplar un sistema físico, e incluso explorar posibles vías de solución a problemas específicos, contribuyendo a definir o precisar objetivos a nivel de la investigación analítica (DURAN, 1983).

El propósito de este estudio es hacer uso de la información disponible en la literatura científica mundial y la información generada por el Módulo Lechero del Programa de Ganadería, para elaborar un modelo de simulación que permita estimar la producción de leche y la variación del peso en una lactancia de vacas Holstein Friesian alta cruza bajo pastoreo rotacional de praderas compuestas de ray grás y trébol blanco.

El objetivo general del presente estudio es:

1. Usar un Modelo de Simulación como herramienta para analizar el Sistema de Producción de leche de la E. E. Santa Catalina y definir ex-ante alternativas tecnológicas para mejorar el sistema .

II. METODOLOGIA DEL TRABAJO

Para la elaboración del Modelo, se utilizó la metodología planteada por Aguilar y Cañas (1980) que se describe a continuación:

2.1. Objetivo

Desarrollar un modelo de simulación para predecir la producción diaria de leche y el cambio de peso de vacas mestizas Holstein Friesian Alta Cruza del Módulo Lechero de la E.E. Santa Catalina, sometidas a disponibilidades variables de materia seca en el pastizal y alimentación suplementaria.

2.2. Análisis del Sistema

En la Fig. 1. se describen los componentes y factores que afectan al sistema de producción.

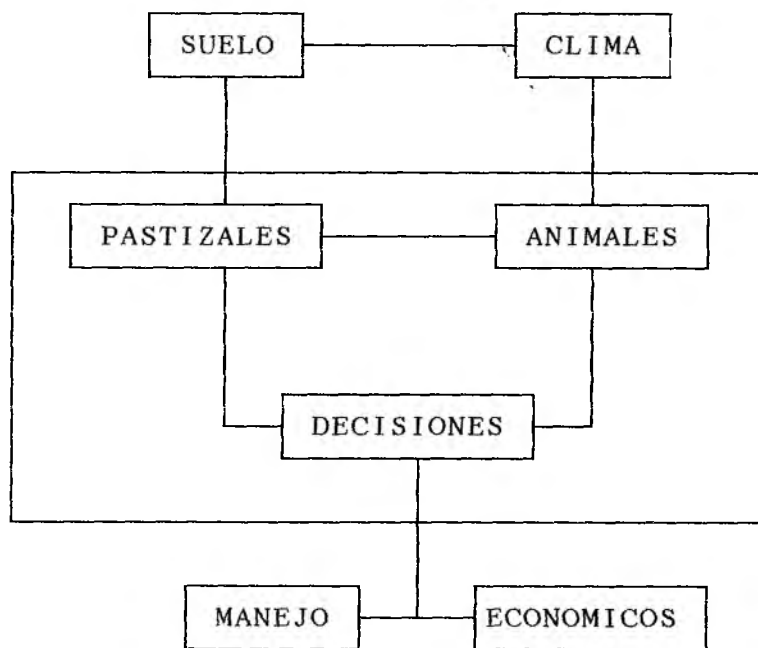


Fig. No. 1. Componentes y relaciones generales del sistema de producción del módulo lechero de la Estación Experimental Santa Catalina.

- **Clima**

El sistema de producción en estudio denominado Módulo Lechero, está ubicado en la región Muy Húmeda Sub-temperada a una altitud de 3020 m., con una temperatura media de 11.2 °C y una precipitación media anual de 1426 mm que lo ubica en la zona de vida bosque muy húmedo Montano (b.m.h.M), según la clasificación ecológica de Holdrige (CAÑADAS, 1978).

- **Suelo**

Los suelos en los que se asienta este sistema de producción poseen un drenaje bueno, con un pH de 5.7, declive del 5% y una textura de tipo franco.

- **Factores de Manejo y Económicos**

Las relaciones esenciales entre los componentes biológicos del sistema en estudio, se muestran independientes de los factores de manejo y económicos. Este último factor, es relevante al nivel de toma de decisiones sobre cambios o modificaciones en uno o varios componentes biológicos del sistema que definirán las metas de producción o beneficio económico. Sin embargo, una etapa previa al análisis económico es la cuantificación de las variables biológicas en la forma más precisa y completa posible (HAZARD, 1984).

- **Animales**

El Módulo Lechero posee ganado bovino de la raza mestiza Holstein Friesian alta cruza, cuya composición se observa en el Cuadro 1.

Los animales entre 0 - 3 meses de edad se crían en los pastizales en un sistema de jaulas portátiles o al sogueo, en donde reciben 4 litros/día de leche entera, concentrado y agua a voluntad a partir de la segunda semana de edad. A esa edad alcanzan pesos con un rango de 90 a 110 kg. Después de los tres meses, los terneros pastorean en potreros específicos para animales en crecimiento hasta cuando alcanzan un peso de 300 - 320 kg, lo que ocurre aproximadamente a los 18 meses de edad en la cual reciben inseminación artificial, pasando a la categoría de vientres preñadas. Al primer parto, las vacas alcanzan un peso de 400 - 420 kg, en tanto que cuando son adultas, registran pesos de 500 - 550 kg. Las vacas en producción pastorean sobre pasturas compuestas básicamente de ray grass, trébol blanco y kikuyo en un sistema de rotación diario. Adicionalmente, reciben alimentación suplementaria en cantidades que varían según el nivel de producción y el estado de lactancia.

