

21121

Duplicado



BOLETÍN DE INVESTIGACIÓN N° 07

# MODELO DE SIMULACIÓN SISTEMA DE PRODUCCIÓN BOVINO DOBLE PROPÓSITO Piedemonte llanero

Autores

Jorge Luis Parra Arango<sup>1</sup>  
Adriana Rodríguez Rodríguez<sup>2</sup>  
Diana Milena Beltrán Bejarano<sup>2</sup>  
Héctor Guillermo Onofre  
Rodríguez<sup>3</sup>  
Guillermo Alonso Bueno Guzmán<sup>4</sup>  
Martha Teresa López Forero<sup>5</sup>  
Nelson Uribe Parra<sup>6</sup>

Julio de 2005  
Villavicencio, Meta, Colombia

<sup>1</sup> DMV. M.Sc. Salud animal. Investigador programa salud animal. CORPOICA Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio, Meta, Colombia.

<sup>2</sup> Ingenieros de sistemas. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Meta.

<sup>3</sup> MVZ. Candidato M.Sc. Desarrollo rural. Investigador programa de recursos genéticos. CORPOICA Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio, Meta, Colombia.

<sup>4</sup> Zoot. M.Sc. Investigador programa fisiología y nutrición Animal. CORPOICA Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio, Meta, Colombia.

<sup>5</sup> Economista. Especialista. Programa Socioeconomía. CORPOICA Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio, Meta, Colombia.

<sup>6</sup> Ingeniero de sistemas. Docente Politécnico Gran Colombiano. Bogotá.

Esta publicación fue posible gracias a los recursos de cofinanciación del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología «PRONATTA» del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y es un producto del proyecto «Ajuste de un modelo productivo con base en aplicaciones tecnológicas y sostenibles para los pequeños y medianos productores del Piedemonte del Meta», ejecutado por CORPOICA C.I. La Libertad, en el período 2002- 2003, con la colaboración del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Llanos.

#### Autores

Parra A., J. L.  
Rodríguez R., A.  
Beltrán B., D. M.  
Onofre R., H. G.  
Bueno G., G.A.  
López F., M.T.  
Uribe P., N.

2

Con la colaboración de los siguientes investigadores de CORPOICA C.I. La Libertad:

MVZ. MSc. Freddy García Castro; I.A. Cand. Ph.D. Álvaro Rincón Castillo;  
I.A. Raúl Antonio Pérez Bonna; Zoot. Oscar Pardo Barbosa; I.A. Otoniel Pérez López;  
MVZ. José Edwin Mojica; , MV. Espec. Carlos Ernesto Villar Cleves.

ISBN: 958-97803-0-X

Publicación CORPOICA La Libertad

Julio de 2005

Villavicencio, Meta, Colombia

Primera edición

Código: 02.01.07.08.33.05

Edición: M.V.Z.; M.Sc. César Augusto Jaramillo Salazar

Programa Transferencia de Tecnología. CORPOICA C.I. La Libertad

Tiraje: 600 ejemplares

diseño: Mary Yaneth Rodríguez V.

Impresión: Litografía La Bastilla, Bucaramanga



## PRESENTACIÓN

---

El sistema de Producción Bovina, es y seguirá siendo el principal renglón productivo de la producción agropecuaria de los Llanos orientales de Colombia. El reto de la investigación y la transferencia de tecnología es el de ofrecer alternativas para mejorar los índices de producción por unidad de área.

Sin lugar a dudas, estos aportes tecnológicos modifican el sistema. Con el propósito de cuantificar la variabilidad de éste con la incorporación de tecnología, se ha diseñado un modelo de simulación que permite valorar los posibles resultados del cambio tecnológico, herramienta fundamental para la toma de decisiones.

CORPOICA entrega en esta publicación al sector productivo, particularmente a los actores del sistema de producción doble propósito del Piedemonte llanero, un software de simulación con y sin escenarios de intervención tecnológica, donde se pueden plantear opciones hipotéticas con diversos arreglos poblacionales, para orientar la optimización del recurso animal y forrajero, aspecto que sería difícil, prolongado y costoso con procesos de investigación presentes en tiempo y espacio.

El modelo de simulación, perfectible como casi todo el software ganadero disponible, se basó en los resultados de investigación, ajuste y transferencia de tecnología que CORPOICA desarrolló en el campo en los últimos 10 años y contó con la cofinanciación del programa nacional de transferencia de tecnología (PRONATTA) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Está ahora en manos de profesionales y productores utilizarlo e irlo perfeccionando en sus esquemas y ecuaciones para acercarlo cada vez más a la dinámica realidad del Sistema de producción doble propósito del Piedemonte llanero.

JAIMETRIANARESTREPO.  
Director CORPOICA C.I. La Libertad.



## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>MODELOS DE SIMULACIÓN</b>	<b>8</b>
El concepto de simulación	9
Ventajas de los modelos de simulación	9
Estructura de los modelos de simulación	9
Clasificación de los modelos de simulación	11
<b>ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN</b>	<b>12</b>
Metodología	13
Jerarquía	13
Límites del sistema	13
Componentes del modelo	13
Variables	15
<b>SINTESIS DEL SISTEMA</b>	<b>16</b>
Consumo y carga animal	17
Suelos	19
Mastitis	20
Dinámica de la población bovina	21
Ecuaciones de producción	22
Ecuación de crecimiento de terneros en praderas degradadas	22
Ecuación de crecimiento de novillos(as) en praderas degradadas	22



	Pág
Ecuación de crecimiento de machos en ceba en praderas degradadas	23
Ecuación de producción de leche en praderas degradadas	23
Ecuación de crecimiento de novillos(as) en praderas mejoradas	24
Ecuación de crecimiento de machos en ceba en praderas mejoradas	24
Ecuación de producción de leche en praderas con cultivos forrajeros	25
Ecuación de producción de leche en praderas mejoradas	25
Modelo económico del sistema de producción	25
<b>FORMULACIÓN DEL PROGRAMA</b>	<b>28</b>
Funcionamiento del modelo de simulación	28
Especificaciones del ambiente de desarrollo	29
Características del producto	29
<b>VERIFICACIÓN Y VALIDACION DEL MODELO</b>	<b>31</b>
Experimentación con el modelo	31
<b>RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO DE SIMULACIÓN</b>	<b>34</b>
Datos de entrada	34
Ejecución de la Simulación	36
Escenario 1. Simulación en condiciones iniciales	37
Escenario 2. Simulación con la alternativa de cultivos forrajeros	44
Escenario 3. Simulación con la alternativa de mejoramiento de Praderas	46
Análisis comparativo de resultados en los diferentes escenarios	50
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>64</b>



## INTRODUCCIÓN

El sistema de producción bovino doble propósito se constituye en uno de los más importantes de la ganadería colombiana, por los volúmenes de leche y carne que suministra a la sociedad, por la población bovina que lo compone, por estar situado en todos los pisos térmicos con énfasis en climas cálidos y templados, por su importancia social debida a la cantidad de productores y familias vinculadas a la actividad en forma directa e indirecta, como empleo familiar y/o contratado, por su eficiente aprovechamiento del espacio para la producción y su contribución a la salud y desarrollo de la sociedad colombiana.

6

Los sistemas de producción bovinos revisten variabilidad y cierta complejidad lógica, que puede plasmarse en un modelo conceptual, capaz de entenderse en sus interrelaciones y de formularse en una secuencia matemática, que genere salidas sencillas y útiles, que permitan vislumbrar resultados probables, con límites racionales, difíciles de ejecutar en condiciones reales.

Con el anterior propósito se desarrolló un proyecto de investigación que recogió en campo, los ajustes de soluciones tecnológicas desarrolladas en los centros de investigación, con el fin de simular predios sin adopción tecnológica y con adopción de soluciones sencillas como: renovación y establecimiento de praderas, introducción del binomio forrajero caña-Cratylia y el control de mastitis subclínica. El modelo tiene, como es lógico, un módulo de rentabilidad técnica y financiera de las soluciones tecnológicas simuladas o de la situación sin innovación tecnológica, adicionada de una sección de actualización de precios de insumos y mano de obra.

El modelo fue desarrollado entre el Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Llanos y el Programa Regional de Investigación y Transferencia de Tecnología Pecuaria de CORPOICA del Centro de Investigación La Libertad. Se emplearon herramientas como el enfoque sistémico y la metodología de análisis de sistemas, para los procesos de aprendizaje, planeación, diseño y experimentación con un modelo de producción complejo como es el sistema bovino doble propósito del Piedemonte Llanero.



El modelo de simulación evalúa cualitativa y cuantitativamente alternativas de producción en el sistema bovino doble propósito. Para su desarrollo se construyeron escenarios característicos de las principales estructuras del sistema, integrando los componentes y las relaciones biológicas, sociales y económicas más relevantes que suceden al interior del mismo. El usuario podrá emplear estos escenarios para realizar experimentos que le permitan la toma de decisiones sobre la (s) alternativa más factible (s) y adecuada(s) para cada caso.

El modelo lógico-matemático desarrollado para representar el sistema, ha sido el resultado de las investigaciones desarrolladas por CORPOICA en el centro de Investigación La Libertad y en las fincas de los productores, por profesionales de diversas áreas del conocimiento pecuario, incluyendo la ingeniería de sistemas, logrando así, generar un software de simulación perfectible, que es la primera herramienta computacional para la ganadería de Los Llanos Orientales de Colombia.

Como base del modelo y del estado del sistema de producción de ganado de doble propósito, se tomó el trabajo efectuado por CORPOICA «*Modelo de Asistencia técnica integral pecuaria para pequeños y medianos productores del sistema de producción doble propósito del Piedemonte llanero*» (Parra J.L. y col. 2000), cofinanciado por el Programa Nacional de Transferencia de tecnología Agropecuaria, Pronatta, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

El propósito de este proyecto es plantear alternativas de producción para mejorar el sistema productivo existente y no sustituirlo por uno diferente, porque el productor no cuenta con la capacidad de inversión que requiere un cambio de actividad económica, además pertenece a una cultura de vocación ganadera de la cual deriva sus ingresos, donde la relación entre el productor, su familia, su tierra y sus animales es muy cercana.

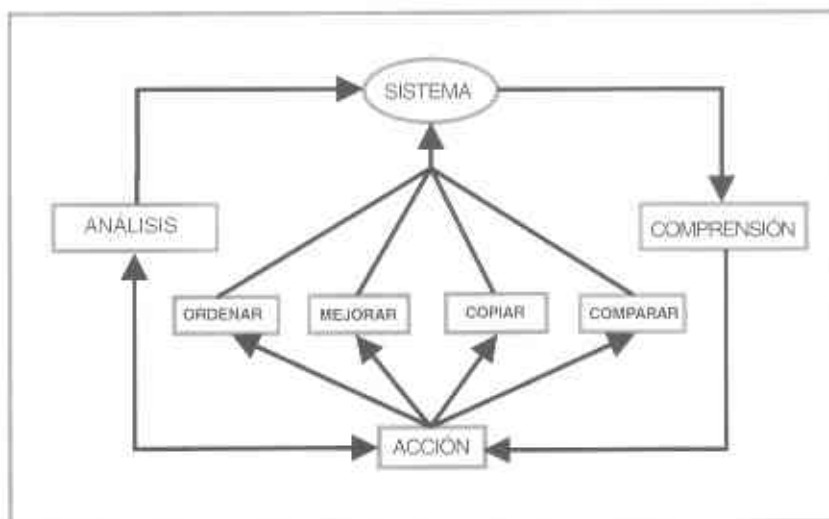


## MODELOS DE SIMULACIÓN

El concepto más importante dentro de la teoría general de sistemas es el de sistema. El término cubre una amplia gama del mundo físico, biológico y social para el cual existen numerosas definiciones.

«Un sistema es un grupo de componentes que pueden funcionar recíprocamente para lograr un propósito común, los cuales son capaces de reaccionar juntos al ser estimulados por influencias externas» (Speeding, 1997).

Todos los sistemas poseen dos características: estructura y función. La estructura está relacionada con el arreglo de los componentes que lo forman y la función con *cómo* actúa el sistema (FAO, 2003). La Figura 1 muestra el significado y la meta de un enfoque de sistemas.



Fuente: [www.fao.org](http://www.fao.org) 2003

Figura 1. Metas de un enfoque por sistemas



## EL CONCEPTO DE SIMULACIÓN

La simulación, constituye un soporte indispensable para el proceso de construcción del modelo en sus diferentes aproximaciones (niveles de agregación), ya que ella aporta imágenes (comportamiento de cada variable) que van indicando al modelador que tan acertado esta en la representación matemática de la realidad. Así mismo, la simulación es la herramienta para la validación final de un modelo, el análisis de sensibilidad y en general para la experimentación con propósitos de conocimiento o de definición de estrategias de control o intervención sobre la realidad.

