

Método integral para la gestión de la producción de lechería especializada, en el trópico alto cundinamarqués

Juan Carlos Silva Rincón
José Antonio Mesa Reyes





Método integral para la gestión de la producción de lechería especializada, en el trópico alto cundinamarqués

Documento Técnico de Soporte



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

Silva Rincón, Juan Carlos

Método integral para la gestión de la producción de lechería especializada, en el trópico alto cundinamarqués : documento técnico de soporte / Juan Carlos Silva Rincón, José Antonio Mesa Reyes ; colaboradores, Jeimmy Alejandra Ospina Garzón, Tatiana Ocampo, Leonardo Bojacá, Érica Mora, Maribel Ríos. -- [Mosquera], Cundinamarca : SENA. Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2018.

179 páginas : fotografías. -- (Colección libros de investigación CBA)

Bibliografía: páginas 157-161.

Contenido: Caracterización y modelamiento de la unidad de producción lechera –
- Desarrollo del método integrador para la gestión de la producción lechera.
ISBN 978-958-48-1528-6

1. Leche--Producción--Investigaciones 2. Predios lecheros I. Mesa Reyes, José Antonio II. Ospina Garzón, Jeimmy Alejandra, colaborador III. Ocampo, Tatiana, colaborador IV. Bojacá, Leonardo, colaborador V. Mora, Érica, colaborador VI. Ríos Maribel, colaborador VII. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD: 637.1

Método integral para la gestión de la producción de lechería especializada, en el trópico alto cundinamarqués

Documento Técnico de Soporte

**Juan Carlos Silva Rincón
José Antonio Mesa Reyes**

Colaboradores:

Jeimmy Alejandra Ospina Garzón

Tatiana Ocampo

Leonardo Bojacá

Érica Mora

Maribel Ríos

2018



José Antonio Lizarazo Sarmiento
Director General del Sena

José Darío Castro Uribe
Director de formación profesional

Gustavo Adolfo Araque Ferraro
Director Regional Cundinamarca

Edgard Sierra Cardozo
Subdirector Centro de Biotecnología Agropecuaria

Emilio Eliécer Navia Zúñiga.
Coordinador Nacional de Sennova

Carlos Alberto Garay García
Líder Sennova Centro de Biotecnología Agropecuaria

**MÉTODO INTEGRAL PARA LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE
LECHERÍA ESPECIALIZADA, EN EL TRÓPICO ALTO CUNDINAMARQUÉS**

© **Juan Carlos Silva Rincón**
José Antonio Mesa Reyes
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
2018

ISBN: 978-958-48-1528-6

Fotografías:

María Fernanda Garzón Zabala

Preprensa e impresión

Editorial Gente Nueva

Impreso en Colombia / Printed in Colombia

Contenido

PRÓLOGO	13
INTRODUCCIÓN	15
HIPÓTESIS	17
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVOS	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21

PARTE UNO CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN LECHERA

1.	Marco teórico	25
1.1.	Proceso de producción de lechería especializada	25
1.1.1.	Proceso de reproducción	25
1.1.2.	Proceso de producción	29
1.2.	Dinámica de sistemas	31
1.2.1.	Elementos de la dinámica de sistemas	32
1.2.2.	Aplicaciones y usos de la dinámica de sistemas	37
2.	Diseño metodológico	39
2.1.	Generalidades	39
2.1.1.	Población	39
2.1.2.	Caso de estudio	39
2.1.3.	Horizonte temporal	40
2.1.4.	Variables de desempeño	40
2.1.5.	Fuentes de información	40
2.1.6.	Herramientas	41
2.2.	Construcción del modelo de simulación	41
2.2.1.	Etapas para suministro de datos e información	42
2.2.2.	Etapas de proceso	44
2.2.3.	Etapas de análisis de información y datos de salida	46
3.	Caracterización de la unidad de producción de leche	47
3.1.	Terminología	47
3.2.	Descripción general de la finca	47
3.3.	Análisis de datos de entrada	51
3.4.	Descripción de las características y variables del sistema de producción de leche actual	54