Cuadro No. 1. Comportamiento Reproductivo y Productivo de los animales del Módulo Lechero de la E.E. Santa Catalina, 1990-1992.

Composición del Hato: 1992	Número
Vacas en producción	12
Vacas secas	5
Vaonas vientre	3
Vaonas fierro (12-18 meses)	6
Vaquillas media (6-12 meses)	3
Terneros (0-6 meses)	4
Terneritas (0-6 meses)	2
Toretas	2
Total Bovinos	33
Total UBA	26.9
Parámetros Productivos y Reproductivos	
% de Natalidad	81.20
% Mortalidad de terneros	7.60
% Destete efectivo	92.30
% Descarte de Vacas	6.20
% Vacas en producción/total vacas	70.50
Duración de la lactancia (días)	328.40
Producción de leche/vaca/año	3559.00
Producción de leche/vaca/día	13.00
Peso Promedio Vacas Adultas (kg)	525

- Pastizal

El componente agrícola del sistema de producción en estudio básicamente se refiere a los pastizales. Este se caracteriza por la implantación y mantenimiento de 3.32 ha. de una mezcla forrajera y 7.98 ha. de kikuyo (Pennisetum clandestinum). La mezcla forrajera se encuentra compuesta por Rye grass anual (Lolium multiflorum var. Pichincha), Rye grass perenne (Lolium perenne var. Tetralite), Trébol blanco (Trifolium repens var. Ladino) y Trébol rojo (Trifolium pratense var. Kenland), los cuales están destinados como área de pastoreo. También se dispone de 1.09 ha. de la mezcla Avena (Arrhenatherum elatius) y Vicia (Vicia sativa), que sirven para corte (Cuadro 2).

Los pastizales compuestos de las especies anteriormente mencionadas tienen una digestibilidad de la materia seca del 68 %, variando en función de la época del año.

Cuadro No. 2. Mezclas Forrajeras y Rendimiento de Materia Seca en los lotes del Módulo, Período 1991.

LOTE	SUPERFICIE (ha)	MEZCLA FORRAJERA	DENSIDAD (kg/ha)	RENDIMIENTO	
				MV/ha TM	MS/HA TM
60	0.808	AVENA+VICIA	91 AVENA 68 VICIA	53.0	10.0
61	0.516	AVENA+VICIA	91 AVENA 68 VICIA	55.0	10.9
		RYE GRASS INGLES	30	50.0	10.0
		RYE GRASS ITALI.	10		
		PASTO AZUL	5		
		TREBOL BLANCO	3.6		
		TREBOL ROJO	3.6		
		MEZCLA FORRAJERA PERMANENTE	52.2	40.0	8.0
62	0.629	AVENA+VICIA	91 AVENA 68 VICIA	59.0	10.6
63	0.679	MEZCLA FORRAJERA PERMANENTE	50.7	38.0	8.4
64	0.679	MEZCLA FORRAJERA PERMANENTE	50.7	35.0	8.4

- Interacción Pastizal - Animal

A efectos de analizar la relación pastizales - animal, frecuentemente se separa en dos componentes: el efecto del pastizal sobre el animal y el efecto del animal sobre el pastizal. La mayor parte de la información disponible en literatura científica, se refiere al efecto del pastizal sobre el animal y principalmente a los factores que afectan el valor nutritivo y consumo voluntario.

El efecto del animal sobre la pastura se explica por la defoliación, pisoteo y devolución de heces, pero existen complejas interacciones entre los animales y las especies, variedades o mezclas de pastizales, cuyo efecto puede variar según el estado fisiológico, época del año y condiciones climáticas tales como temperatura, disponibilidad de agua en el suelo, luminosidad, etc. (DURAN, 1983).

- Decisiones

Las decisiones que se toman respecto a componentes biológicos tales como pastizales y animales son independientes de los factores socioeconómicos. Sin embargo, cabe hacer notar que el factor económico es normalmente determinante en la toma de decisiones, ya que permite optimizar el sistema.

2.3. Síntesis del Modelo

La estructura general del modelo se indica en la Fig. 2. El modelo es de tipo estocástico, dinámico y racional, correspondiente con la naturaleza de variables biológicas de los sistemas de producción animal. La estructura está conformada por datos de entrada correspondientes al animal y pastizal y procesos que interaccionan, determinados por el consumo y la partición de energía, finalizando en una salida de datos (reportes).