## VENTAJAS DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

Según Ruiz y Oregui, (2002), los aspectos que hacen que los modelos de simulación constituyan una herramienta de gran utilidad de la investigación son:

- ▼ Posibilitar el análisis de un determinado sistema bajo situaciones en las cuales la experimentación no es factible, principalmente por el costo que ella supondría en recursos humanos, económicos y de tiempo.
- ▼ Facilitar el estudio de los efectos a largo plazo, siendo el investigador quien determina los límites temporales de la simulación.
- ▼ Permitir la incorporación de elementos de incertidumbre, intrínsecos por otra parte a los sistemas biológicos.
- ▼ Trabajar de manera simultánea con gran cantidad de variables.
- ▼ Generar cantidades importantes de resultados y datos en poco tiempo.
- ▼ Su construcción induce al investigador a hacer un estudio objetivo del sistema.

## ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

Según el marco general, provisto por la metodología del análisis de sistemas, (Aguilar, C., 2000), se pueden enumerar los elementos que conformarán la estructura de un modelo de simulación, que consistirá en alguna combinación de los siguientes elementos:

**Componentes.** Por componentes se entiende las partes que constituyen el todo y que, una vez reunidas de alguna forma representan el sistema de interés. La forma de juntar componentes mediante relaciones regulares no es única y, por lo tanto, los mismos componentes relacionados de manera distinta, con otro fin específico, pueden conformar sistemas distintos. A su



vez, la descomposición de un todo en componentes es recursiva: un componente puede a su vez ser descompuesto en elementos constituyentes formando también un subsistema.

**Variables.** Una variable es la medida de un atributo de un componente. Generalmente estará en una función matemática, que le impondrá la forma de su variación relativa. Las variables pueden clasificarse en exógenas y endógenas.

**Las variables exógenas,** son aquellas independientes del sistema, se les denomina también variables de entrada, actúan sobre el sistema, pero el sistema *no actúa sobre ellas*.

**Las variables endógenas,** son aquellas generadas por el sistema, se denominan también variables de estado, cuando indican algún estado particular de la misma variable, de un componente o del sistema.

También se denominan variables de salida, cuando salen del sistema o cuando explícitamente se les da dicha denominación con algún objetivo de control.

**Parámetros.** Los parámetros son valores de variables que se hacen constantes de acuerdo a un criterio u objetivo específico, o bien, pueden considerarse valores que el operador del modelo asigna en forma arbitraria.

**Relaciones funcionales.** Las relaciones funcionales son aquellas funciones matemáticas que juntan variables y parámetros de tal forma que pueden describir el funcionamiento dentro de un componente o entre componentes del sistema.

**Constricciones y restricciones.** Las constricciones son las limitaciones que imponen los valores de las variables, de tal forma que demarcan el límite del sistema. Las constricciones están generalmente impuestas por la naturaleza del sistema y características de los elementos del modelo. *Las restricciones son las limitaciones de operación que impone una variable, en un solo sentido, sin afectar los límites del sistema.* Una restricción puede ser impuesta por el propio diseñador del sistema o estar dada por la naturaleza de la variable.

**Criterio de funcionamiento.** El criterio de funcionamiento es una sentencia explícita de los objetivos o fines del sistema, además de la forma en que será evaluada la consecución de ellos.



## CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

---

Se han realizado, algunas clasificaciones dicotómicas que sirven adecuadamente a este propósito, (Hoover, V. y Perry, F., 1997), donde los modelos de simulación pueden clasificarse como:

▼ **Discretos o continuos.** La clasificación de modelos discretos o continuos se refiere al tipo de variable que se usa en el modelo. Una variable continua es aquella que puede tomar como valor cualquier número real. En cambio, una variable discreta es aquella que está limitada a algunos valores especificados o a la presencia o ausencia de un atributo.

▼ **Determinísticos o estocásticos.** Son modelos que a partir de un grupo de variables elaboran una serie de predicciones que se pueden entender como «definitivas». Se conocen como modelos estocásticos los que introducen elementos de incertidumbre y de aleatoriedad en el comportamiento del sistema.

▼ **Estáticos o dinámicos.** Un modelo es dinámico si los valores de sus variables cambian con el tiempo. lo cual presupone que debe estar relacionada con otras variables y por ende, estas varían en función del tiempo. Por otro lado, un modelo será estático si los valores de sus variables no cambian con el tiempo.

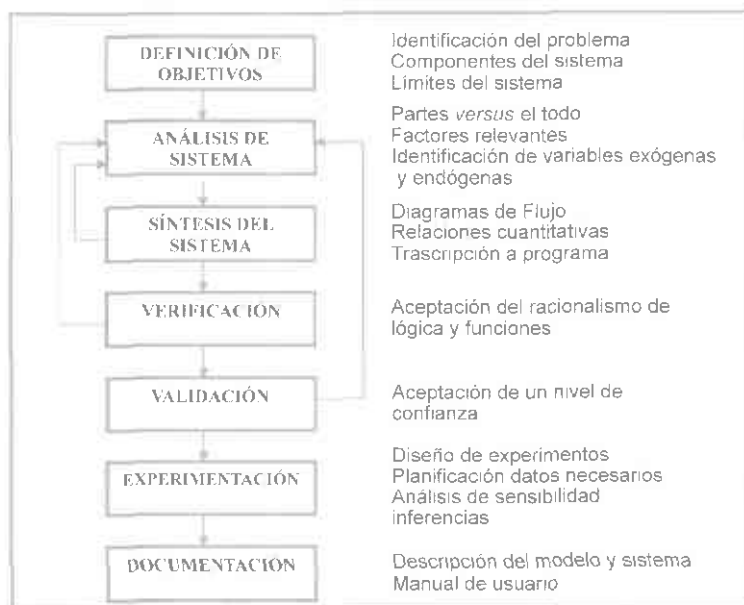
▼ **Con o sin retroalimentación.** El concepto de retroalimentación en un modelo está determinado por su estructura. Un modelo sin retroalimentación es aquél que no tiene implícito que un valor de salida del modelo vuelva como valor de entrada, modificando de dicha forma las futuras salidas. En cambio, un modelo con retroalimentación tiene previsto poner el valor de salida como nueva entrada.



## ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Es necesario tener un esquema básico para el desarrollo de un modelo de simulación, de tal forma que denote explícitamente diferentes etapas de control, como se aprecia en la Figura 2.

Los sistemas agropecuarios son ecosistemas modificados por el hombre para satisfacer necesidades socioeconómicas. Se definen como sistemas capaces de mantener, a través de los años, niveles aceptables de productividad biológica y económica, preservando el ambiente y los recursos naturales y satisfaciendo requerimientos impostergables de la sociedad.



Fuente: Aguilar, G. C. 1997

**Figura 2. Etapas en la elaboración de un modelo de simulación**

El objetivo de un sistema de producción bovino doble propósito es producir leche y carne. por tanto, las curvas de producción de leche y el crecimiento de los animales son los atributos de mayor importancia en el proceso de modelación.



## METODOLOGÍA

**Jerarquía.** La captura de información inicial para alimentar el modelo se realiza a nivel de finca, para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: localización del predio, aspectos biofísicos de la finca (recursos forrajeros, recurso animal, alimentación y nutrición, salud, producción de leche, etc.), mano de obra, infraestructura y equipos. Esta información es necesaria para determinar estrategias de gestión para adoptar alternativas tecnológicas de producción.

**Límites del sistema.** Los límites que presenta el modelo son:

- ▼ El modelo está dirigido a pequeños y medianos productores del sistema de producción doble propósito, del Piedemonte llanero de Arauca, Meta, Cundinamarca y Casanare.
- ▼ Se consideraron dos épocas climáticas: la época seca, que se presenta entre diciembre y marzo y la época lluviosa, que se extiende de abril a noviembre. Estas épocas influyen sobre la disponibilidad del forraje, la producción y los precios de venta de la leche y de los animales.
- ▼ Este modelo no considera los casos donde el productor suplementa en forma ocasional o permanente.
- ▼ Se tuvo en cuenta una sola especie forrajera, *Brachiaria decumbens*, por ser la especie dominante en la región.
- ▼ El sistema bovino doble propósito del Piedemonte llanero, aparece como un «mosaico» racial, rico en genes. Las razas o cruces, no se tuvieron en cuenta.
- ▼ Se consideran los grupos de edad que se definen en el Anexo 1.

### Componentes del modelo

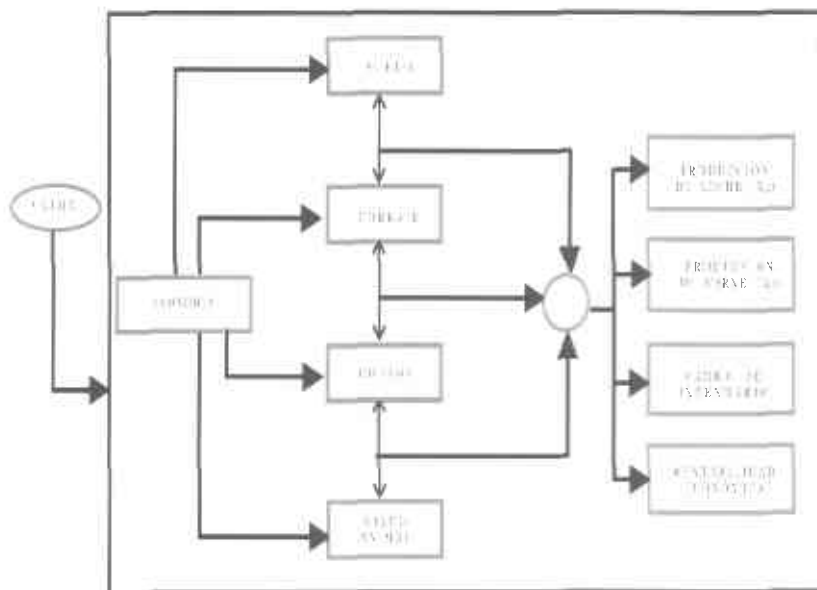
La Figura 3 explica el diagrama conceptual del sistema, donde se observan cinco componentes, a saber: el componente animal (bovino), la salud animal, el forraje, el suelo y el componente económico, los cuales representan en mayor proporción el sistema.

El componente bovino, está estrechamente relacionado con el componente forrajero, debido a que determinados eventos que ocurren en los animales como: la producción de leche, la ganancia de peso, la lactancia, entre otros, están interrelacionados y se ven afectados por la disponibilidad y consumo de forraje.

El componente de salud animal, está relacionado con el componente bovino



y el componente económico, puesto que evalúa cuantitativa y económicamente los eventos de mastitis y mortalidad por grupos de edad, que son los que causan mayor impacto en la producción de leche y carne en el sistema bovino doble propósito del Piedemonte llanero.



Fuente: Rodríguez A y Botrán D, 2004

**Figura 3. Diagrama conceptual del sistema de producción bovino doble propósito del Piedemonte llanero.**

El suelo presenta una influencia directa sobre la dinámica del crecimiento del forraje. Según los nutrientes y las características biológicas, físicas y químicas que lo componen.

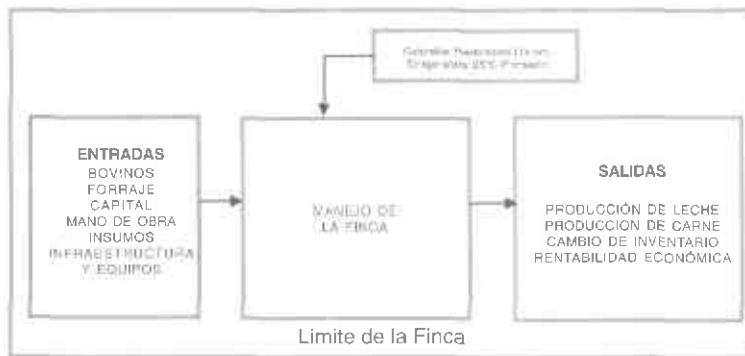
El componente económico evalúa los recursos del productor en su finca, que están representados principalmente por los componentes bovino y forrajero.

Teniendo en cuenta las interacciones de los componentes, se encuentra que:

- ▼ Las salidas que se obtienen son: producción de leche, producción de carne, cambio de inventario y rentabilidad económica.
- ▼ El cambio de inventario describe la composición del rebaño en una finca al finalizar el período de simulación.
- ▼ La rentabilidad económica representa las ganancias ó pérdidas generadas en la finca y está determinada por las interacciones biológicas y económicas que suceden dentro del sistema.



▼ Las entradas del sistema están representadas por: los bovinos, el forraje, el capital, la mano de obra y los insumos tales como los fertilizantes, medicinas, combustibles y lubricantes. Figura 4.



Fuente: Rodríguez y Beltrán 2004

Figura 4. Entradas, procesos y salidas del sistema doble propósito del Piedemonte llanero.

Las alternativas planteadas, incluyeron el establecimiento y uso de caña y Cratylia, útiles en la nutrición animal, y el adecuado aprovechamiento y mejoramiento de praderas mediante los procesos de renovación, establecimiento y fertilización.

### Variables

Con base en la información del sistema se definieron las variables exógenas o de entrada que sirven para describir aquellos efectos sobre el sistema. Anexo 2. Las variables endógenas o de estado (Anexo 3) y las variables que proporcionan información general. Anexo 4.

**Variables de salida.** Corresponden a los egresos de la finca, representados en los kg de carne y leche, las ganancias ó pérdidas anuales obtenidas por la relación costo/beneficio, que sucede dentro del proceso productivo, y el cambio de inventario que representa la evolución de la población bovina a lo largo del período de simulación. Tabla 1.