3.4.1.	Lactancia y ordeño (proceso)	55
3.4.2.	Alimentación (entrada)	58
3.4.3.	Salud preventiva (entrada)	61
3.4.4.	Mastitis (entrada)	64
3.4.5.	Maduración	65
3.4.6.	Reproducción	66
3.4.7.	Gestación	67
3.4.8.	Parto	67
3.4.9.	Descarte	68
3.4.10.	Leche (producto o salida)	68
3.4.11.	Ventas en pie (salida)	70
4.	Modelamiento de la unidad de producción lechera	71
4.1.	Diagramas causales	71
4.2.	Diagramas de Forrester	73
4.2.1.	Dinámica biológica de la unidad animal	73
4.2.2.	Dinámica del producto - leche producida	79
4.2.3.	Evaluación económica	82
4.3.	Validación del modelo	83
5.	Análisis del comportamiento del sistema actual	85
5.1.	Descripción del comportamiento de las variables del sistema	85
5.1.1.	Nivel del hato	85
5.1.2.	Pérdidas de producto	86
5.1.3.	Análisis de los indicadores de viabilidad económica	87
5.2.	Análisis de sensibilidad	90
5.2.1.	Desempeño reproductivo	90
5.2.2.	Tasas de aborto y mortinatos	91
5.2.3.	Sexo del neonato	92
6.	Identificación de estrategias de mejora del proceso de producción	95
6.1.	Estrategias de mejora vía costo de lechería especializada	95
6.2.	Estrategias de mejora vía precio	100
7.	Evaluación de las estrategias de mejora del proceso de producción	103
7.1.	Estrategias para estabilizar el nivel del hato	103
7.1.1.	Política de descarte por reproducción de lechería especializada	103
7.1.2.	Política de uso de semen sexado	105
7.2.	Estrategia para la reducción de pérdidas de producto	106
7.2.1.	Política de programación de desparasitación individual	107
7.3.	Estrategias para aumentar el nivel del hato	110
7.3.1.	Política de compra programada	111
7.4.	Estrategia para reducir los costos del sistema	115
7.4.1.	Política para reducir los costos de alimentación	115
7.5.	Estrategia para incrementar los ingresos del sistema	118
7.5.1.	Política para incrementar el precio de venta del litro de leche	118

PARTE DOS
DESARROLLO DEL MÉTODO INTEGRADOR
PARA LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN LECHERA

8.	El mapa de procesos de la producción de leche en su finca	127
8.1.	Identificación de variables de entrada, proceso y salida y variables de estado	127
8.1.1.	Entradas	127
8.1.2.	Procesos	128
8.1.3.	Salidas	130
9.	Rotación de potreros: alimentando a su ganado de la mejor manera y al mejor precio posible	131
9.1.	Planeación forrajera.	131
9.2.	Antecedentes: El modelo de pastoreo racional de André Voisin	131
9.3.	La vaca, unidad de producción en el hato, es unidad de carga para los potreros	133
9.4.	El modelo neozelandés	133
9.4.1.	Consideraciones acerca de la implementación del modelo neozelandés en Colombia	134
9.5.	Propuesta de modelo de rotación de potreros	135
9.5.1.	Cómo implementar el modelo de rotación de potreros en el CBA	136
9.5.2.	Fundamentos para la elaboración de un modelo de rotación de potreros	137
10.	Desarrollo del modelo de control permanente o Cuadro de Mando Integral (CMI)	141
10.1.	Antecedentes del Cuadro de Mando Integral (CMI)	141
10.2.	Aplicaciones del Cuadro de Mando Integral en ganadería y en producción de leche	142
10.3.	Propuesta de Cuadro de Mando Integral para la finca San Pedro del CBA Mosquera	145
10.3.1	Perspectiva de procesos internos	147
10.3.2.	Perspectiva financiera	149
10.3.3.	Perspectiva de formación y crecimiento	149
10.3.4.	Perspectiva del cliente	149
10.4.	Cómo implementar el concepto de Cuadro de Mando Integral en el CBA	149

PARTE TRES
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	153
Recomendaciones	155
BIBLIOGRAFÍA	157

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de datos de entrada	163
---------------------------------------	-----

Índice de Tablas

Tabla 1.	Segmentación de las explotaciones ganaderas por tamaño del hato en la región del Altiplano Cundiboyacense.	39
Tabla 2.	Herramientas computacionales usadas para el procesamiento de datos y el análisis y modelamiento del sistema de producción de lechería especializada.	41
Tabla 3.	Inventario animal bovino por grupos o potreros de la finca San Pedro del CBA del SENA	50
Tabla 4.	Inventario de animal bovino por razas de la finca San Pedro del CBA del SENA	50
Tabla 5.	Etapas de lactancia y parámetros.	52
Tabla 6.	Mastitis y parámetros.	52
Tabla 7.	Concepción y parámetros.	53
Tabla 8.	Aborto y parámetros	53
Tabla 9.	Supervivencia del neonato y parámetros.	53
Tabla 10.	Sexo de la cría y parámetros.	54
Tabla 11.	Precio del litro de leche y parámetros	54
Tabla 12.	Costos de limpieza del equipo de ordeño de la finca San Pedro del CBA del SENA	58
Tabla 13.	Suministro de concentrados y sales para el ganado bovino de la finca San Pedro del CBA del SENA.	60
Tabla 14.	Precio unitario de cada tipo de concentrado y sal.	60
Tabla 15.	Vacunación y dosis para ganado bovino.	61
Tabla 16.	Precios de vacunación para ganado bovino.	62
Tabla 17.	Dosis y frecuencia de suministro de desparasitantes para el ganado bovino de la finca San Pedro del CBA del SENA.	62
Tabla 18.	Precio unitario de desparasitantes.	63
Tabla 19.	Cantidad y frecuencia de empleo de pesticidas en la finca San Pedro del CBA del SENA.	63
Tabla 20.	Precio unitario de pesticidas.	64
Tabla 21.	Honorarios del personal de la finca San Pedro del CBA del SENA.	70
Tabla 22.	Error porcentual obtenido al comparar las cantidades de litros de leche mensuales para la venta del sistema real y del sistema simulado desde junio de 2014 hasta mayo de 2015.	83
Tabla 23.	Rentabilidad proyectada de la producción de lechería especializada en la finca San Pedro del CBA del SENA.	89