Una vez ingresados los datos, el modelo comienza a simular el primer día, siendo la unidad de tiempo. En el Proceso Consumo se calcula el consumo de materia seca y consumo de energía metabolizable. En caso de existir utilización de concentrado, el modelo estima el efecto de éste sobre el consumo. El Proceso de partición de energía calcula el requerimiento de mantención, costo de cosecha, producción de leche y estima el gasto energético debido a movilización de tejido con el objeto de cubrir requerimientos de las vacas en su primer tercio de lactancia. El proceso pastizal considera varios tipos de pastizal para vacas en lactancia, en el que la disponibilidad de materia seca se actualiza de acuerdo a las tasas de crecimiento y digestibilidad del pastizal correspondiente. El modelo genera una salida de datos, definido por: manejo de potreros, uso de concentrados, consumo, producción de leche y datos económicos. El modelo estima la producción de leche en función de diferentes alternativas de manejo y alimentación, pudiendo seleccionarse la alternativa más viable, biológica y económicamente. Para ello, el modelo permite experimentar aleatoriamente con 5 repeticiones y cuatro tratamientos, los mismos que representan las diferentes alternativas tecnológicas para resolver las incógnitas planteadas. Para la evaluación económica de los tratamientos, se ha propuesto el Análisis Económico de PERRIN et. al, 1974.

El lenguaje utilizado para programar el modelo fue LOTUS 123R23 para microcomputador IBM de 40 K bytes de memoria RAM.

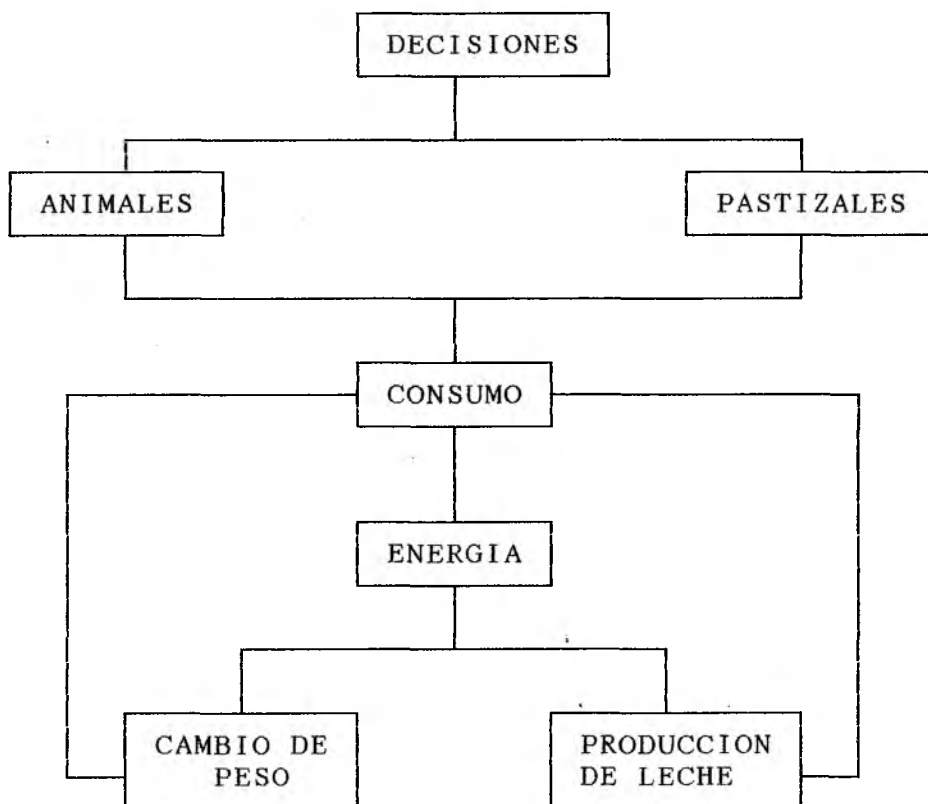


Fig. No. 2. Estructura General del Modelo de Simulación.

A continuación se detalla la estructura del modelo:

1. **Entrada de Datos**

a. **Datos de Entrada Relacionados a Pastizales**

Los pastizales son ingresados al modelo a través de un archivo de datos. Al ingresar la palabra "Potrero", automáticamente se carga en la memoria un conjunto de cinco datos, los mismos que son: tipo de pastos, disponibilidad inicial de M.S., tasa de crecimiento, digestibilidad de la materia seca y energía metabolizable, programadas para un año agrícola (Cuadros 3 y 4).

Cuadro No. 3. Datos de entrada del modelo relacionados a los Pastizales.

Nivel	Decisiones
Predio	1. Area del predio 2. Total de potreros (Número)
Potrero	Esquemas forrajeros 3. Tipo de pastizal (Nombre) 4. Disponibilidad inicial (kg de M.S./ha) 5. Tasa de Crecimiento (TACRE) 6. Digestibilidad (%) 7. Energía Metabolizable 8. Identificación No. potreros

Cuadro No. 4. Digestibilidad y Tasa de Crecimiento de los pastizales , utilizados en el Modelo.