Tabla 1. Variables de salida del sistema de producción bovino doble propósito del Piedemonte llanero.

Variable	Unidad
Producción de leche	Kg/añual
Peso Final	Kg/añual/grupo etáreo
Cambio de Inventario	Kg/añual/grupo etáreo
Margen Bruto	\$/ añual
Margen Neto	\$/ añual
Rentabilidad Económica	\$
Relación Beneficio/Costo	

Fuente: Rodríguez y Beltrán 2004

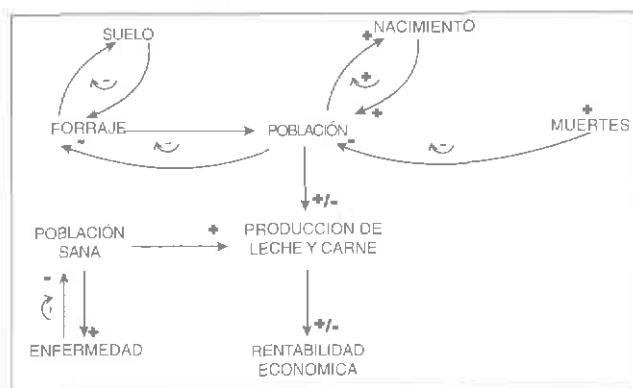


## SÍNTESIS DEL SISTEMA

La síntesis del sistema se refiere a la organización o abstracción de los componentes relevantes del sistema doble propósito en un sistema lógico. Formaron parte de la síntesis las siguientes actividades:

- ▼ Elaboración de diagramas causales y de flujo de los componentes del sistema.
- ▼ Identificación y preparación de los datos necesarios para el desarrollo del modelo y su reducción a una forma apropiada
- ▼ Especificación de la forma en que las variables y componentes del sistema se relacionan, expresada en forma cuantitativa
- ▼ Transcripción del sistema lógico diseñado para el modelo a un lenguaje de programación adecuado para el problema.

En la Figura 5 se presenta el diagrama causal y conceptual donde se definieron las relaciones entre los elementos más importantes del sistema de producción, que determinan su comportamiento y la especificación de la forma en que las variables se relacionan, expresadas en forma matemática. El conjunto de estas relaciones (ecuaciones) conformaron el modelo representativo del sistema en estudio.



Fernández Rodríguez A y Beltrán D. 2004

Figura 5. Diagrama causal del sistema doble propósito del Piedemonte llanero.



En la medida en que los nutrientes del suelo estén presentes en disponibilidad y concentraciones apropiadas, el forraje crece en mayor cuantía por hectárea, lo que permite alimentar mayor número de animales en una determinada área; pero si la población aumenta desmedidamente y no se ejerce un control sobre ella, la disponibilidad de forraje disminuye, ocasionando la degradación de la pradera y posteriormente del suelo, debido a que en éste empieza a disminuir la cantidad de nutrientes necesarios y se empiezan a dar alteraciones físicas, por pisoteo y compactación, que repercuten en la disponibilidad y calidad del forraje, Figura 5.

La dinámica poblacional del sistema está representada en la relación causal nacimientos-población-muertes. El número de nacimientos depende de la población y a su vez la población varía con los nacimientos. Esta relación presenta un bucle positivo: a más nacimientos, más población bovina, Figura 5.

De forma análoga, se tiene el bucle población-muertes, con la diferencia de que este es negativo y origina un decrecimiento progresivo: a más población de bovinos, mayor el riesgo de enfermedad y de muerte, por el incremento de la densidad y cambios en la forma de producción; a su vez el incremento en la frecuencia de decesos y descartes afecta negativamente la población, Figura 5.

También se distingue en el diagrama, la relación causal población-producción de leche y carne. A más ó menos población de bovinos la producción de leche y carne se dará en mayor ó menor cuantía por hectárea por año.

Finalmente, la producción de carne y leche, en relación con los costos, determina la rentabilidad económica del sistema doble propósito, a mayor ó menor producción de leche y carne, el sistema puede ser ó no rentable.

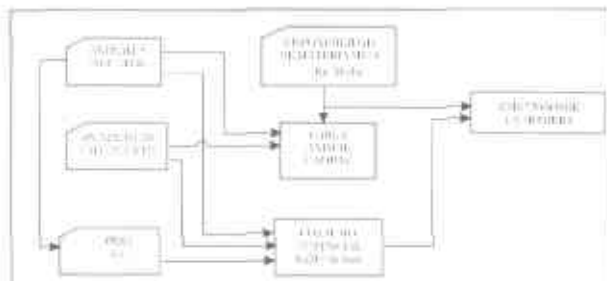
## CONSUMO Y CARGA ANIMAL

En la Figura 6 se presenta la relación causal entre el forraje y la población bovina del sistema. Las interacciones resultantes de esta relación fueron el consumo y la carga animal, las cuales determinan la eficiencia del uso de las praderas.

En relación con el consumo, existe una relación directa entre la cantidad y calidad de forraje que consume el animal y su peso. Con alimentos cuyo consumo está limitado por mecanismos físicos, y por consiguiente por la capacidad del rumen. Por lo anterior, las ecuaciones para determinar el consumo, tienen una fuerte restricción en el sentido de que limitan el consumo a un máximo de un 3% del peso vivo, cuando la disponibilidad no es limitante. En este sentido se estará hablando de un consumo potencial (Aguilar, C., 1997).



Pardo O. (2003), con base en la ecuación del consumo potencial y luego de revisar diversas investigaciones y experimentos, acordaron que para animales doble propósito del Piedemonte llanero el consumo se determina teniendo en cuenta el incremento de peso de los animales.



Fuente: Rodríguez y Beltrán D. 2004

**Figura 6. Diagrama de consumo y carga animal.**

Para animales adultos (toros, vacas paridas y vacas secas) del Piedemonte llanero el consumo potencial de materia seca (MS) se estimó en un 2.7% del peso vivo, es decir:

- Toros =  $0,0274 \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca por día}$  (1)
- Vacas paridas =  $0,0274 \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca por día}$  (2)
- Vacas secas =  $0,0250 \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca}$  (3)

Para animales en crecimiento (terneros (as), novillas de levante y de vientre, machos de levante y en ceba), se calculó el consumo voluntario así:

- Terneros (as) =  $((3.3130952 - (0.003547619 \times \text{peso vivo en Kg}))/100) \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca por día}$  [4]
- Novillas de levante =  $((3.3130952 - (0.003547619 \times \text{peso vivo en Kg}))/100) \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca por día}$  [5]
- Novillas de vientre =  $((3.3130952 - (0.003547619 \times \text{peso vivo en Kg}))/100) \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca por día}$  [6]
- Machos de levante =  $((3.3130952 - (0.003547619 \times \text{peso vivo en Kg}))/100) \times \text{peso vivo} = \text{kg de materia seca por día}$  [7]
- Machos en ceba =  $((3.3130952 - (0.003547619 \times \text{peso vivo en Kg}))/100) \times \text{peso vivo} = \text{Kg de materia seca por día}$  [8]

Parra y otros (2000) establecieron que la carga animal para el sistema doble propósito del Piedemonte está dada en *Unidades de Ganado Doble Propósito* (UGDP) por hectárea pecuaria. Estas unidades se calcularon teniendo en cuenta que una UGDP equivale al peso promedio de una vaca multipara (420 kg). Para los otros grupos de edad el puntaje UGDP se obtuvo al dividir el peso promedio de cada grupo etáreo sobre el peso promedio de una vaca parida, Tabla 2.



Tabla 2. Unidades de Ganado Doble Propósito (UGDP).

Grupo de Edad	Peso Promedio ( Kg)	UGDP
Vacas paridas	420	1.00
Vacas secas	357	0.85
Novilas de levante	176	0.42
Novilas de vientre	336	0.80
Machos de levante	176	0.42
<b>Machos en ceba</b>	<b>336</b>	<b>0.80</b>
Terneros	70	0.37
Toros	420	1.00

Fuente: Parra J. y ca. 2000

Se calculó el consumo mensual de la población bovina del predio, para compararlo con la disponibilidad de forraje (excluye cultivos forrajeros presentes), considerando que por *pisoteo* se pierde el 30% de la disponibilidad.

## SUELOS

Los elementos que normalmente se valoran en un análisis del suelo son: textura, pH, materia orgánica, azufre, fósforo, calcio, magnesio, aluminio, potasio, sodio y manganeso, hierro, zinc, cobre, boro. El modelo, valoró lo señalado en la Tabla 3.

Tabla 3. Elementos de química de suelos valorados.

Elemento	Concentración	Nivel	Fertilización
Fósforo (P)	< 2 ppm	Bajo	60 - 75 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
	2 - 5 ppm	Medio	30 - 60 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
	> 5 ppm	Alto	20 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
Potasio (K)	> 0.08 meq/100g	Bajo	41 - 60 kg K <sub>2</sub> O/ha
	0.09 - 0.14 meq/100g	Medio	23 - 40 kg K <sub>2</sub> O/ha cond. CDR = 20 ± 0.15 - 40
	> 0.15 meq/100g	Alto	No se aplica
Azufre (S)	< 20 ppm	Bajo	25 - 30 kg S/ha
	> 20 ppm	Alto	No se aplica
	> 0.9 meq/100g	Bajo	No se aplica
Calcio (Ca)	0.9 - 1.8 meq/100g	Medio	Según ratio Ca/Mg
	> 2 meq/100g	Alto	
Magnesio (Mg)	< 0.1 meq/100g	Bajo	Según ratio Ca/Mg
	0.1 - 0.4 meq/100g	Medio	
	> 0.5 meq/100g	Alto	

Fuente: Ferriz R. 2003.

### Relación calcio/magnesio (Ca/Mg)

La relación Ca/Mg es normal cuando está entre 2.5:1 - 4:1 y se corrige cuando es menor de 2.5:1 y mayor de 4:1.

Relación Ca/Mg	Requerimientos de Fertilización	Fertilizante
Mayor 4:1	Se aplica una fuente de Magnesio (Mg) que no contenga Calcio (Ca)	Óxido de Mg Carbonato de Mg
Menor 2.5:1	Se aplica una fuente de Calcio (Ca) sin Magnesio (Mg)	Cal agrícola Cal viva
Normal, pero el Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg) son bajos		Cal dolomítica



Si no se tiene la información del análisis del suelo, el modelo toma por defecto los valores del suelo «promedio» de la región, Tabla 4.

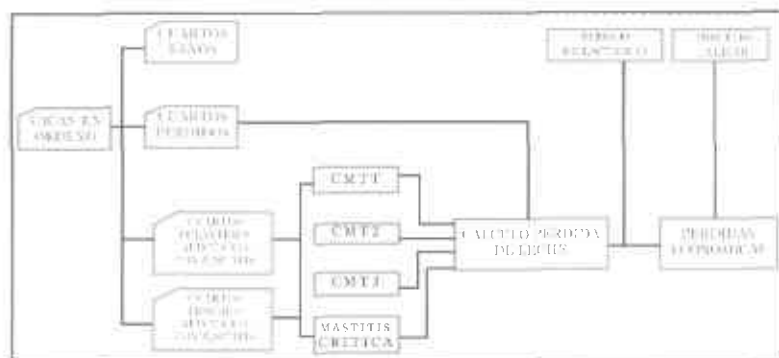
Tabla 4. Composición de un suelo «promedio» del Piedemonte llanero.

Variable	Valor
pH	4.6
Materia Orgánica (%)	2
P (ppm)	3
K (meq/100 g de suelo)	0.10
Ca (meq/100 g de suelo)	15
Mg (meq/100 g de suelo)	0.25
S (ppm)	5
Acidez Intercambiable (meq/100 gr de suelo)	3
Aluminio Intercambiable (meq/100 gr de suelo)	2

Fuente: Corpoica, Laboratorio de Suelos, 2003

## MASTITIS

La Figura 7 muestra cómo el modelo evalúa la presencia de mastitis en una finca del Piedemonte llanero. Para ello toma los cuartos enfermos traseros y delanteros afectados con (California Mastitis Test) CMTT, CMT2, CMT3 y mastitis clínica y calcula las pérdidas de leche (kg) diarias.



Fuente: Rodríguez y Britán D., 2004

Figura 7. Diagrama de flujo de mastitis subclínica en vacas del sistema doble propósito del Piedemonte llanero.

La ecuación de mastitis para las vacas de la región del Piedemonte llanero, fue propuesta por Heydemann (1996):

$$Y = 1.05 - 0.127 * x_i \quad (9)$$

Sin embargo, dado que la producción de los cuartos mamarios delanteros es diferente a la de los cuartos traseros, fue necesario ajustar esta ecuación de la siguiente forma:

\* Si los cuartos mamarios afectados son delanteros, las pérdidas diarias de leche se calcularon de la siguiente forma:





Las ecuaciones correspondientes a tasas de mortalidad, supervivencia, natalidad, inventarios, grupos de edad, etc. (12 a 48) se presentan en el Anexo 5.

## ECUACIONES DE PRODUCCIÓN

Las siguientes ecuaciones expresan la producción de carne y leche, en praderas degradadas y praderas renovadas.