Tabla 24.	Estructura del cronograma individual de desparasitación del hato.	107
Tabla 25.	Retiro de leche con la programación individual de desparasitación de animales.	108
Tabla 26.	Pérdidas de leche debido a desparasitación de animales con programación grupal e individual.	109
Tabla 27.	Rentabilidad obtenida con la implementación de las políticas propuestas de descarte por deficiencia reproductiva y programación de desparasitación individual.	110
Tabla 28.	Rentabilidad obtenida con la implementación de la política de compra programada de animales.	112
Tabla 29.	Financiación de compra de novillas.	113
Tabla 30.	Rentabilidad obtenida con la implementación de la compra programada de animales con financiación.	114
Tabla 31.	Participación anual de los costos de concentrados en los costos totales de alimentación.	116
Tabla 32.	Rentabilidad obtenida con la reducción de los costos de concentrados	117
Tabla 33.	Rentabilidad obtenida con el incremento del precio de venta del litro de leche.	122
Tabla 34.	Rentabilidad obtenida por venta de leche a un valor promedio de \$1.122 por litro.	123
Tabla 35.	Cálculo de la demanda diaria de alimento para la Finca San Pedro	139
Tabla 36.	Lista de indicadores relacionados con el área de producción/operaciones.	142
Tabla 37.	Cuadro de Mando Integral (CMI) propuesto para la finca San Pedro del CBA de Mosquera.	146

Índice de figuras

Figura 1.	Ciclo estral de la vaca lechera.	26
Figura 2.	Diagrama causal del proceso de llenado de un vaso de agua: (a) Con un grafo orientado; (b) Con un grafo signado.	33
Figura 3.	Estructura de un bucle de realimentación positiva en (a) y su comportamiento correspondiente en el tiempo en (b).	34
Figura 4.	Estructura de un bucle de realimentación negativa en (a) y su comportamiento correspondiente en el tiempo en (b).	35
Figura 5.	Estructura de un bucle de realimentación negativa con un retraso en (a) y su comportamiento correspondiente en el tiempo en (b).	35
Figura 6.	Representación gráfica de las variables de flujo y de nivel en el diagrama de Forrester.	36
Figura 7.	Diagrama de Forrester del proceso de la propagación de una epidemia.	37
Figura 8.	Estructura metodológica general para la construcción	42
Figura 9.	Proceso para la observación y definición de la estructura del sistema real.	43
Figura 10.	Estructura de la formulación del modelo de simulación.	44
Figura 11.	Vista satelital del CBA Mosquera en la cual se aprecian: 1. Ingreso al CBA. 2. Sector Administrativo. 3. Gerencia de la finca. 4. Planta de agua. 5. Planta de ordeño. 6. Estercolero. 7. Siembra de especies forrajeras. Las pasturas están entre la planta de ordeño y la siembra de especies forrajeras.	48
Figura 12.	Estructura del proceso de producción de lechería especializada de la finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria (CBA) del SENA.	55
Figura 13.	Diagrama causal de la estructura del sistema de producción de lechería especializada.	72
Figura 14.	Diagrama causal financiero de la producción de lechería especializada. (Signos mayor que y menor que vinculan a otro diagrama)	73
Figura 15.	Diagrama de Forrester para parto y nacimiento.	74
Figura 16.	Diagrama de Forrester para maduración.	74
Figura 17.	Diagrama de Forrester para la primera reproducción.	75
Figura 18.	Diagrama de Forrester para gestación.	76
Figura 19.	Diagrama de Forrester para horro.	76
Figura 20.	Diagrama de Forrester para manga.	77