Mes	Digestibilidad (%)	Tasa Crecimiento (kg MS/día)
Enero	66	60
Febrero	66	58
Marzo	62	55
Abril	60	52
Mayo	59	49
Junio	59	46
Julio	58	42
Agosto	56	44
Septiembre	55	45
Octubre	54	47
Noviembre	54	49
Diciembre	57	53

b. Datos de Entrada relacionados a los Animales

Cuadro No. 5. Datos de Entrada del modelo relacionados a los animales y al concentrado.

Nivel	Decisiones
Animal	1. Mes de Inicio 2. Raza del Animal 3. Peso Vivo 4. Edad 5. Rendimiento Potencial de Leche 6. Días de Preñez 7. Días de Lactancia 8. Número de Lactancia 9. Carga Animal 10. Días a Simular
Concentrado	1. kg de Materia Seca 2. Energía Metabolizable (Kcal/kg MS)

Los datos de entrada económicos, básicamente se refieren al precio de la leche (\$) y costo de producción por unidad de Materia Seca (\$).

2. Proceso de Consumo

Este proceso tiene como objetivo predecir el consumo de la materia seca del forraje de las vacas en producción bajo condiciones de pastoreo, se calcula el consumo potencial y el consumo real de forraje (DURAN, 1983).

- Consumo Potencial

El consumo potencial de forraje está determinado por cuatro características:

- El tamaño corporal de la vaca expresado por su peso vivo.
- El rendimiento potencial de leche por lactancia (RENDIPO), referido a una lactancia standard de 305 días y expresado en kg totales de leche.
- El estado fisiológico, en función de la etapa de la lactancia (FEL), indicado por el día o días específicos que se desea estimar el consumo, contando como 1 el día del parto y así sucesivamente, hasta el final del ciclo de 305 días.

- La calidad del forraje, determinado por su digestibilidad. Esto implica utilizar un factor de corrección (FADIG) del consumo potencial.

Las estimaciones de consumo en el modelo, se hicieron haciendo referencia al consumo de kg de MS por kg de peso vivo. Una vez realizada esta primera estimación, se calculó un consumo total en función del tamaño corporal del animal, valor que fue corregido posteriormente por factores de rendimiento potencial de la lactancia, digestibilidad de la MS, etapa de la lactancia y disponibilidad de MS, siendo entonces utilizadas las siguientes ecuaciones:

$$FRP = [(RENDIPO - 5200)/305] * 0.4 \quad (1)$$

donde;

FRP = Factor de corrección de consumo por rendimiento potencial

RENDIPO = Rendimiento potencial de leche por lactancia

Para el cálculo del factor de corrección por etapa de lactancia (FEL), se usa una ecuación que prevé que el máximo consumo ocurra entre las semanas 12 y 18 post parto y representa un valor aproximadamente 60% mayor que el consumo medio de la primera semana post parto.

La ecuación usada fue la siguiente:

$$FEL = EXP (-1.732 + 0.409 * \ln (X+20) - 0.0014 * X) \quad (2)$$

donde;

X = día de la lactancia
 ln = indica Logaritmo natural de
 EXP = indica e elevado a

El factor de corrección de consumo por digestibilidad (FADIG) está representado por la siguiente ecuación:

$$FADIG = 0.504 * DD - 7.67 \quad (3)$$

donde;

DD = Digestibilidad de la MS expresada en porcentaje

El factor de corrección por disponibilidad (FADIS), está dado por la relación siguiente:

$$FADIS = 1 - \text{EXP} (- 0.001664 * DM) \quad (4)$$

donde;

$$DM = \text{Disponibilidad de MS (kg/ha)}$$

Dadas las relaciones anteriores se estima el consumo potencial del forraje (COPOFO) de la siguiente manera:

$$\text{COPOFO} = [(PV/1000) * FADIG + FRP] * FEL \quad (5)$$

donde;

$$\begin{aligned} PV &= \text{peso vivo en kg.} \\ FADIG &= \text{ver ecuación 3} \\ FRP &= \text{ver ecuación 1} \\ FEL &= \text{ver ecuación 2} \end{aligned}$$

- Consumo Real de Forraje

Una vez estimado el consumo potencial de forraje, se calcula el consumo de forraje corregido por disponibilidad (COREFO) mediante la ecuación:

$$\text{COREFO} = \text{COPOFO} * FADIS \quad (6)$$

donde;

$$\begin{aligned} \text{COPOFO} &= \text{ver ecuación 5} \\ FADIS &= \text{ver ecuación 4} \end{aligned}$$

- Relación entre consumo de forraje y concentrado

La información disponible sobre el efecto del consumo de concentrado sobre el consumo de forraje en animales a pastoreo, muestra que a disponibilidades de forraje que no limitan el consumo, inevitablemente se produce una sustitución de MS del forraje por MS del concentrado, de manera que el efecto esperado de la suplementación no es siempre aditivo (DURAN, 1984).

El grado de sustitución es aparentemente proporcional a la digestibilidad del forraje. La ecuación que mejor representó la relación fue:

$$CF = 1.27 - 0.0154 * DD \quad (7)$$

donde;

$$CF = \text{Efecto aditivo neto en consumo de MS por kg de consumo de concentrado.}$$

DD = Digestibilidad del forraje.