Para obtener las ecuaciones de producción, se corrieron diferentes modelos de regresión (lineal, cúbica, cuadrática, logarítmica), y para cada caso se escogió el modelo que presentó el mejor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) con significancia estadística ( $p < 0.05$ ).

### ▼ Ecuación de crecimiento de terneros en praderas degradadas

Esta ecuación fue elaborada por Parra y otros (2003), y corresponde al crecimiento de terneros del sistema bovino doble propósito del Piedemonte del Meta, desde el nacimiento hasta el destete, sin suplementación. La muestra fue de 150 animales, observados en 12 fincas, con praderas degradadas del Piedemonte llanero durante tres años.

$$y = 0.4093x + 38.975 \quad [49]$$

$$R^2 = 0.8042; P < 0.01$$

Donde:

y = peso en kilogramos  
 x = días en lactancia  
 $R^2$  = coeficiente de determinación

Variable	Coficiente	Error estándar	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%
Intercepto	38.975	1.305	36.4172	41.5328
Coficiente de regresión lineal	0.4093	0.006	0.39362	0.42498

### ▼ Ecuación de crecimiento de novillos(as) en praderas degradadas.

La ecuación [50] fue propuesta por Rincón (1999) y describe el crecimiento de novillos(as) del sistema doble propósito desde el destete hasta los 2½ años, sin suplementación. El tamaño de la muestra fue de 30 novillos (as), observados en 3 fincas del Piedemonte del Meta, en un período de 1 año. La edad media de los novillos (as) al iniciar la observación fue de 19 meses.

$$y = 14.015x - 87.006; \quad [50]$$

$$R^2 = 0.996; P < 0.01$$

Donde:

y = peso en kilogramos  
 x = meses de edad  
 $R^2$  = Coeficiente de determinación



Variable	Coefficiente	Error estándar	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
Intercepto	-87.006	5.9767	-99.825	-74.1875
Coefficiente de regresión lineal	14.015	0.2102	13.563	14.465

### ▼ Ecuación de crecimiento de machos en ceba en praderas degradadas

La ecuación fue planteada por Rincón (1999) y describe el crecimiento de los machos en ceba del sistema doble propósito, sin suplementación. El tamaño de la muestra fue de 30 animales, observados en tres fincas del Piedemonte del Meta, en un período de un año. La edad de los machos en ceba al iniciar la observación fue de aproximadamente 31 meses.

$$y = 15.534x - 106.48 \quad [51]$$

$$R^2 = 0.994; P < 0.01$$

Donde:

y = peso en kilogramos

x = meses de edad

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación

Variable	Coefficiente	Error estándar	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
Intercepto	-106.48	8.5363	-124.7876	-88.17050
Coefficiente de regresión lineal	15.534	0.3003	14.889	16.177

### ▼ Ecuación de producción de leche en praderas degradadas

$$y = 5.463 + 0.0121X - 0.00008X^2 \quad [52]$$

$$R^2 = 0.892$$

Donde:

y = kilogramos de leche/día

x = días de lactancia

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación

Variable	Coefficiente	Error estándar	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
Intercepto	5.463	0.2228	5.0254	5.9002
Coefficiente de regresión lineal	0.0121	0.0034	0.0055	0.0187
Coefficiente de regresión lineal	0.00008	0.00001	0.0000034	0.0000996

La ecuación [52], formulada por Parra y otros (2003), corresponde a la producción de leche de vacas entre 2 y 4 partos. El tamaño de la muestra fue de 40 vacas en ordeño, observadas en 10 fincas del Piedemonte llanero durante un año. La producción de leche de las vacas > 4 partos se obtuvo utilizando la ecuación [52]; para las vacas de primer parto la producción fue un 10% menos sobre la misma ecuación.



Para estimar la producción de leche, el modelo toma las vacas de primer parto, de 2 a 4 partos y las vacas > 4 partos y calcula y distribuye uniformemente para cada grupo el número de partos ocurridos, teniendo en cuenta que entre noviembre y febrero ocurren el 70% de los partos, en agosto el 15% y en los meses restantes, el 15%.

Obtenida la distribución de partos entre los períodos mencionados, con la longitud media de la lactancia (270 días), se determinó la producción de leche para el período de simulación (enero 1º - diciembre 31), por lo tanto, el modelo no tiene en cuenta la producción de leche ocurrida fuera de este período.

#### ▼ Ecuación de crecimiento de novillos(as) en praderas mejoradas

$$y = 17,368x - 191,09 \quad [53]$$

$$R^2 = 0,99; P > 0,001$$

Donde:

y = peso en kilogramos

x = meses de edad

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación

Variable	Coefficiente	Error estándar	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
Intercepto	-191,09	4,1621	-200,012	-182,158
Coefficiente de regresión lineal	17,368	0,1401	17,0535	17,6817

#### ▼ Ecuación de crecimiento de machos en ceba en praderas mejoradas

$$y = 19,144x - 225,92 \quad [54]$$

$$R^2 = 0,998; P > 0,001$$

Donde:

y = peso en kilogramos

x = meses de edad

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación

Variable	Coefficiente	Error estándar	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
Intercepto	-225,92	11,06725	-238,93	-212,905
Coefficiente de regresión lineal	19,144	0,21516	18,696	19,592

Las ecuaciones [53 y 54] fueron formuladas por Rincón (1999) y describen respectivamente el crecimiento de novillos (as) y machos en ceba del sistema doble propósito en praderas renovadas o establecidas con la asociación *B. decumbens* - *Arachis pintoi* y Kudzú, para cada caso. El tamaño de la muestra fue de 30 novillos(as), observados en tres fincas del Piedemonte del Meta, en un período de un año. La edad de los novillos(as), al iniciar la observación fue de 19 meses y la de los machos en ceba fue de aproximadamente 31 meses.



### ▼ Ecuación de producción de leche en praderas con cultivos forrajeros

Cuando el productor adopta la alternativa de cultivos forrajeros (*Cratylia argentea* mezclada con caña forrajera), Rincón y otros (1999), determinaron que esta aumenta el 25% sobre la producción que se obtiene empleando la ecuación [45].

### ▼ Ecuación de producción de leche en praderas mejoradas

En relación con la producción de leche, cuando el productor adopta la alternativa de mejoramiento de praderas (combinación *Arachis - Kudzú*), Rincón y otros, (2003) determinaron que esta aumenta el 25% sobre la producción que se obtiene empleando la ecuación [52].

Los porcentajes de producción de leche en praderas con cultivos forrajeros y en mejoradas, fue estimado evaluando producciones de vacas paridas en ordeño en diferentes fincas del Piedemonte del Meta.

## MODELO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Dado que uno de los objetivos del modelo era la evaluación económica de las alternativas de producción:

1. Introducción de cultivos forrajeros (caña-Cratylia), y
2. Establecimiento o renovación de praderas, se incluyó un análisis de costo y beneficio, que reflejara la posibilidad de utilidad económica sobresaliente.

En la Figura 9 se consideran los ingresos y egresos en los que incurre el sistema de producción doble propósito del Piedemonte llanero.

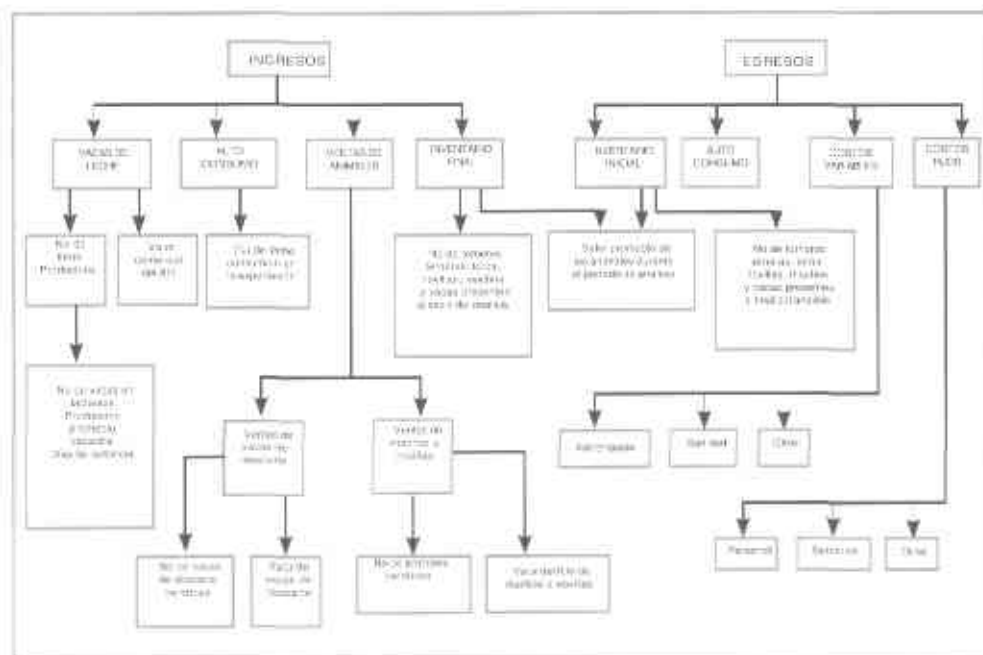
En relación con los costos ocurridos durante el proceso de producción en el sistema doble propósito, se consideraron los establecidos en la Tabla 5.

Los ingresos del sistema doble propósito, fueron:

**Por ventas:** son los productos que se mercadean directamente como leche, carne y venta de animales. Poseen un precio en el mercado y se recibe dinero directamente como resultado de la venta.

- ▼ Ventas de leche y sus derivados.
- ▼ Ventas de animales: terneros, terneras, novillos, novillas, vacas, toros.
- ▼ Ganancias de peso: diferencia entre kilogramos iniciales y finales
- ▼ Forraje verde por hectárea/mes.





Fuente: Adaptado de Romero P. J. y col. 1994.

Figura 9. Ingresos y egresos en el sistema doble propósito.

**Por autoconsumo:** se refiere a los productos que son consumidos dentro de la misma explotación, pero en su producción se ha incurrido en costos. Para este caso se tuvo en cuenta la leche destinada para el autoconsumo, que equivale en promedio a 3 litros diarios por finca (Parra y otros, 2000).

**Ingresos por cambio de inventario:** es el intercambio de animales dentro de grupos de edades en la finca.

Para efectuar el análisis económico del sistema de producción el modelo incluyó los valores de las variables relacionadas en el Anexo 6.

Las medidas de eficiencia económica utilizadas para el análisis financiero de este modelo fueron:

**Margen bruto.** Es una herramienta que permite establecer el comportamiento de una actividad respecto a sus costos variables, expresados por unidad de producción (UGDP/ha). El margen bruto para una actividad productiva o una empresa está definido como la diferencia entre el valor de los ingresos de esta actividad, y el valor de los costos variables incurridos en la producción, expresados por unidades de producción (Cicadep y Fedegan, 1998).



Tabla 5. Costos variables y fijos del sistema y las alternativas a simular.

COSTOS	
<b>Costos fijos</b> Salario empleados permanentes. Salario empleados temporales. (Jornales al año) Mano de obra familiar. Servicios generales (costos por servicio de luz, acueducto e impuesto predial).	<b>Costos variables</b> Costos de alimentación (sal y suplementos). Costos de sanidad (drogas, vacuna y garrapaticidas). Costos por asistencia técnica Autoconsumo.
Costos de las alternativas de producción	
<b>Costos fijos</b> - Costos por mano de obra. - Costos por maquinaria.	<b>Costos variables</b> - Costos por insumos (abonos y correctivos). - Costos por semillas (Cratylia, caña, forrajera, <i>Arachis pintoí</i> y Kudzú)

Fuente: Rodríguez A y Beltrán D. 2004

INGRESOS (inventario final - Ingresos de producción) - EGRESOS (inventario inicial + costos variables) [55]

**Margen Neto.** El margen neto es el margen bruto menos los costos fijos asignables, es decir, es el beneficio que se obtiene después de pagar todos los costos de operación (fijos y variables).

$$\text{Margen Neto} = \text{Margen Bruto} - \text{Costos Fijos Asignables} \quad [56]$$

**Rentabilidad.** Esta relación muestra la ganancia o utilidad que se obtiene por cada unidad monetaria invertida.

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Ingreso Neto}}{\text{Costo Total}} * 100$$

**Relación Beneficio/Costo.** Es una medida adecuada para comparar el resultado económico en diferentes etapas de la empresa o la ventaja comparativa en relación con otras empresas. Su resultado se considera apropiado si la Razón es de uno ó más.

$$\text{Rentabilidad Beneficio/ Costo} = \frac{\text{Ingreso Total}}{\text{Costo Total}}$$



## FORMULACIÓN DEL PROGRAMA

---

Una vez construido el modelo matemático, se procedió al desarrollo del software de simulación, lo cual requirió: el diseño del funcionamiento del modelo, la especificación del ambiente de desarrollo y del producto.

### FUNCIONAMIENTO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

En la Figura 10 se presenta el funcionamiento del modelo, que está estructurado por una base de datos a la que se accede por medio del software de simulación.

Para realizar la simulación, el modelo da la opción de ingresar, modificar y eliminar registros de la base de datos, relacionados con información general, población bovina, forraje, salud animal y la información económica.