Figura 21.	Diagrama de Forrester para lactancia.	78
Figura 22.	Diagrama de Forrester para reproducción post-lactancia.	79
Figura 23.	Diagrama de Forrester para la leche producida.	81
Figura 24.	Diagrama de Forrester para evaluación económica.	82
Figura 25.	Diagrama de Forrester para ingreso por venta de leche.	83
Figura 26.	Resultados de prueba t de comparación de medias para una muestra para validación del modelo de simulación.	84
Figura 27.	Comportamiento del nivel del hato.	85
Figura 28.	Pérdidas anuales de leche de la finca San Pedro del CBA del SENA.	87
Figura 29.	Costos anuales para la producción de lechería especializada en la finca San Pedro del CBA del SENA.	88
Figura 30.	Análisis de sensibilidad del desempeño reproductivo.	91
Figura 31.	Análisis de sensibilidad de la probabilidad de aborto.	91
Figura 32.	Análisis de sensibilidad de la probabilidad de mortinato.	92
Figura 33.	Análisis de sensibilidad del sexo del neonato.	93
Figura 34.	Nivel del hato con la implementación de la nueva política de descarte por deficiencia reproductiva.	104
Figura 35.	Nivel del hato con la implementación del uso de semen sexado.	106
Figura 36.	Estructura de la programación actual de desparasitación del hato de la finca San Pedro del CBA del SENA.	107
Figura 37.	Pérdidas de leche debido a desparasitación de animales con programación grupal e individual.	109
Figura 38.	Nivel del hato con la implementación de la política de compra programada de animales.	112 112
Figura 39.	Valor en pesos pagado por COLANTA por el litro de la leche producida en la finca San Pedro del CBA del SENA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016.	120
Figura 40.	Histograma de frecuencias del valor pagado por COLANTA por el litro de la leche producida en la finca San Pedro del CBA del SENA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016.	120
Figura 41.	Frecuencia relativa del valor pagado por COLANTA por el litro de la leche producida en la finca San Pedro del CBA del SENA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016.	121
Figura 42.	Mapa de procesos propuesto para la finca lechera.	127
Figura 43.	Planeación forrajera.	138
Figura 44.	Bebederos y diversidad vegetal en un potrero de la finca San Pedro del CBA Mosquera del SENA.	138 138
Figura 45.	Cuadro de Mando Integral (CMI) propuesto por Dunn y Etheredge para una finca lechera.	145 145

índice de imágenes

Imagen 1. California Mastitis Test (CMT).	31
Imagen 2. Animales pertenecientes al ható lechero de la finca San Pedro del CBA del SENA.	49 49
Imagen 3. Ható lechero de la finca San Pedro del CBA listo para ingresar a la sala de ordeño en el turno de las 2 p.m.	56
Imagen 4. Sistema implementado para disposición de sal mineralizada en los potreros de la finca San Pedro del CBA.	59 59

PRÓLOGO

Este documento establece un método integral para la gestión de la producción de lechería especializada en fincas localizadas en el trópico alto cundinamarqués a partir del análisis en concreto del sistema de producción de leche cruda de la finca San Pedro del Centro de Biotecnología (CBA) del SENA, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Mosquera (Cundinamarca).

Para ello, por medio de consulta de información tanto primaria como secundaria, de visitas realizadas a centros de producción y de entrevistas realizadas a expertos, inicialmente se construye un modelo de simulación por medio de la dinámica de sistemas que representa la operación del sistema de producción actual y permite analizar el comportamiento de variables de tipo financiero y operacional, para posteriormente, desde la perspectiva de planeación y programación de la producción, determinar diferentes estrategias de mejora y evaluar su impacto a nivel de rentabilidad al ser implementadas en el sistema productivo bajo análisis.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche cruda es una de las actividades de mayor participación en el sector agropecuario del país, generando más de 500 mil empleos en todo el territorio nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013). Colombia ocupó en el año 2012 el puesto 13 a nivel internacional en la producción de leche, con un total de 6.712 millones litros/año, y el puesto 10 en el consumo per cápita de este producto, con un total de 141 litros/habitante-año, ubicándose así entre los mayores productores y, al mismo tiempo, consumidores de leche en América Latina (COLANTA, 2014).

La leche producida en Colombia procede básicamente de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Cesar, Atlántico, Sucre, Caquetá y Nariño, destacándose el Altiplano Cundiboyacense entre las regiones con mayor número de productores especializados en el sector agroindustrial (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013). En el año 2010, 350 mil productores de estos ocho departamentos produjeron 6.500 millones de litros de leche, ubicando al país como el cuarto productor de leche en América Latina y el Caribe y, a nivel mundial, en el número 15 del pódium de productores (Forero Medina, 2016).

A pesar de ser una actividad productiva relevante en la economía nacional y regional, las problemáticas relacionadas, como son los altos costos de producción, los bajos precios pagados por los industriales y el poco acceso y/o uso de tecnologías, son frecuentes en el día a día del pequeño y mediano ganadero cundinamarqués. Las bajas o nulas rentabilidades han dado lugar a manifestaciones de inconformidad por el ingreso al país de leche importada (Valenzuela, 2014), ya que las industrias extranjeras mantienen una estructura de producción con niveles de costo por unidad inferiores al precio que puede producir una finca local.