Cuando existe disponibilidad limitante, el uso de concentrados actúa de modo complementario sobre el consumo voluntario de materia seca. Para efectos del modelo, se considera disponibilidad limitante, cuando FADIS es menor que 0.984, en cuyo caso se calcula de la siguiente manera:

$$DI = COPOFO - COREFO \quad (8)$$

donde;

DI = Efecto complementario del concentrado.
COPOFO = ver ecuación 5
COREFO = ver ecuación 6

El modelo toma en cuenta dos casos cuando la disponibilidad es limitante: cuando el efecto complementario del concentrado es menor a los kg de MS del concentrado y cuando el efecto complementario del concentrado es mayor o igual a los kg de MS del concentrado. En ambos casos se estima el consumo total de MS (CM).

Si $DI < MC$, se tienen las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} EA &= (MC - DI) * CF \\ ES &= (MC - DI) * (1 - CF) \\ CR &= COREFO - ES \\ CM &= COREFO + DI + EA \end{aligned}$$

donde;

EA= Efecto aditivo del concentrado
ES= Efecto sustitutivo del concentrado
CR= Consumo real de MS del forraje
CM= Consumo total de MS
MC= kilos de materia seca de concentrado suministrado por día

Si $DI > MC$, se tienen las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} EA &= ES = 0 \\ CR &= COREFO \\ CM &= COREFO + MC \\ DI &= MC \end{aligned}$$

En ambos casos, se tiene que el consumo total, como porcentaje del peso (CX), estará dado por:

$$CX = (CM / Kg) * 100 \quad (9)$$

donde;

CX = Consumo total de MS
CM = Consumo de MS del concentrado

Se considera disponibilidad no limitante cuando FADIS es mayor o igual a 0.984. En este caso, las relaciones se describen de la siguiente forma:

DI = 0
EA = FADIS * MC
ES = MC * (1 - FADIS)
COREFO = COPOFO
CR = COPOFO - ES
CM = COPOFO + MC * FADIS

El consumo total de materia seca, como porcentaje del peso vivo (CX), se estima de igual manera.

3. Proceso de Partición de la Energía

El objetivo de este proceso es estimar los requerimientos de energía metabolizable para mantenimiento, producción de leche y costo de cosecha. El modelo no considera los requerimientos de proteína, aún cuando sería deseable su inclusión sobre todo cuando se trata de vacas de alto nivel de producción de leche.

a. Requerimiento de Mantención

En este modelo se estima el requerimiento de mantención (RM) de un animal en lactancia de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$RM = 120 * PV^{0.75} \quad (10)$$

donde;

PV = Peso vivo del animal
120 = Kcal. de energía que gasta un animal en lactancia en catabolismo de ayuno.

b. Costo de Cosecha

El costo de cosecha (CC) corresponde al gasto de energía que hace o realiza el animal al procurar el alimento (CAÑAS y GASTO, 1974). Este costo depende del requerimiento de mantención (RM) del animal y está dado por la siguiente ecuación:

$$CC = 0.1 * RM \quad (11)$$

donde;

RM = ver ecuación 10

c. Balance Energético

Al consumir forraje , el animal consume una cantidad de energía que destina prioritariamente a satisfacer el requerimiento de mantención, evidenciando un balance entre consumo y requerimientos.

Entonces, el balance energético se estima como:

$$BE = CX * EM - RM - CC \quad (12)$$

donde:

CX = ver ecuación 9

EM = Energía total metabolizable

RM = ver ecuación 10

CC = ver ecuación 11

d. Eficiencia de la producción de leche

La eficiencia de la producción de leche (KPL) es una función de la energía metabolizable (EM) del alimento y está dada por la siguiente ecuación:

$$KPL = (0.60 * EM/1000)/4.4 + 0.42 \quad (13)$$

donde;

EM = Energía metabolizable

e. Requerimiento energético para producción de Leche

El requerimiento energético para producción de leche (REL) es una función de la producción potencial de leche (PPL) y la eficiencia de la producción de leche (KPL). En el modelo se estimó este requerimiento utilizando la siguiente ecuación:

$$REL = PPL * (0.5/KPL)*1000 \quad (14)$$

donde;

PPL = Producción potencial de leche

KPL = ver ecuación 13

f. Producción Potencial de Leche

La producción potencial de leche (PPL) está dada por una función del rendimiento o producción de leche por lactancia (RENDIPO) y el número de días de lactancia a calcular (X). La ecuación para el cálculo de esta producción potencial en el modelo, se ajustó utilizando la función de Wood (1967) a los datos de una curva de lactancia, expresando el rendimiento diario como porcentaje del rendimiento total acumulado en 305 días de lactancia.

$$PPL = RENDIPO * 0.00350369 * (X^{0.085039}) * EXP(-0.00321 * X)$$

(15)

donde;