Una vez actualizada la base de datos, se ingresa a la simulación, donde se puede ejecutar la opción de condiciones iniciales o simular alguna de las dos alternativas de producción.

Para la simulación se definieron las unidades básicas de tiempo para generar las salidas. Cuando ha terminado la simulación se puede elegir la opción de los resultados, los cuales se presentan también en unidades de tiempo que dependen de las salidas que se van a generar, y que para este modelo son el día, el mes y el año.

Si se trata de generar las salidas de las ganancias de peso con cualquiera de las opciones elegidas, el modelo simula día a día y anualmente lo que sucede con ella. Respecto a los resultados de la producción de leche y el inventario animal, el modelo ejecuta la simulación anualmente. El análisis económico es simulado en la unidad de tiempo anual.

El modelo se estructuró en forma modular, de manera que cada componente es independiente en su estructura pero se integra fácilmente con los otros módulos. Esto permite realizar cambios al módulo que lo requiera, sin que se afecte el funcionamiento general del programa. Figura 10.



## ESPECIFICACIÓN DEL AMBIENTE DE DESARROLLO

El software de simulación se desarrolló en el lenguaje de programación Visual Basic 6.0 enlazado con una base de datos desarrollada en Acces 97, con plataforma *Windows*.

Asimismo, es una herramienta altamente productiva que permite generar aplicaciones de alto rendimiento empresariales y basadas en Web y crear interfaces gráficas de usuario, personalizadas con funciones de animación de «arrastrar y soltar»; trabajar con mapas de bits, archivos de texto, bases de datos y objetos de aplicaciones Microsoft Office, pudiendo incorporar todos los elementos de este entorno informático: ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, etc.

## CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Se desarrolló un producto que cumple con las condiciones de seguridad, confiabilidad, consistencia e integridad en su código fuente. El lenguaje se seleccionó teniendo en cuenta que se adaptó a las necesidades de ofrecer una interfaz gráfica y amigable al usuario final del software, ofreciendo facilidades en el acceso a la base de datos, la realización de cálculos y procesos de decisión y la generación de archivos y reportes.

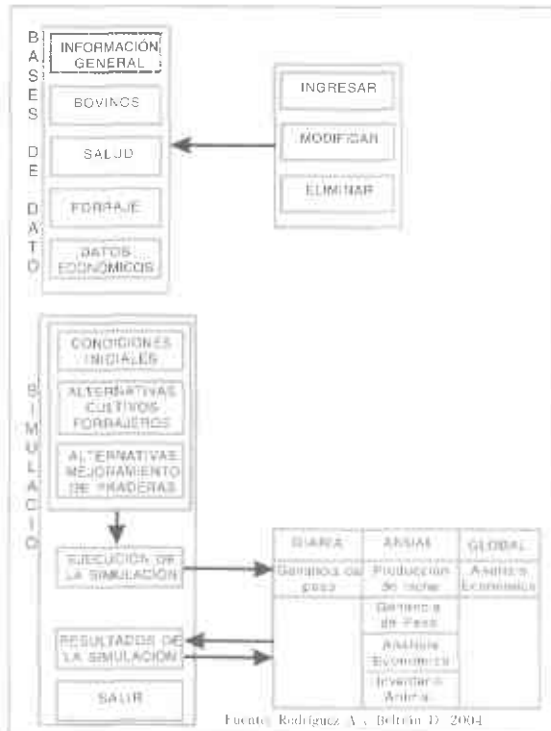


Figura 10. Funcionamiento del modelo de simulación



**Entrada de datos.** El ingreso de los datos se hace mediante la escogencia de opciones, valores previamente definidos en las tablas del sistema y datos que el usuario puede ingresar manualmente. Tanto en la entrada de datos como en la ejecución de los procesos, se efectúa la validación, para garantizar la consistencia de los valores de entrada y la confiabilidad de los resultados.

**Procesamiento y funciones de control.** El programa internamente se basa en funciones que manejan módulos. De acuerdo a los datos de entrada y a los parámetros definidos, el modelo realiza los cálculos a fin de generar los resultados.

Las variables de las ecuaciones de producción son variables aleatorias, porque tanto el coeficiente de regresión (lineal, cuadrático) como el del intercepto pueden tomar un valor dentro de un rango determinado. Fue necesario para el modelo generar entonces, números aleatorios que fluctúen dentro de los límites inferior y superior establecidos para cada variable.

**Generación de resultados.** Los resultados que genera el sistema estarán disponibles para visualizarlos en pantalla antes de ser impresos y podrán ser guardados para análisis comparativos y como datos históricos.

**Archivos históricos.** Con el fin de generar reportes sobre análisis anteriores se mantendrá en la base de datos información histórica correspondiente a los casos de análisis.

**Utilidades del sistema.** En el programa se incluyen las siguientes utilidades:

- ▼ Generación de copias de seguridad.
- ▼ Opciones para impresión.
- ▼ Opciones para eliminar datos históricos.
- ▼ Opciones para búsqueda de información.

**Seguridad de la información y niveles de acceso.** Para mantener la seguridad y la integridad de la información, se establecieron dos tipos de usuario con perfiles de acceso diferentes. Estos usuarios son:

El usuario administrador: este usuario puede tener acceso a la base de datos y crear, eliminar y modificar los diferentes registros.

El usuario invitado: no tiene permiso para acceder a la base de datos, sólo puede consultar y visualizar registros y reportes sobre anteriores análisis.



## VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

La verificación da interpretación a las funciones matemáticas calculadas, de acuerdo al fenómeno real investigado. La aceptación de una función estará basada en, además de los procedimientos estadísticos adecuados, el conocimiento y racionalismo que tiene sobre la materia el grupo que está haciendo la modelación.

La validación es la aceptación, a través de procedimientos estadísticos adecuados, de un nivel aceptable de confianza (en concordancia con el objetivo inicial planteado), de tal modo que sean correctas las extrapolaciones al sistema real, hechas desde las inferencias obtenidas con el modelo.

### EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO

La experimentación es la ejecución del modelo de simulación de modo de generar la información deseada. La etapa de experimentación comprende varias actividades:

- Diseño y planificación de los experimentos que proporcionarán la información que se desea.
- Planeamiento táctico de la información y características necesarias para ejecutar el modelo con el diseño experimental apropiado.
- Análisis de sensibilidad, entendida como la cuantificación de la variación producida en los datos de salida frente a cambios en los datos de entrada o en los parámetros del modelo. El análisis de sensibilidad se realiza haciendo una variación sistemática de los valores de los parámetros, en un rango razonable o de interés especial, observando su efecto en las variables de salida del modelo.

El análisis de sensibilidad se realizó con dos objetivos. En primer lugar, estudiar en qué medida afectaba las determinadas variaciones de algunos parámetros de las funciones consideradas más importantes del modelo, a los resultados del modelo. En segundo, determinar en qué medida las



variaciones en algunos de los valores, que se ingresaron como insumos, y cuyas estimaciones normalmente están sujetas a error, afectan los resultados.

Los objetivos de la experimentación fueron dirigidos a encontrar los valores de algunos parámetros que maximizan (o minimizan) una variable de salida o producto, o a explicar y determinar las relaciones entre variables de salida y factores controlables del sistema.

**Experimento de validación N°1.** Se utilizaron 36 novillas y machos de levante, cuyo peso inicial era de 100 kg, pastoreando en praderas *B. decumbens* degradadas, durante el período de 1 año. La Tabla 6 muestra los promedios obtenidos con seis observaciones en seis grupos aleatoriamente seleccionados.

Tabla 6. Resultados de validación del modelo. (Ganancias de peso diarias de novillas de levante y machos de levante).

Nº DE OBSERVACIONES	Observación Real (Gramos)	predicción del modelo ( Gramos)	Error porcentual del modelo ( %)
6	400.30	410.90	2.33
6	407.90	414.10	1.71
11	405.04	412.80	2.13
11	405.89	414.37	2.05
6	403.86	412.45	2.08
6	403.12	411.15	1.94

El modelo sobreestimó en 8 kg el peso promedio real de los animales y las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ), ya que ello se repitió en los seis grupos experimentales, a pesar de que la diferencia porcentual en el peso promedio fue del 2%.

**Experimento de validación N°2.** Se utilizaron 36 novillas de vientre y machos en ceba, cuyo peso inicial era de 300 kg, pastoreando en praderas *B. decumbens* degradadas, durante el período de 1 año. La Tabla 7 muestra los promedios obtenidos con seis observaciones en seis grupos aleatoriamente seleccionados.

El modelo sobreestimó en 8 kg el peso promedio real de los animales y las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ) ya que ello se repitió en los seis grupos experimentales, a pesar de que la diferencia porcentual en el peso promedio fue, al igual que en el experimento anterior, del 2%.



Tabla 7. Resultados de validación del modelo (Ganancias de peso diarias de Novillas de Vientre y Machos en ceba).

Nº DE OBSERVACIONES	OBSERVACIÓN REAL (GRAMOS)	PREDICCIÓN DEL MODELO (GRAMOS)	ERROR PORCENTUAL DEL MODELO
6	447.70	456.73	2.40
6	449.00	457.49	1.86
6	453.99	461.29	1.58
6	459.48	457.16	1.46
6	449.52	460.20	2.23
6	455.29	464.07	1.89

**Experimento de validación N°3.** Se utilizaron 21 vacas en ordeño de 2-4 partos, pastoreando en praderas *B. decumbens* degradadas, durante el período de 1 año. La Tabla 8 muestra los promedios obtenidos con 9 y 12 observaciones en dos grupos aleatoriamente seleccionados.

Tabla 8. Resultados de validación del modelo. Producción de leche anual de vacas de 2 - 4 partos.

Nº de observaciones	Observación Real (litros)	Predicción del modelo (litros)	Error porcentual del modelo (%)
9	7.119	7.279.48	2.20
12	10.109	10.374.62	2.56

En general, los resultados indican que el modelo es un buen estimador para peso de machos y hembras y la producción de leche del sistema doble propósito en el Piedemonte llanero, a pesar de que la diferencia porcentual de las medias entre lo observado y lo esperado (Modelo), fue del 2% para el peso y de 2.5% para la producción de leche. Mayores pruebas de campo se requieren antes de modificar ecuaciones.



## RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO DE SIMULACIÓN

Una vez validado el modelo se pasó a la experimentación, la cual es la ejecución del modelo de simulación. Para este experimento se utilizó la información de una finca de un pequeño productor del Piedemonte del Meta, cuyos datos de entrada se presentan a continuación:

### ▼ Datos de Entrada del modulo Bovino

Grupo etáreo	Cantidad	Peso promedio (kg)
Vacas en ordeño de primer parto	3	420
Vacas en ordeño de 2 - 4 partos	7	420
Vacas en ordeño de > 4 partos	2	420
Vacas paridas sin ordeño	0	-
Vacas secas	8	380
Novillas de levante	5	140
Novillas de vientre	2	300
Machos de levante	3	130
Machos en ceba	0	-
Terneros	7	80
Terneras	5	80
Toros	1	650

### ▼ Datos de entrada del módulo forraje

Área en forrajes =	32 ha
Número de potreros =	4
Porcentaje del área en forrajes en gramas nativas =	20%
Especie de forraje =	<i>Brachiaria decumbens</i>
Estado de la pradera =	Medianamente degradada
Disponibilidad de materia seca en época seca =	700 kg/ha
Disponibilidad de materia seca en época lluviosa =	1.200 kg/ha
Contenido de Proteína Cruda en época seca =	7%
Contenido de Proteína Cruda en época lluviosa =	9%
Digestibilidad en época seca =	62%
Digestibilidad en época seca =	68%



▼ Datos de entrada del módulo Salud Animal (Mastitis subclínica)

Información sobre vacas afectadas con mastitis y cuartos perdidos

Cuartos mamarios	Periodo de Lactancia (meses)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cuartos delanteros con CMT trazas	5									
Cuartos traseros con CMT trazas										
Cuartos delanteros con CMT2			2							
Cuartos traseros con CMT2				2						
Cuartos delanteros con CMT3		1								
Cuartos traseros con CMT3										
Cuartos delanteros con Mastitis clínica		1								
Cuartos traseros con Mastitis clínica										
Cuartos delanteros perdidos										
Cuartos traseros perdidos		2								

Información sobre el número animales de muertos, vendidos, robados o ingresados, tomados en el último año calendario a la fecha del inventario.