Aumentar y mantener la rentabilidad de una finca de ganado lechero es una iniciativa estratégica que puede iniciarse con el mejoramiento de aspectos que impacten su propia estructura de producción, ya que un hato lechero se comporta

como cualquier otro sistema productivo, diferenciándose únicamente por la naturaleza de sus unidades de transformación productivas. puesto que estas no son entidades inertes como lo puede ser una máquina, sino que son animales cuyo comportamiento está ligado a condiciones biológicas. A pesar de lo anterior, la producción lechera puede caracterizarse a la luz del enfoque de procesos, identificando la entrada de insumos (alimentos, medicinas, recursos financieros, etc.), transformación (concepción, gestación, lactancia y crecimiento) y salidas (nacimientos, leche, descarte, desperdicios, etc.). Si se sigue la premisa anterior, mejorar esta estructura implicaría también lograr mejores niveles de producción y costos adecuados para los ingresos a obtener.

HIPÓTESIS

A partir del análisis y la evaluación del sistema de producción de lechería especializada de la finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA será posible identificar y establecer estrategias basadas en la planeación y programación de la producción que permitirán construir un método integral de operaciones que pueda ser aplicable a fincas de productores pertenecientes al trópico alto cundinamarqués con el fin de mejorar los niveles de rentabilidad económica de sus negocios.

JUSTIFICACIÓN

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural junto con el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, en su informe “Implementación política para mejorar la competitividad del sector lácteo nacional”, indican que el sector lácteo ha tenido una participación del 2% en el PIB Nacional en la última década, siendo la producción de leche una de las actividades más importantes del sector agropecuario, dado que representa el 9,1% de su PIB y el 24,3% del PIB pecuario y significa cerca de 350.000 productores en todo el territorio nacional.

A pesar de la importancia de la producción de leche en la economía colombiana, esta actividad presenta actualmente bajos índices de productividad debido, en parte, a los altos costos de producción en finca, los cuales son muy superiores a los de los mayores productores mundiales y, según la región y el sistema de producción, contrastan con los bajos precios pagados por el producto, el bajo nivel de asociatividad y de especialización de la cadena y el uso insuficiente o inadecuado de tecnologías. Todas estas problemáticas afectan principalmente a pequeños y medianos productores, quienes son los que mayoritariamente conforman la producción lechera en finca del país (Sánchez, 2014).

Es por esto que el gobierno nacional ha venido adelantando la implementación de una política sectorial que permita dar prioridad al desarrollo del sector lácteo en los diferentes departamentos del país, principalmente en aquellas zonas que ha denominado Zonas de Excelencia Sanitaria (ZES), “las cuales son una estrategia que se definió en el Conpes 3676 de 2010, para que en ellas se focalicen las acciones para lograr la auto declaración de zonas libres de Brucelosis Bovina (BB) y de Tuberculosis Bovina (TBC); la certificación de predios en Buenas Prácticas Ganadera (BPG), entre otras actividades”. Los criterios para la selección de las diez (10) ZES (cinco para producción de leche, cuatro para producción de carne y una para doble propósito) fueron: “población animal, razas existentes, nivel de producción, condiciones agroecológicas, vías de acceso, infraestructura, presencia del ICA como autoridad sanitaria, presencia de autoridades de inspección,

vigilancia y control, estatus sanitario alcanzado y avances en aspectos relacionados con la inocuidad” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2015).

Entre las cinco ZES seleccionadas para la producción de leche, además del norte de Antioquia y el sur de Nariño y municipios del norte de Putumayo, se encuentran las siguientes (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2015):

- Sabana de Bogotá: conformada por Bogotá y municipios del departamento de Cundinamarca.
- Valles de Ubaté y Chiquinquirá: conformada por 14 municipios de los cuales cuatro quedan ubicados en Boyacá y diez en Cundinamarca.
- Cordón lechero central de Boyacá: conformada por 20 municipios del departamento de Boyacá.

En tal sentido, el eslabón primario del sector lácteo (leche cruda) constituye una fuente importante productiva y económica tanto para la región del trópico alto cundinamarqués como para el país en general. Este, debido a las distintas problemáticas que enfrenta hoy, requiere de trabajos de tipo investigativo que permitan establecer estrategias de mejoramiento continuo, encaminadas a alcanzar los más altos índices de calidad y eficiencia, para así cumplir con objetivos tanto económicos (ingresos y costos) como productivos.

El SENA es un establecimiento público del orden nacional, encargado de cumplir la función que corresponde al Estado de invertir en el desarrollo social y técnico de los trabajadores colombianos, ofreciendo y ejecutando la formación profesional integral, para la incorporación y el desarrollo de las personas en actividades productivas que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico del país.