RENDIPO = Rendimiento por lactancia
X = Día de lactancia

g. Balance energético para peso

Durante el ciclo productivo, los animales pueden ganar o perder peso. Si el consumo de energía excede los requerimientos para mantención y costo de cosecha, el excedente es depositado bajo la forma de ganancia de peso.

$$BEP = BE - REL \quad (16)$$

donde;

BE = ver ecuación 12
REL = ver ecuación 14

h. Factor ganancia peso por balance

El modelo considera que cuando el balance energético para peso es positivo y la vaca se encuentra en 100 días o más de lactancia, se realiza la siguiente ecuación.

$$FGPB = (BEP/1000) / 6.21 * KPL * 0.95 \quad (17)$$

donde;

BEP = ver ecuación 16
KPL = ver ecuación 13

El modelo calcula directamente la ganancia de peso en función de la energía neta depositada en ganancia de peso corporal y día de lactancia de la siguiente manera:

$$GP = (FGPB*FGPDL)*1.5 + FGPB \quad (18)$$

donde;

FGPB = ver ecuación 17

FGPDL= Factor ganancia de peso por día de lactancia

i. Factor pérdida de peso por balance

El modelo considera que cuando el balance energético para peso es negativo y la vaca se encuentra en el primer tercio de lactancia, el animal pierde peso corporal. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$FPPB = DL*0.035 - PVI*0.002 \quad (19)$$

donde;

DL = día de lactancia

PVI= peso vivo inicial

El modelo considera una pérdida del 5 al 10% del peso vivo entre los días 1-90 de lactancia. La pérdida de peso se calcula con la siguiente ecuación.

$$PP = FPPDL*FPPB \quad (20)$$

donde;

FPPDL = Factor de pérdida de peso por día de lactancia

FPPB = ver ecuación 19

4. Proceso de Manejo de Pastizales

Las dos actividades que realiza este proceso se relacionan directamente con:

- La actualización de la disponibilidad de Materia Seca de la pastura y,
- Los cambios de potreros.

a. Actualización de la Disponibilidad de Pasturas

El modelo prevé valores de disponibilidad de MS por ha, de manera que al primer día es necesario ingresar como un dato de entrada, la disponibilidad inicial de cada potrero. La tasa de crecimiento media mensual es expresada en el Cuadro 4.

b. Cambio de Potreros

El modelo estima el cambio de potreros, de acuerdo a la cantidad de Materia Seca residual que queda después del consumo que realizan los animales con una eficiencia de pastoreo determinada por la digestibilidad y disponibilidad del forraje así como de la carga animal estimada.

5. Datos de Salida

Son los resultados generados por el modelo y que se enumeran a continuación:

- Meses
- Potrero pastoreando
- Tasa de Crecimiento (kg MS/día)
- Digestibilidad (%)
- Concentrado
- Energía Metabolizable total (Kcal)
- Días de lactancia
- Producción de leche por día (l)
- Producción de leche acumulada (l)
- Producción de leche (l/ha/mes)
- Rendimiento potencial (l/lactancia)
- Variación de peso vivo (kg)
- Consumo Potencial (kg MS/día)
- Consumo real (kg Ms/día)
- Consumo total (kg MS/día)

Los datos de salida de la tabla de tratamientos son:

- Producción de leche acumulada (l)
- Peso final (kg)

En el aspecto económico, los datos de salida son:

- Análisis de Presupuesto Parcial
- Análisis de Dominancia
- Tasa de Retorno Marginal

2.4. Validación

La validación consiste básicamente en comparar los resultados que entrega el modelo simulado con los datos obtenidos por el sistema real.

Para efectos de este estudio, la validación se realizó para producción de leche y cambio de peso.

Como datos de entrada se utilizaron:

Datos del Animal

1.	Raza:	Holstein Friesian alta cruza
2.	Peso Inicial	530 kg.
3.	Edad	36 meses
4.	Rendimiento Potencial	5500 kg.
5.	Días de preñez	0
6.	Día de lactancia	5
7.	Número de lactancia	2
8.	Carga Animal	1.70 U.B./ha
9.	Duración de la lactancia	305
10.	Días a simular	305

Datos de Concentrado

1.	Materia Seca (Kg)	6 kg. el primer mes de lactancia
2.	Materia Seca (kg)	5 kg. el segundo mes de lactancia
3.	EM / kg de MS	2600

Datos del Pastizal

1.	Disponibilidad (kg MS/ha)	2100
2.	Digestibilidad (%)	Ver Cuadro No. 4
3.	Tasa de Crecimiento (kg MS)	Ver Cuadro No. 5

En la figura No. 3, se puede observar que el cambio de la producción de leche experimentado por el animal en el modelo físico y los datos entregados por el modelo simulado, siguen satisfactoriamente un patrón de variación del rendimiento de leche. Para el caso de la producción de leche, en el Cuadro No. 6 se puede observar un error porcentual medio del 0.89 % y una Desviación Standar del 6.48 % entre los datos entregados por el modelo físico y los datos del modelo simulado. El EPM obtenido de 0.89 % indica que en términos promedios el modelo simulado sobreestima la producción de leche, aunque las variaciones no son importantes.