Grupo etéreo	Muertos	Vendidos	Ingresos
Vacas paridas	1	2	
Vacas paridas de primer parto			
Vacas secas	1		
Terneros(as)	1		
Novillas de levante		3	
Novillas de vientre		2	
Machos de levante		3	
Machos en ceba			
Toros		1	1

▼ Datos de entrada del módulo suelo

Información sobre las condiciones del suelo de la finca evaluada

Textura (Arena-Limo-Artila)	AF
pH	4.6 Hidrogeniones
Materia orgánica	2.3%
Manganeso	4 ppm
Hierro	53 ppm
Zinc	0.6 ppm
Cobre	0.4 ppm
Boro	0.14 ppm
Azufre	19 ppm
Fosforo	2 ppm
Calcio	0.16 meq/100 g de suelo
Magnesio	0.09 meq/100 g de suelo
Potasio	0.09 meq/100 g de suelo
Sodio	0.17 meq/100 g de suelo
Saturación del Aluminio	1.3 meq/100 g de suelo
Acidez Intercambiable del Suelo	1.7 meq/100 g de suelo



## ▼ Datos de entrada del módulo económico

### Mano de obra

Mano de obra familiar =	2 jornales/día
Nº empleados permanentes =	0
Nº jornales al año =	35

### Servicios

Luz =	20.000 \$/mes
Acueducto veredal =	5.000 \$/mes
Impuesto predial =	\$150.000

### Alimentación

Sal =	20 g/animal
Suplementación =	No

### Sanidad

Drogas y vacunas =	20.000 S/UGDP
Garrapaticidas =	70 \$/baño
Baños al año =	18

Los datos de sal, drogas y vacunas, garrapaticidas, los calcula el modelo de acuerdo a los precios guardados en la base de datos.

## ▼ Datos de entrada del módulo alternativas de producción

### Alternativa de Cultivos Forrajeros

Área a implementar en cultivos forrajeros	
En Caña forrajera =	3.000 m <sup>2</sup>
En <i>Cratylia argentea</i> =	5.000 m <sup>2</sup>
Especie a sembrar =	Caña forrajera - <i>Cratylia Argentea</i>
Producción de forraje verde caña forrajera =	700 t/ha
Contenido de proteína cruda caña forrajera =	3-4%
Digestibilidad Caña forrajera =	60%
Producción de forraje verde <i>Cratylia argentea</i> =	20-30 t/ha
Contenido de proteína cruda <i>Cratylia argentea</i> =	18-20%
Digestibilidad <i>Cratylia argentea</i> =	45-50%

### Alternativa de Mejoramiento de Praderas

Alternativa de mejoramiento de praderas escogida =	Renovación de praderas
Área a renovar =	3 ha
Especie a sembrar =	<i>Arachis pintoi</i> - Kudzú
Disponibilidad de materia seca de <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>A. pintoi</i> - Kudzú en época seca =	1.200 kg/ha
Disponibilidad de materia seca de <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>A. Pintoi</i> - Kudzú en época lluviosa =	1.800 kg/ha
Contenido de Proteína Cruda <i>Arachis pintoi</i> =	15-18%
Digestibilidad <i>Arachis pintoi</i> =	75%
Contenido de proteína cruda Kudzú =	15-18%
Digestibilidad Kudzú =	75%



## EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

Los resultados obtenidos se muestran a continuación y corresponden a una corrida del modelo de simulación.

### ESCENARIO 1: SIMULACIÓN EN CONDICIONES INICIALES

#### Resumen de datos

Área en forraje =	6.4 ha
Nº de potreros =	4
Especie forraje =	<i>Brachiaria decumbens</i>
Estado de la pradera =	Medianamente degradada
Disponibilidad época seca/ potrero =	3.136 kg MS
Disponibilidad época lluviosa/ potrero =	5.376 kg MS
Consumo (mensual) =	9.159.52 kg MS
Carga animal =	0,91 UGDP/ha
	(Unidades de ganado de doble propósito)

Observaciones:

**Utilización de la pradera en época seca** = El consumo mensual es mayor que la disponibilidad, lo que indica un sobrepastoreo de la pradera.

**Utilización de la pradera en época lluviosa** = El consumo mensual es mayor que la disponibilidad, lo que indica un sobrepastoreo de la pradera.

COMPOSICIÓN DEL REBAÑO		
Grupo etáreo	Población inicial	Población final
Vacas en ordeño de primer parto	3	2
Vacas en ordeño de 2 - 4 partos	7	8
Vacas en ordeño de > 4 partos	2	2
Vacas paridas sin ordeño	0	0
Vacas secas	8	7
Novillas de vientre	2	4
Machos en pena	0	2
Terneros	5	4
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>42</b>

Resultados de las tasas de natalidad, mortalidad, descarte, extracción, supervivencia y permanencia:

Tasa	%
Tasa de natalidad sobre vacas	0.52
Tasa de natalidad de vacas	0.083
Tasa de natalidad sobre novillas de vientre	1
Tasa de mortalidad novillas	0
Tasa de descarte de vacas	0.044
Tasa de mortalidad sobre terneros	0.153
Tasa de extracción de jóvenes	0.342
Tasa de extracción de adultos	0.188
Tasa de supervivencia de vacas	0.917
Tasa de supervivencia de novillas	1
Tasa de supervivencia de terneros	0.847
Tasa de permanencia de vacas	0.91
Tasa de permanencia de jóvenes	0.658
Tasa de permanencia de adultos	0.808



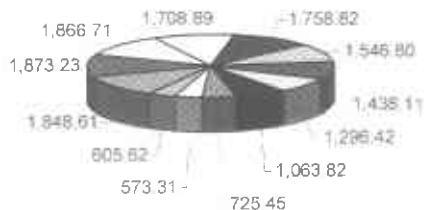
## Producción de leche

Distribución de partos			
Mes	Vacas de 1 <sup>o</sup> parto	Vacas de 2-4 partos y > 4 partos	Vacas preñadas
Enero			1
Febrero			1
Marzo			
Abril		1	1
Mayo		1	1
Junio		1	
Julio			
Agosto	1	2	1
Septiembre	1		
Octubre			
Noviembre		2	1
Diciembre		2	
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>

Producción de leche detallada por grupo de vacas					
Vacas de 1 <sup>o</sup> Parto	Litros	Vacas de 2-4 y > 4 partos	Litros	Vacas preñadas	Litros
Enero	481,555	Enero	1387,048	Enero	0,000
Febrero	459,669	Febrero	1244,798	Febrero	168,760
Marzo	441,691	Marzo	1081,000	Marzo	344,018
Abril	420,667	Abril	935,304	Abril	352,694
Mayo	394,000	Mayo	853,332	Mayo	521,430
Junio	266,479	Junio	592,176	Junio	888,144
Julio	235,407	Julio	523,128	Julio	879,576
Agosto	200,979	Agosto	446,620	Agosto	648,818
Septiembre	89,806	Septiembre	199,568	Septiembre	774,450
Octubre	0,000	Octubre	0,000	Octubre	725,450
Noviembre	0,000	Noviembre	0,000	Noviembre	573,308
Diciembre	0,000	Diciembre	0,000	Diciembre	0,000
<b>Total</b>	<b>2,960,483</b>		<b>7,262,974</b>		<b>6,082,326</b>

### Producción total de leche (16305,783 Litros)

- Enero
- Febrero
- Marzo
- Abril
- Mayo
- Junio
- Julio
- Agosto
- Septiembre
- Octubre
- Noviembre
- Diciembre



Fuente: propio, 2003

Figura 11. Producción total de leche



## Total de Ingresos

Ingreso	Total (\$/Anual)
Por venta de leche	8.407.391.230
Venta de animales	5.339.451,18
Inventario final	28 210.503.260
Autoconsumo de leche/litros/añual	648.000
<b>Total ingresos</b>	<b>42.605.345,67</b>

Los ingresos por venta de leche son los mismos que se obtuvieron con la alternativa de Cultivos Forrajeros.

Cálculo de las medidas de eficiencia económica propuestas para el modelo.

**MARGEN BRUTO = INGRESOS - COSTOS VARIABLES**

MB = 42.605.345,67 - 27.402.155

MB = \$15.203.190,67

**MARGEN NETO = MARGEN BRUTO - COSTOS FIJOS**

MN = 15.203.190,67 - 11.775.000

MN = \$3.428.190,67

**RENTABILIDAD = [(Margen Neto / Costo Total)] \* 100**

RENTABILIDAD = [(3.428.190,67 / 39.177.155)] \* 100

RENTABILIDAD = **\$8.750** por cada unidad monetaria invertida

**RELACIÓN BENEFICIO / COSTO = Ingreso Total / Costo Total**

RELACIÓN B / C = 42.605.345,67 / 39.177.155

RELACIÓN B / C = \$1.087



## ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Producción de carne			
Grupo etéreo	Escenario 1	Escenario 3	(%)
	Ganancia de peso (g) Condiciones Iniciales	Ganancia de peso (g) Mejoramiento de Praderas	
Novillas de levante	414.791	527.639	27,2
Novillas de vientre	481.035	659.868	21,47
Machos de levante	403.791	507.172	25,6
Machos en ceba	-	-	-

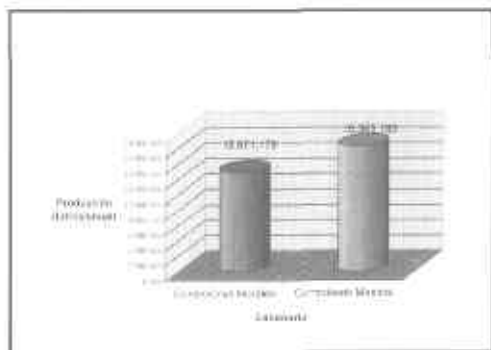


Figura 16. Comparación de Producción de leche (Condiciones iniciales Vs Controlando mastitis)

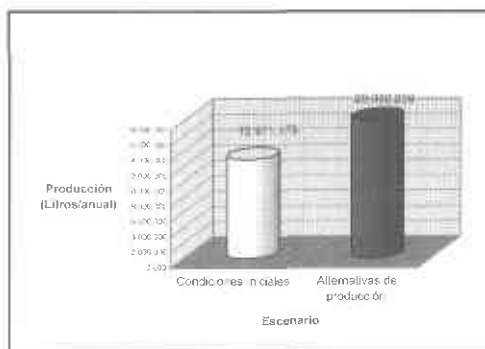


Figura 17. Comparación de Producción de leche (Condiciones iniciales Vs alternativas de producción)

### Análisis económico

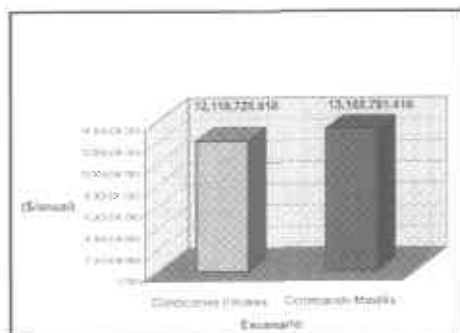


Figura 18. Comparación del margen bruto (Condiciones iniciales Vs Controlando mastitis)

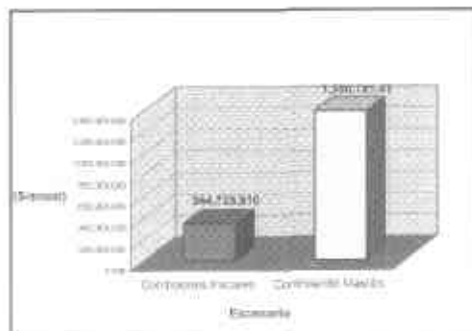


Figura 19. Comparación del margen neto (Condiciones iniciales Vs Controlando mastitis)



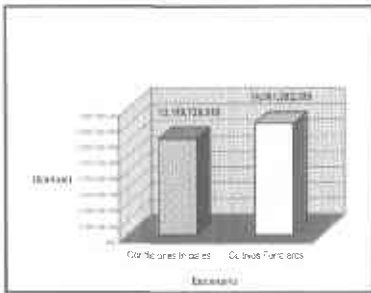


Figura 20. Comparación del margen bruto (Condiciones iniciales Vs Cultivos forrajeros)



Figura 21. Comparación del margen neto (Condiciones iniciales Vs Cultivos forrajeros)

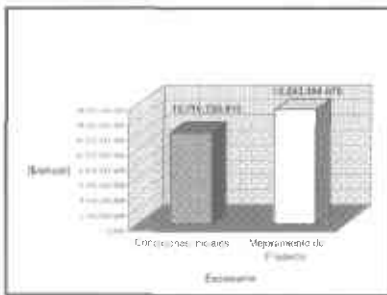


Figura 22. Comparación del margen bruto (Condiciones iniciales Vs Mejoramiento de praderas)

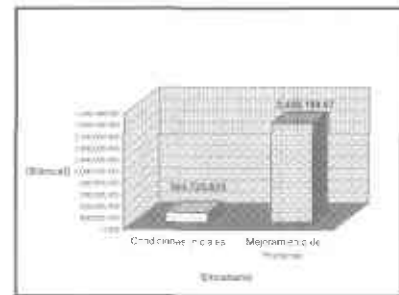


Figura 23. Comparación del margen neto (Condiciones iniciales Vs Mejoramiento de praderas)

De los resultados obtenidos en el anterior experimento se puede concluir lo siguiente:

- ✦ Al utilizar la alternativa de mejoramiento de praderas se puede observar un aumento considerable en las ganancias de peso diarias de las novillas de levante (27.2%), machos de levante (25.6%) y novillas de vientre (21.47%), respecto a las ganancias de peso diarias obtenidas en condiciones iniciales. Esto representa un aumento económico del 2.52% sobre el total de ingresos de producción de carne (venta de animales e inventario final).
- ✦ La alternativa de producción con la cual se obtiene un mayor beneficio económico es mejoramiento de praderas, representado en un aumento del 25.44% del margen bruto y el 894.46% del margen neto sobre los obtenidos en condiciones iniciales, generándose una diferencia de \$3.083.464,86.
- ✦ Con la alternativa de producción cultivos forrajeros se obtiene un incremento del 13.93% sobre el margen bruto y de un 569.18% sobre el margen neto, obteniéndose una diferencia de \$1.962.137,12.
- ✦ Al aplicar un control de mastitis a las condiciones iniciales, se obtiene un incremento del 8.63% y 303.42%, del margen bruto y el margen neto respectivamente, generándose una diferencia de \$1.046.055,60



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Se logró ensamblar un software de simulación, diferente a lo usual que generalmente era unidisciplinario, abordando, guardadas proporciones, el comportamiento «natural» de los componentes dentro del sistema. Así mismo, el modelo presenta una amplia gama de posibilidades, partiendo de la simulación de la distribución etérea y sus efectos en la rentabilidad y el acompañamiento de una mejor opción de disponibilidad y calidad de alimentación con la renovación o establecimiento de praderas o con la introducción de cultivos forrajeros para intensificar la producción.