El Centro de Biotecnología Agropecuaria (CBA) de Mosquera, Cundinamarca, comprometido con las estrategias de la Dirección General del SENA, y en concordancia con el Plan Estratégico 2015 – 2018, ha recibido recursos para el desarrollo del presente trabajo de investigación, cuyo objetivo primordial es desarrollar un método de producción de leche que rentabilice el negocio ganadero en la sabana de occidente. Ello, en desarrollo del mencionado Plan, donde se expresa la necesidad de gestar y consolidar el desarrollo de procesos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico a través del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), con el propósito de “fortalecer los estándares de calidad y pertinencia, en las áreas de investi-

gación, desarrollo tecnológico e innovación, de la formación profesional impartida en la Entidad” (SENA, 2015).

Con tales fines en mente, este trabajo se propone conocer el proceso productivo actual desarrollado en la finca San Pedro del CBA, articularse a la metodología de investigación del grupo de investigación SENNOVA, definir un horizonte de planeación, definir las diferentes variables existentes y seleccionar las fuentes de información, todo lo cual permitirá modelar el funcionamiento sistema actual.

Para ello es requisito fundamental contar con información objetiva y completa a partir de la obtención de datos tanto físicos, como los registrados en los aplicativos informáticos manejados en la finca: Daily Plan y Taurus. Además, es necesario realizar el análisis estadístico y la presentación de informes de:

- Proceso de lactancia y ordeño (variables de proceso).
- Información nutricional (variable de entrada).
- Salud preventiva y correctiva (variables de entrada).
- Mastitis (variable de entrada).
- Vaca y manejo (variables de proceso).
- Litros de leche (producto - variable de salida).
- Venta de ganado en pie (producto - variable de salida).

El levantamiento y análisis de todo lo anterior proveerá información estadísticamente validada, lo que a su vez permitirá emitir conclusiones sobre el comportamiento actual y futuro del sistema de producción de leche.

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer un método para la gestión de la producción de lechería especializada en fincas ubicadas en el trópico alto cundinamarqués, con el fin de incrementar la rentabilidad de los medianos productores de leche cruda de esta zona.

Objetivos específicos

1. Caracterizar y representar el comportamiento actual de un sistema de producción lechera (caso específico del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en Mosquera, Cundinamarca) midiendo variables de producción y rentabilidad.
2. Diseñar estrategias que faciliten una gestión y producción eficientes, acordes tanto a la realidad del sector agropecuario regional como a la calidad de vida, medios y recursos de la población campesina cundinamarquesa.
3. Evaluar el efecto de las estrategias planteadas sobre la rentabilidad, el costo total y la producción, a través de técnicas de simulación continua.



PARTE UNO
CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DE
LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN LECHERA

1. Marco teórico

1.1. Proceso de producción de lechería especializada

Una finca lechera es un negocio estable que consiste en tener ganado de alta producción para obtener leche en cantidad y de calidad (Lesur, 2008). Por ende, su objetivo es el de producir partos que generen tanto crías, preferiblemente hembras, como el inicio de la lactancia, para obtener el producto final, es decir, la leche.

Teóricamente, es esencial que una vaca lechera tenga una cría cada año, es decir, un parto cada 365 días, y de 6 a 8 partos a lo largo de su vida productiva, con 6 a 8 períodos de interparto, cada uno de los cuales consta de cuatro etapas: parto y calostro, producción, calor y, finalmente, gestación y seca.

El tamaño del hato (cantidad de vacas en proceso productivo de leche) es una medida fundamental del negocio lechero, limitada por los recursos de alimentación y alojamiento, la forma de ganadería utilizada y los recursos financieros disponibles. Ese tamaño debe maximizarse para sacar el más rentable provecho de los costos fijos de la finca lechera.

De acuerdo con esto, una vaca debe pasar básicamente por ciclos reproductivos y productivos para poder obtener la leche. Estos ciclos son descritos a continuación.

1.1.1. Proceso de reproducción

Ciclo estral: es el período comprendido entre la aparición de los celos, entendiéndose este último término como el momento en el cual las hembras con madurez reproductiva son receptivas sexualmente y dan lugar a la ovulación (La Torre, 2001). El celo ocurre en promedio cada 21 días con una duración aproximada de 14 horas (aunque puede reducirse a 8 o prolongarse a 24 en casos excepcionales) (Lesur, 2008).

Este período promedio de 14 horas es el único momento durante el ciclo de 21 días en que la vaca permite que el toro la monte. Si no concibe, la hembra volverá a entrar en calor a los 21 días.

Dentro del ciclo estral de la vaca, el cual es representado en la Figura 1, se identifican cuatro etapas, que son (Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional para la Industria Lechera, 2001):

- Etapa 1: proestro. Está determinado por el intervalo entre el final de un ciclo y el inicio del siguiente, con una duración de uno a tres días.
- Etapa 2: celo o estro. Es la etapa donde se debe montar o inseminar la vaca. Su detección acertada es vital para el proceso, ya que su duración es de menos de un día. En este periodo, el folículo y el óvulo alcanzan los estados finales de maduración.
- Etapa 3: metaestro. Tiene una duración media de tres días, y es el momento en el que la pared rasgada del folículo que queda en la superficie del ovario desarrolla el cuerpo lúteo¹.