Así, los valores estimados por el modelo siguen en forma satisfactoria la tendencia de los valores experimentales cuyas medias no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

Todas estas relaciones estadísticas, demuestran que el modelo presenta un buen ajuste respecto a lo que ocurre en la realidad, lo que se confirma por el hecho que la producción de leche promedio obtenido por el modelo físico y el modelo simulado fueron de 16.68 y 16.83 kg., respectivamente.

Cuadro No. 6. Comparación de Medias, EPM y DEM de las estimaciones de Producción de Leche.

	Modelo Físico	Modelo Simulado
Media (kg/vaca/día)	16.68 a (1)	16.83 a (1)
EPM	0.89 %	
DEM	6.48 %	

(1) Valores con la misma letra no difieren significativamente (P>0.05)

Para el caso de Peso Corporal, se observa un buen ajuste entre los datos. En la figura No. 4, se puede observar la tendencia en el peso corporal, cuyo Error Porcentual del Modelo fue de 0.24 % y una Desviación Estandar de 0.70 %. Estas cifras demuestran la bondad de ajuste entre los datos del modelo físico y el modelo simulado, Cuadro No. 7. El peso promedio entregado por el modelo físico y el simulado fue de 503.8 y 505.0 kg., respectivamente.

Cuadro No. 7. Comparación de Medias, EPM y DEM de las estimaciones de Peso.

	Modelo Físico	Modelo Simulado
Media (kg)	503.8 a (1)	505.0 a (1)
EPM	0.24 %	
DEM	0.70 %	

(1) Valores con la misma letra no difieren significativamente (P>0.05)

Los valores estimados por el modelo sigue en forma satisfactoria la tendencia de los valores experimentales. Las medias no fueron estadísticamente significativas (P > 0.05).

En las Figuras No. 3 y 4 se presenta la dispersión de los puntos obtenidos en el modelo simulado y los observados en el modelo físico. La recta trazada tiene pendiente 1 e intercepto 0.

2.5. Inferencias

Una vez que se ha validado el modelo y por lo tanto, este existe como tal, se procedió a realizar las respectivas inferencias, las mismas que se basaron en la experimentación con el modelo.

Para el presente estudio se planteó el siguiente experimento:

a. Título del Experimento

Evaluación de diferentes dietas alimenticias en animales de la raza Holstein Alta Cruza bajo pastoreo.

b. Introducción

Los pastos constituyen la base de la dieta alimenticia del ganado bovino de leche. El módulo de la E.E. Santa Catalina basa su producción en el pastoreo de praderas compuestas de Rye grass, Kikuyo y Trébol blanco, y la utilización de cantidades variables de concentrado que se administran durante el primer tercio de lactancia a aquellas vacas que superan los 11 litros de leche. No obstante se desconoce el o los niveles de suplementación energética económicamente más adecuados para mantener un alto nivel de producción de leche.

En el presente experimento se plantea la hipótesis de que el manejo adecuado de pasturas que generan altas disponibilidades de forraje y con el uso de cantidades reducidas de concentrado al inicio de la lactancia, se puede obtener niveles rentables de producción de leche, para cuyo efecto se determinó el siguiente objetivo:

c. Objetivo

Evaluar biológica y económicamente la eficiencia de 4 dietas alimenticias, en animales de la Raza Holstein Alta Cruza bajo pastoreo rotacional.

d. Materiales y Métodos

Para el presente experimento se utilizaron animales de la raza Holstein Alta Cruza de 3 años de edad.

Los factores en estudio fueron las diferentes dietas alimenticias basadas en una mezcla de Rye grass, Kikuyo y Trébol blanco, así como cantidades variables de concentrado.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- T1. Rye grass + Kikuyo + Trébol blanco
6 kg. de concentrado en el primer mes de lactancia
5 kg. de concentrado en el segundo mes de lactancia
Disponibilidad de MS: alta (2700 kg/ha)
- T2. Rye grass + Kikuyo + Trébol blanco
Disponibilidad de MS: alta
- T3. Rye grass + Kikuyo + Trébol blanco
3 kg. de concentrado en el primer mes de lactancia
2 kg. de concentrado en el segundo mes de lactancia
1 kg. de concentrado en el tercer mes de lactancia
Disponibilidad de MS: baja (1700 kg/ha)
- T4. Rye grass + Kikuyo + Trébol blanco
Disponibilidad de MS: baja

Se utilizó un Diseño Experimental de Bloques Completos al Azar, con 4 tratamientos en estudio. Cada tratamiento contó con 5 repeticiones. La unidad experimental estuvo compuesta por un animal de la raza Holstein Friesian Alta Cruza.

La variable a evaluarse fue: Producción de leche acumulada por lactancia .