52

El modelo presenta una gran ventaja, y es que las ecuaciones fueron generadas en campo, situación que puede aproximarse más a lo real, pero aún así, no puede abarcar en su totalidad la amplia gama de matices de producción del sistema. La estructuración por módulos, permitirá ajustar ecuaciones, una vez estas hayan desbordado los límites de las existentes, siempre y cuando se hagan pruebas con metodología científica que permitan decidir que en el campo el comportamiento es significativamente diferente.

Se recomienda a los usuarios comunicar a los autores, incongruencias o fallas en la construcción del modelo, tanto en su precisión como en su operación en diferentes plataformas.

Los resultados de nuevas investigaciones, deben precisar especialmente en nuevas alternativas tecnológicas, ajustes de campo, meticulosamente medidos, que puedan incorporarse al modelo, para así ampliar la simulación y las tecnologías disponibles para la experimentación virtual.



## ANEXOS

### Anexo 1. Grupos de edad del sistema bovino doble propósito del Piedemonte Llanero.

Grupos de edad	Descripción
<b>VACAS</b>	Es toda hembra bovina que ha parido.
Vacas paridas en ordeño	Son aquellas que están lactando, se ordeñan con ternero y pueden ser vacas de primer parto, vacas de 2- 4 partos, vacas > 4 partos.
Vacas paridas sin ordeño	Son vacas con ternero, que no se ordeñan.
Vacas secas u horras	Son aquellas que no están lactando y pueden estar vacías ó preñadas.
<b>NOVILLAS</b>	
Novillas de levante	Hembra desde el destete hasta antes de iniciar la etapa de reproducción.
Novillas de vientre	Hembras que están aptas y han sido incorporadas a la reproducción, pueden o no estar preñadas.
<b>MACHOS</b>	
Machos de levante	Macho desde el destete hasta aproximadamente los 2 ½ años.
Machos en ceba	Macho después de los 2 ½ hasta que sale para la venta.
<b>TERNEROS(AS)</b>	
LACTANTES	Cría de la vaca desde que nace hasta el momento del destete.
<b>TOROS</b>	Macho reproductor de la especie bovina que está en servicio.



## Anexo 2. Variables exógenas sistema de producción bovina doble propósito del Piedemonte llanero.

Variable	Unidad
Fecha	Día/mes/año
Número de vacas en ordeño de primer parto	Vacas
Número de vacas en ordeño de 2 - 4 partos	Vacas
Número de vacas en ordeño de > 4 partos	Vacas
Número de vacas secas	Vacas
Número de novillas de levante	Novillas
Número de novillas de vientre	Novillas
Número de machos de levante	Machos
Número de machos en ceba	Machos
Número de terneros (as)	Terneros(a)
Numero de toros	Toros
Peso vacas en ordeño	kg
Peso vacas secas	kg
Peso novillas de levante	kg
Peso novillas de vientre	kg
Peso machos de levante	kg
Peso machos en ceba	kg
Peso terneros (as)	kg
Peso toros	kg
Período de lactancia	Días
<b>Número de vacas muertas</b>	Vacas
Número anual de vacas de primer parto muertas	Vacas
Número anual de vacas secas muertas	Vacas
Número anual de terneros (as) muertos	Terneros
Número anual de novillas de levante muertas	Novillas
Número anual de novillas de vientre muertas	Novillas
Número anual de machos de levante muertos	Machos
<b>Número anual de machos en ceba muertos</b>	Machos
Número anual de toros muertos	Toros
Número anual de vacas vendidas	Vacas
Número anual de vacas de primer parto vendidas	Vacas
Número anual de vacas secas vendidas	Vacas
Número anual de terneros (as) vendidos	Terneros
Número anual de novillas de levante vendidas	Novillas
Número anual de novillas de vientre vendidas	Novillas
Número anual de machos de levante vendidos	Machos
Número anual de machos en ceba vendidos	Machos
Número anual de toros vendidos	Toros
Número anual de vacas compradas	Vacas
Número anual de vacas de primer parto compradas	Vacas
Número anual de vacas secas compradas	Vacas
Número anual de terneros (as) compradas	Vacas
Número anual de novillas de levante compradas	Novillas
Número anual de novillas de vientre compradas	Novillas
Número anual de machos de levante comprados	Machos
Número anual de machos en ceba comprados	Machos
Número anual de toros comprados	Toros



Continuación anexo 2. Variables exógenas sistema de producción bovina doble propósito del Piedemonte llanero.

Variable	Unidad
Número de cuartos delanteros afectados con CMT1	Cuartos
Número de cuartos delanteros afectados con CMT2	Cuartos
Número de cuartos delanteros afectados con CMT3	Cuartos
Número de cuartos delanteros afectados con CMT4	Cuartos
Número de cuartos traseros afectados con CMT1	Cuartos
Número de cuartos traseros afectados con CMT2	Cuartos
Número de cuartos traseros afectados con CMT3	Cuartos
Número de cuartos traseros afectados con CMT4	Cuartos
Número de cuartos delanteros perdidos	Cuartos
Número de cuartos traseros perdidos	Cuartos
Área en forrajes	ha
Número de potreros	Potreros
Porcentaje del área en forrajes en gramas nativas	ha
Disponibilidad de materia seca en época seca	kg MVS/ha
Disponibilidad de materia seca en época lluviosa	kg MVS/ha
Estado de la pradera	Buena-regular-mala
Textura del suelo	Arena-limo-arcilla
pH del suelo	Hidrogeniones
Materia orgánica del suelo	%
Manganeso (Mn) del suelo	Ppm
Hierro (Fe) del suelo	Ppm
Zinc (Zn) del suelo	Ppm
Cobre (Cu) del suelo	Ppm
Boro (B) del suelo	Ppm
Azufre (S) del suelo	Ppm
Fósforo (P) del suelo	ppm
Calcio (Ca) del suelo	meq/100 g de suelo
Magnesio (Mg) del suelo	meq/100 g de suelo
Potasio (K) del suelo	meq/100 g de suelo
Sodio (Na) del suelo	meq/100 g de suelo
Saturación del Aluminio (Al) del suelo	meq/100 g de suelo
Acidez intercambiable del suelo	meq/100 g de suelo
Número de empleados permanentes	Empleados permanentes
Salario empleados permanentes	\$/mensual
Número de jornales al año	Jornales
Salario jornal	\$/diario
Costos por mano de obra familiar	\$/anual
Costos por servicio de energía eléctrica	\$/anual
Costos por servicio de acueducto	\$/anual
Costos por impuesto predial	\$/anual
Costos por compra de sal	\$/mensual
Costos por compra de suplementos	\$/anual
Costos por drogas y vacunas	\$/anual
Costos por garrapaticidas	\$/anual
Costos por asistencia técnica	\$/anual
Costos por insumos (abonos y correctivos)	\$/ha
Costos por semillas	\$/ha
Costos por mano de obra (alternativas de producción)	\$/ha



## Continuación anexo 2. Variables exógenas Sistema de producción bovina doble propósito del Piedemonte llanero.

Variable	Unidad
<b>Costos por maquinaria</b>	\$/ha
Precio promedio de leche en época seca	\$/litro
<b>Precio promedio de leche en época lluviosa</b>	\$/litro
Precio del kilo de peso vivo en finca de vacas > 4 partos	\$/kg
<b>Precio del kilo de peso vivo en finca de vacas &lt; 4 partos</b>	\$/kg
<b>Precio del kilo de peso vivo en finca de novillas y machos de levante</b>	\$/kg
Precio del kilo de peso vivo en finca de novillas de vientre y machos en ceba	\$/kg
Precio del kilo de peso vivo en finca de toros	\$/kg
Precio del kilo de peso vivo en finca de terneros (as)	\$/kg
Precio de forraje verde	\$/ha
Cantidad de leche destinada al autoconsumo	<b>Litro/año</b>
Área a implementar en caña forrajera	ha
Área a implementar en Cratylia	ha
Producción de forraje verde (caña)	t/ha
Producción de forraje verde (Cratylia)	t/ha
Disponibilidad en época seca de <b>B. decumbens</b> asociada con <b>Arachis Pintoi</b> – kudzú	kg/ha
Disponibilidad en época lluviosa de <b>B. decumbens</b> asociada con <b>Arachis Pintoi</b> – kudzú	kg/ha
Área a renovar	ha
Tiempo de duración de la renovación	<b>Meses</b>
Área a establecer	ha
Tiempo de duración del establecimiento	Meses



### Anexo 3. Variables endógenas del sistema de producción bovina doble propósito del Piedemonte llanero.

Variable	Unidad
Consumo alimento	Kg MS/ha
Carga animal	UGDP/ha
Cálculo de pérdidas por mastitis	kg de leche
Tasa de natalidad sobre vacas	Nacidos vivos/vaca-año
Tasa de natalidad sobre novillas	Nacidos vivos/vaca-año
Tasa de mortalidad de terneros	Terneros muertos/terneros-año
Tasa de mortalidad de vacas	Vacas muertas/vacas-año
Tasa de mortalidad de novillas	Novillas muertas/novillas-año
Tasa de extracción de jóvenes	Jóvenes vendidos/jóvenes-año
Tasa de extracción de adultos	Adultos vendidos/adultos-año
Tasa de descarte de vacas	Bovinos descartados/bovinos-año
Tasa de supervivencia de vacas	
Tasa de supervivencia de novillas	
Tasa de supervivencia de terneros	
Tasa de permanencia de vacas	
Tasa de permanencia de jóvenes	
Tasa de permanencia de adultos	
Crecimiento de terneros en praderas degradadas	kg/día
Crecimiento de novillos(as) en praderas degradadas	kg/día
Crecimiento de novillos(as) en praderas mejoradas	kg/día
Crecimiento de machos en ceba en praderas degradadas	kg/día
Crecimiento de machos en ceba en praderas mejoradas	kg/día
Producción de leche vacas 1 <sup>er</sup> parto en praderas degradadas	kg/añual
Producción de leche vacas 1 <sup>er</sup> parto en praderas con cultivos forrajeros	kg/añual
Producción de leche vacas 1 <sup>er</sup> parto en praderas mejoradas	kg/añual
Producción de leche vacas 2-4 partos en praderas degradadas	kg/añual
Producción de leche vacas 2-4 partos en praderas con cultivos orrajeros	kg/añual
Producción de leche vacas 2-4 partos en praderas mejoradas	kg/añual
Producción de leche vacas > 4 partos en praderas degradadas	kg/añual
Producción de leche vacas > 4 partos en praderas con cultivos forrajeros	kg/añual
Producción de leche vacas > 4 partos en praderas mejoradas	kg/añual
Cálculo costos totales	\$/añual
Cálculo ingresos totales	\$/añual
Cálculo del ingreso neto	\$/añual
Cálculo de la rentabilidad económica	\$/añual
Cálculo de la relación Costo / Beneficio	\$/añual
Costo por litro de leche	\$/añual
Costo por kilogramo de carne	\$/añual



## Anexo 4. Otras variables incluidas de información general del sistema de producción bovina doble propósito.

Fecha  
 Microregión  
 Nombre de la finca  
 Municipio  
 Vereda  
 Nombre del propietario  
 Área de la finca  
 Especie de forraje  
 Proteína cruda del forraje  
 Digestibilidad del forraje  
 Especie(s) a sembrar en cultivos forrajeros  
 Proteína cruda de la caña  
 Digestibilidad de la caña  
 Proteína cruda de la Cratylia  
 Digestibilidad de la Cratylia  
 Especie(s) a sembrar para mejoramiento de praderas  
 Proteína cruda del *Arachis Pinto*  
 Digestibilidad del *Arachis Pinto*  
 Proteína cruda del kudzú  
 Digestibilidad del kudzú

58

## Anexo 5. Tasas de natalidad, mortalidad.

**Tasa de natalidad sobre vacas** [12]

$$\frac{\text{No de terneros} - \text{No de vacas de primer parto} + \text{terneros muertos} + \text{terneros vendidos}}{\text{Vacas al inventario} - \text{vacas paridas de primer parto} + \text{vacas muertas} * 0.5 + \text{vacas vendidas} * 0.5}$$