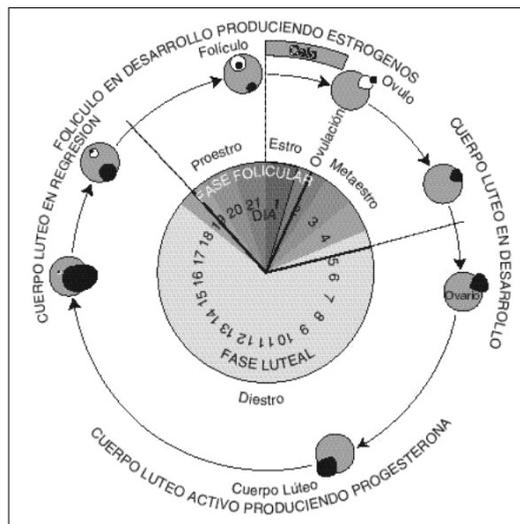


Figura 1. Ciclo estral de la vaca lechera.

Fuente: Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional para la Industria Lechera en "Sistema Reproductivo del Ganado Lechero".

1 Luego de ocurrida la ovulación, el tejido que fue parte del folículo se transforma en el cuerpo lúteo (o cuerpo amarillo), el cual produce progesterona para preparar al útero para la preñez y evitar el completo desarrollo de un nuevo folículo, impidiendo así la aparición de un ciclo estral en caso de que se produzca la preñez (Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional para la Industria Lechera, 2001).

- Etapa 4: diestro. Dura de 12 a 15 días, en los cuales el cuerpo lúteo es grande y totalmente funcional.

Empadre o monta o inseminación artificial: La fecundación de una vaca en celo se puede dar mediante estos dos métodos, para lo cual deben considerarse primero las siguientes condiciones:

- Condición de peso corporal: los órganos genitales de la vaca estarán aptos para la preñez entre los 250 y los 380 kilos, según la raza (Lesur, 2008).
- Condiciones de edad: el primer empadre o cruza de una vaquilla se puede hacer desde su primer estro o celo, pero conviene esperar hasta los 18 meses y preferiblemente hasta los dos años de edad de la misma (Lesur, 2008).

Aunque en ganaderías de lechería especializada no se recomienda criar machos debido al costo de la crianza, es posible el uso de monta, que se refiere a la fertilización natural por el toro. Los machos pueden servir para monta desde los 15 meses de edad, aunque se recomienda usarlos después (Lesur, 2008).

Existen varios tipos de monta, los cuales son:

- Monta natural: se tiene el macho en el potrero con los demás animales, pero este proceso dificulta el control reproductivo y de fertilidad (SENA, 1985).
- Monta controlada: para este procedimiento se mantiene el toro apartado en un establo, donde es tratado de acuerdo a sus propias necesidades alimentarias y de cuidados veterinarios. Como desventaja se encuentra el alto costo de mantenimiento del animal (SENA, 1985).

A diferencia de la monta, la inseminación artificial consiste en depositar semen en la vagina de la vaca sin la ayuda de un toro. Esta técnica es la más usada en fincas lecheras ya que al no ser necesaria la cría de un toro los costos de producción disminuyen. Además, gracias a este método, el semen empleado puede ser de un semental de la propia finca o bien semen de toros genéticamente superiores para aumentar la calidad del ganado e incrementar los rendimientos y ganancias del hato (Lesur, 2008).

Los pasos para realizar inseminación artificial son (Urdaneta & Olivares, 1985):

1. Control de enfermedades infecto-contagiosas: revisión del estado de salud de las vacas periódicamente.

2. Detección del celo: se observa detalladamente el comportamiento de la vaca para determinar su estado.
3. Momento de la inseminación: debe realizarse durante la segunda mitad del celo para asegurar que los espermatozoides depositados fecunden el óvulo.
4. Inseminación después del parto: se presentará el primer celo luego de un parto entre los 30 y 45 días posteriores, pero este no será apto para inseminaciones por recuperación del sistema reproductivo del animal, por lo que se recomienda inseminar alrededor del día 60.

Gestación y seca: la gestación dura alrededor de 9 meses (270 días), de los cuales los dos últimos son de seca; al final de los 10 meses de producción, cuando de gestación se tienen 7 meses, es necesario secar la vaca para que sus glándulas mamarias descansen y su organismo tenga óptimas condiciones para el parto y el principio de una nueva lactancia (Lesur, 2008). El proceso de secado consiste entonces en un ordeño final que se realiza en cada etapa de lactancia con el fin de detener la producción de leche por parte del animal.