2.6. Resultados y Discusión

Los resultados de producción de leche que se expresan en el Cuadro 8, demuestran diferencias entre tratamientos ($P < 0.01$), lo que significa que los tratamientos aplicados se comportaron de diferente manera y por lo tanto las diferentes alternativas propuestas difieren de la alternativa utilizada actualmente en la E.E. Santa Catalina. La prueba de Tukey al 5%, permite observar 4 rangos de significación, encontrándose en el primer rango (a) el tratamiento 1, con un promedio de 5131.96 kg. de leche por Lactancia. En el segundo rango (b) se presenta el tratamiento 2 con 4886.32 kg. de leche por Lactancia; en el tercer rango (c) se encuentra el tratamiento 3 con 3761.64 kg. de leche por Lactancia y, en el último rango (d) se encuentra el tratamiento 4 con 3511.41 kg. de leche por Lactancia.

Cuadro No. 8. Análisis de Variancia y Prueba de Tukey al 5% para la variable Producción Acumulada de Leche por Lactancia, E.E. Santa Catalina, 1992.

F. de. V.	G.L.	C.M.	Promedio (l/lactancia)
Total	19	-----	Tratamiento 1: 5131.96a
Repeticiones	4	99ns	Tratamiento 2: 4886.32 b
Tratamientos	3	3242568**	Tratamiento 3: 3761.64 c
Error	12	4896	Tratamiento 4: 3511.41 d

Al comparar los tratamientos con baja disponibilidad de materia seca por hectárea (T3 y T4), es posible evidenciar un mejoramiento de la producción de leche que se explica por el uso estratégico de concentrado energético durante los tres primeros meses de lactancia, cuyo efecto aditivo aparentemente se manifiesta a través de la lactancia completa, permitiendo un incremento del 7% en la producción acumulada de leche.

En relación a los tratamientos con mayor disponibilidad de materia seca por hectárea (T1 y T2), la suplementación energética con 6 y 5 Kg los dos primeros meses de lactancia procura una mayor producción de leche, equivalente a un 5% sobre el promedio del tratamiento sin suplementación, lo cual parece demostrar que a altas disponibilidades de forraje, el uso de concentrado en esas cantidades ejerce algún efecto beneficioso en la producción de leche; sin embargo, tal como se demuestra más adelante, no parece justificarse desde un punto de vista económico.

Por otra parte, el hecho de pasar de una pastura con alta disponibilidad de forraje sin uso de concentrado, a otra de baja disponibilidad con uso de concentrado, se observa una disminución en la producción de leche, agravándose aún más si no se utiliza concentrado. Luego, parece más importante procurar una mayor disponibilidad de materia seca que utilizar concentrado, lo cual se puede conseguir a través de la aplicación adecuada de fertilización y manejo del pastoreo.

Al realizar el análisis económico, el tratamiento 2 presenta una Tasa de Retorno Marginal de 5142.86 % con respecto al tratamiento 4. Esto permite anotar que por \$ 1 que se invierta para mejorar el tratamiento 4 y pasar al tratamiento 2, se obtendrá una ganancia de \$ 51.42. El tratamiento 1. presenta una Tasa de Retorno Marginal de apenas 2.49%, Cuadro 9.

Cuadro No. 9. Análisis Económico de Presupuesto Parcial, Análisis de Dominancia y Tasa de Retorno Marginal para Producción Acumulada de Leche por Lactancia, E.E. Santa Catalina, 1992.

TRAT.	B.N. (\$)	C.V. (\$)	INCREMENTO		T.R.M. (%)
			B.N. (\$)	C.V. (\$)	
1	1035.09	74.53	1.29	51.83	2.49
2	1033.80	22.70	291.60	5.67	5142.86
4	742.20	17.03	0.00	0.00	0.00

2.7. Conclusiones

- Del experimento realizado se concluye que el tratamiento T1 o testigo, representa la mejor alternativa biológica, debido a la mejor producción promedio por lactancia alcanzada, sin embargo, a altas disponibilidades de forraje y sin uso de concentrado, se alcanzan niveles rentables de leche por lactancia.
- El análisis de la tasa de retorno marginal permite concluir que la mejor alternativa económica representa el tratamiento T2, con una tasa de retorno marginal de 5142.86 %.

IV.-BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

1. AGUILAR, et. al. (1991). Simulación de Sistemas. Aplicación en Producción Animal. Poligrafiado. 25 p.
2. AGUILAR, C. (1983). Apuntes de clase de Modelos de Simulación.
3. CAÑADAS, L. (1983). Mapa Ecológico del Ecuador. MAG-PRONAREG. Quito - Ecuador.
4. DURAN, H. (1983). Modelo de Simulación para el Estudio del Manejo de Sistemas Pastoriles de producción de Leche.
5. HAZARD, S. (1984). Desarrollo de un Modelo de Simulación del Comportamiento de vacas lecheras a pastoreo con fines de Transferencia de Tecnología. Tesis Magister Scientiae. Dpto. de Zootecnia. Pontificia Universidad Católica de Chile.
6. HOLDRIDGE, R. (1964). Life zone ecology - Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
7. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS. INEC-MAG. (1974). II Censo agropecuario nacional. Quito. Ecuador.
8. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS. INEC (1982). IV Censo de población y III de vivienda. Quito, Ecuador.