**Tasa de mortalidad de vacas (incluye toros)** [13]

$$\frac{\text{Vacas muertas} + \text{toros muertos}}{\text{Vacas} + \text{toros} + \text{vacas vendidas} * 0.5 + \text{vacas muertas} * 0.5 + \text{vacas introducidas} * 0.5 + \text{toros muertos} * 0.5 + \text{toros vendidos} * 0.5 + \text{toros introducidos} * 0.5}$$

**Tasa de natalidad sobre novillas de vientre** [14]

$$\frac{\text{Terneros hijos de vacas de primer parto} + \text{terneros muertos hijos de vacas de primer parto} + \text{terneros vendidos hijos de vacas de primer parto}}{\text{Vacas de primer parto} + \text{vacas de primer parto muertas} * 0.5 + \text{vacas de primer parto vendidas} * 0.5 + \text{Novillas} > 2 \text{ años} * 0.5}$$



**Tasa de mortalidad Novillas**

[15]

Novillas 1-2 años muertas + novillas >2 años muertas

$$\frac{\text{Novillas 1-2 años} + \text{novillas >2 años} + \text{novillas 1-2 años muertas} * 0.5 + \text{Novillas 1-2 años vendidas} * 0.5 + \text{Novillas 1- 2 años introducidas} * 0.5 + \text{novillas >2 años muertas} * 0.5 + \text{novillas >2 años Vendidas} * 0.5 + \text{novillas >2 años introducidas} * 0.5}{}$$

**Tasa de descarte de vacas**

[16]

Vacas Vendidas

$$\frac{\text{Vacas} + \text{vacas vendidas} * 0.5 + \text{vacas muertas} * 0.5 + \text{vacas introducidas} * 0.5}{}$$

**Tasa de mortalidad sobre terneros**

[17]

Terneros muertos

$$\frac{\text{Terneros} * 0.5 + \text{terneros vendidos} * 0.5 + \text{terneros muertos} * 0.5 + \text{terneros ingresados} * 0.5}{}$$

**Tasa de extracción de Jóvenes**

[18]

Terneros vendidos + Novillas 1-2 años vendidas + Machos 1-2 vendidos

$$\frac{\text{Terneros} * 0.5 + \text{Novillas 1-2 años} + \text{machos de 1-2 años} + \text{terneros muertos} * 0.5 + \text{terneros vendidos} * 0.5 + \text{terneros ingresos} * 0.5 + \text{novillas 1-2 años muertas} * 0.5 + \text{novillas 1-2 vendidas} * 0.5 - \text{novillas 1-2 años ingresadas} * 0.5 + \text{machos 1-2 años muertos} * 0.5 + \text{machos 1-2 años vendidos} * 0.5 + \text{machos 1-2 años ingresados} * 0.5}{}$$

**Tasa de extracción de adultos**

[19]

Novillas >2 años vendidas + machos >2 años vendidos + vacas vendidas + toros vendidos

$$\frac{\text{Novillas >2 años} + \text{Machos >2 años} + \text{vacas} + \text{toros} + \text{Novillas >2 años muertas} * 0.5 + \text{Novillas > 2 años vendidas} * 0.5 + \text{Novillas >2 años introducidas} * 0.5 + \text{machos >2 años muertos} * 0.5 + \text{machos >2 años vendidos} * 0.5 + \text{machos >2 años introducidos} + \text{vacas muertas} * 0.5 + \text{vacas vendidas} * 0.5 + \text{vacas introducidas} * 0.5 + \text{toros vendidos} * 0.5 + \text{toros muertos} * 0.5 + \text{toros introducidos} * 0.5}{}$$

Cuando se calculan las tasas de mortalidad, descarte y extracción, automáticamente se obtienen las tasas de supervivencia y permanencia, las cuales se señalan a continuación:

**Tasa de supervivencia de vacas**

[20]

1 - tasa de mortalidad de vacas

**Tasa de supervivencia de novillas**

[21]

1 - tasa de mortalidad de novillas



<b>Tasa de supervivencia de terneros</b>	[22]
1 - tasa de mortalidad de terneros	
<b>Tasa de permanencia de vacas</b>	[23]
1 - tasa de descarte	
<b>Tasa de permanencia de jóvenes</b>	[24]
1 - tasa de extracción de jóvenes	
<b>Tasa de permanencia de adultos</b>	[25]
1 - tasa de extracción de adultos	

## CAMBIO DE INVENTARIO

**Vacas paridas en ordeño** [26]

Vacas de primer parto en ordeño + vacas de 2-4 partos en ordeño + vacas en ordeño >4 partos

**Vacas de primer parto en ordeño** [27]

(Novillas de vientre (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas de vientre y machos en ceba) \* Tasa de natalidad de novillas de vientre

**Vacas de 2 - 4 partos en ordeño** [28]

Total de vacas - Vacas de primer parto - Vacas > 4 partos - Vacas paridas sin ordeño - Vacas secas

**Vacas de > 4 partos en ordeño** [29]

$$\left( \frac{\text{Vacas > 4 partos (inicial)}}{\text{Total de Vacas (inicial)}} \right) * \text{Total de Vacas}$$

**Vacas paridas sin ordeño** [30]

$$\left( \frac{\text{Vacas paridas sin ordeño (inicial)}}{\text{Total de Vacas (inicial)}} \right) * \text{Total de Vacas}$$

**Total vacas paridas.** [31]

Vacas de primer parto + Vacas de 2-4 partos + Vacas de > 4 partos + Vacas paridas sin ordeño

**Vacas secas** [32]

$$\left( \frac{\text{Vacas secas (inicial)}}{\text{Total de Vacas (inicial)}} \right) * \text{Total de Vacas}$$

**Total de vacas** [33]

(( Total de vacas (inicial) \* Tasa de supervivencia vacas \* Tasa de permanencia de vacas ) + Vacas de primer parto en ordeño



**Terneros(as)** [34]

$$\left[ \frac{(\text{Total de vacas} - \text{Vacas de primer parto}) * \text{Tasa de natalidad vacas}}{2} \right] + \left[ \frac{\text{Vacas de primer parto}}{2} \right] * \text{Tasa de supervivencia de terneros}$$

**Total de terneros** [35]

Terneros + Terneras

**Novillas de levante** [36]

(Terneros (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas y machos de levante) \* Tasa de permanencia de jóvenes

**Novillas de vientre** [37]

$$\left[ \frac{(\text{Novillas de levante (inicial)} * \text{Tasa de supervivencia de novillas de vientre y machos en ceba})}{(\text{Novillas de vientre (inicial)} - \text{Vacas de primer parto})} + \text{Tasa de permanencia de adultos} \right]$$

**Total de novillas** [38]

Novillas de Levante + Novillas de Vientre

**Machos de levante** [39]

( Terneros (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas y machos de levante) \* Tasa de permanencia de jóvenes

**Machos en ceba**

( Machos de levante (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas de vientre y machos en ceba) \* Tasa de permanencia de adultos [40]

**Total de machos** [41]

Machos de Levante + Machos en ceba

**Toros en Servicio** [42]

Toros en servicio (inicial) \* Tasa de supervivencia de toros

**Sumatoria de población** [43]

Total de vacas + Total de terneros + Total de novillas + Total de machos + Toros en servicio

Las siguientes ecuaciones determinan la población que sale del sistema de producción ya sea por descarte ó por ventas:

**Vacas descartadas** [44]

( Total de vacas (inicial) \* Tasa de supervivencia de vacas ) \* Tasa de descarte de vacas

**Machos de levante** [45]

( Terneros (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas y machos de levante) \* Tasa de extracción de jóvenes



**Novillas de levante** [46]  
 ( Terneras (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas y machos de levante) \* Tasa de extracción de adultos

**Machos en ceba** [47]  
 ( Machos de levante (inicial) \* Tasa de supervivencia de novillas de vientre y machos en ceba)\*  
 Tasa de extracción de adultos

**Novillas de vientre** [48]  

$$\left[ \frac{(\text{Novillas de levante ( Inicial) * Tasa de supervivencia de novillas de vientre y machos en ceba})}{(\text{Novillas de vientre (inicial) - Vacas de primer parto})} \right] \text{ Tasa de extracción de adultos}$$



## Anexo 6. Valores a incluir para complementar el análisis económico.

Precio de venta del litro de leche en época seca y en época lluviosa  
Precio de compra del litro de leche  
Precio del kilogramo de carne en pie por grupo etéreo  
Precio del baño por animal  
Valor del jornal/diario  
Valor del salario mínimo legal vigente  
Precio del bulto de sal  
Valor servicio de luz mensual  
Valor servicio acueducto veredal mensual  
Valor por drogas y vacunas por UGDP  
Valor de control de mastitis/vaca  
Valor del pase de cincel vibratorio  
Valor del pase de rastra  
Valor del pase de volcadora  
Valor del kilogramo de semilla Kudzú  
Valor del kilogramo de semilla Arachis pintoi  
Valor del kilogramo de semilla Cratylia  
Valor del kilogramo de semilla de caña  
Valor de kilogramo de semilla B. decumbens  
Valor del kilogramo de Flor de Azufre  
Precio del kilogramo de Inóculo  
Precio del kilogramo de Cal dolomita  
Precio del kilogramo de Roca fosfórica  
Precio del kilogramo de DAP  
Precio del kilogramo de Urea  
Precio del kilogramo de Borozinco  
Precio del kilogramo de KCL  
Precio del kilogramo de Sulcamag  
Valor del análisis de suelo



## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR G., C. 2000. Evaluación de sistemas agropecuarios de producción mediante modelos de simulación. Santiago de Chile: s.n., s.f. 43 p.

AGUILAR G., C. 1997. Simulación de sistemas: Aplicaciones en producción animal. Santiago de Chile: Publicación Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, 241 p.

CORPOICA. 2003. Laboratorio de Suelos C.I. La Libertad. Registro magnético de servicio. Informe Anual. Villavicencio, Meta, Colombia.

FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL DE CAPACITACIÓN EN DESARROLLO PECUARIO y FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS. 1998. Administración y Gestión de Empresas Ganaderas. Santafé de Bogotá. 133 p.

HEYDEMANN-ULLRICH, B. 1996. Prevalencia e importancia de la mastitis en explotaciones bovinas de la región del Piedemonte en el departamento del Meta, Colombia. Proyecto Colombo-alemán, CORPOICA-GTZ. Bogotá. D.C.

HOOVER, S.V.; PERRY, R.F. 1997. Simulation: A problem-solving approach, citado por AGUILAR G., C. Simulación de sistemas: Aplicaciones en Producción Animal. Santiago de Chile: Publicación Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. p.46.

PARDO B., O. 2003. Informe anual laboratorio de Nutrición Animal. C.I. la Libertad. CORPOICA, Villavicencio, Meta. Medio Magnético.

PARRAA., J.L.; HERNÁNDEZ, E.H.; CALDERÓN, M.M.; OLAYA, J.E.; PATIÑO, J.; GARZÓN, A.C.; VILLAR C., C.E.; MARTÍNEZ CH., E.; FLÓREZ D., H.; GUÍO, R. 2003. Optimización de la producción de carne en el sistema de producción bovino doble propósito del Piedemonte llanero. Informe Final. CORPOICA-PRONATTA. Villavicencio, Meta.

PARRAA., J.L.; DURÁN P., R.; BARAJAS D., P.; ONOFRE R., I.G.; VELÁSQUEZ P., H.; COLMENARES, O.; GONZÁLEZ, J.E. 2000. Modelo de asistencia técnica integral pecuaria para pequeños y medianos productores del sistema doble propósito del Piedemonte llanero. Informe Final. CORPOICA-PRONATTA.



Villavicencio, Meta. 228 p.

PÉREZ B., R.A. 2003. Informe anual programa regional de Investigación pecuaria. C.I. La Libertad. CORPOICA, Villavicencio, Meta. Medio Magnético.

RINCÓN C., Á. 1999. Validación ajuste y transferencia de tecnología en la recuperación de praderas degradadas en fincas de productores del Piedemonte del Meta y de la Altillanura colombiana. Informe Final. CORPOICA-PRONATTA. Villavicencio, Meta. 37 p.

RINCÓN C., Á. 1999. Degradación y Recuperación de Praderas en los Llanos Orientales de Colombia. Villavicencio: Comunicar Asesores. Boletín técnico N°19. p.5.

RODRÍGUEZ R., A.; BELTRÁN B., D.M. 2004. Modelo de simulación para el sistema de producción de ganado doble propósito del Piedemonte llanero, bajo un enfoque sistémico. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad de los Llanos.

ROMERO P., J.R. et al. 1994. Elementos de planificación para el sector pecuario. Santafé de Bogotá: Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. Febrero. 264 p.

RUIZ, R.; OREGUI L.M. El Enfoque Sistémico en el Análisis de la producción animal: revisión bibliográfica (Revisión). [Documento consecutivo en línea]. s.n. [sine loco]. 16-1-01. [citado en 2002-09-01]. Investigación Agropecuaria: Producción y Sanidad Animal. Disponible en Internet.

SPEDDING C., R.W. 1997. The Biology of Agricultural Systems citado por Wadsworth, Jonathan. Análisis de sistemas de producción animal [Documento consecutivo en línea]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Disponible en Internet: <http://www.fao.org/DOCREP/004/W7451S/W7451S00.IITM>.