El óvulo fecundado se desplaza hacia el útero y se implanta ahí 30 días después de la concepción, cuando se empieza a desarrollar la placenta y las membranas que servirán para proteger el feto (Lesur, 2008).

El feto no incrementa mucho su tamaño y peso sino hasta después de los 150 días de gestación, por lo que los requerimientos alimenticios de la vaca gestante no variarán mucho hasta pasados estos días, cuando necesitará una alimentación más abundante. Si no es primeriza, la vaca deberá ser secada 60 días antes del parto (Lesur, 2008).

El secado se realiza con el fin de que el animal recupere tejido mamario y condición corporal, para que tenga un parto adecuado y las suficientes reservas energéticas durante el mismo. Por tanto, durante este período, el cual generalmente se denomina de “transición” o “descanso”, se recomienda suplementar al animal y suministrar sal sin calcio, con el fin de activar la producción del mismo y evitar así la denominada enfermedad de las vacas caídas, la cual se presenta antes o durante el parto debido a la alta demanda de calcio en vacas de alta producción. Adicionalmente, al secar el animal se deben aplicar antibióticos preventivos intramamarios para evitar la mastitis (Restrepo, 2016).

En caso de que el animal se caiga antes o durante el parto (enfermedad de las vacas caídas), se le debe inyectar calcio (algunas veces acompañado de hipomagnesemia) vía intravenosa (Restrepo, 2016).

Una vez que se acerca la fecha del parto hay que observar a la vaca por lo menos tres veces al día en busca de los signos previos al alumbramiento (Lesur, 2008).

1.1.2. Proceso de producción

Este proceso comienza en el momento de inicio de la lactancia de la vaca recién parida y termina con el secado de la misma.

Parto y calostro: período que va desde la expulsión de la cría hasta que ésta tiene 3 días, momento en el que es separada de su madre y comienza la producción de leche, propiamente dicha (Lesur, 2008).

Al momento del parto, tan pronto como sea posible, las mucosidades de la nariz y trompa del ternero recién nacido deben ser limpiadas. Así mismo, se debe desinfectar el ombligo con tintura de yodo al 7% para evitar infecciones. En algunos casos se acostumbra poner también una inyección de vitamina A como refuerzo.

La cría debe mamar calostro en cuanto nace. Este contiene anticuerpos y vitamina A que protegen al animal recién nacido, el cual luego de seis horas de haber nacido pierde el 50% de su habilidad para absorberlos. Posteriormente, las crías deben recibir entre dos y tres litros de calostro diarios, divididos en dos o tres raciones.

A los pocos minutos de haber nacido, el animal debe ser identificado, ya sea mediante un arete o por medio de un tatuaje. Una vez identificado, se procede a registrar su fecha de nacimiento, peso, sexo, número de identificación de la madre, así como cualquier dificultad o singularidad presentada durante el parto.

Entre dos y doce horas después del parto la placenta es arrojada por el útero. Por ningún motivo deberá extraerse la placenta usando la fuerza (Lesur, 2008).

Es importante tener en cuenta que una vez el animal pare, comenzarán a transcurrir lo que se conoce como días abiertos, los cuales corresponden al período entre el parto y la siguiente concepción. Los días abiertos son un período de involución uterina en el que los órganos se acomodan nuevamente para la reproducción y comprende entre 45 y 60 días como máximo; entre 60 y 90 días después del parto ya se debe tener el animal preñado, de lo contrario, este comenzará a considerarse un animal problema pues no estaría dando un ternero al año, que corresponde a la condición ideal en producción de lechería especializada (Restrepo, 2016).

Lactancia: corresponde al período de producción de leche, propiamente dicha, la cual dura alrededor de 10 meses o 305 días. Comienza tres días después de que el ternero ha nacido, cuando la madre puede ser integrada a la línea de producción y puede ser ordeñada dos veces diarias.

El período de lactancia está dividido en tres etapas (tercios o fases) que son (Restrepo, 2016):

- De 1 a 100 días: donde generalmente se presenta el pico de producción de un animal, el cual se da en promedio entre los 50 y 60 días de lactancia.
- De 101 a 200 días.
- De 200 a 305 días.

Es importante conocer en qué etapa de lactancia se encuentran cada uno de los animales que componen el hato, ya que los requerimientos alimenticios varían según dichas etapas; el mayor requerimiento alimenticio lo tienen las vacas en producción en primera fase de lactancia (Rojo, Entrevista a profesor de Leche y Pastos de la Universidad de Antioquia, 2016).

Aunque la mastitis no es una etapa como tal del proceso de producción de leche, es una enfermedad común en ganado bovino, la cual puede presentarse durante dicho proceso, por lo cual se explica a continuación.

Mastitis: la mastitis es una enfermedad que produce la inflamación de la glándula mamaria causada por infecciones bacterianas (Subsecretaría de Desarrollo Rural, 2013), provocada por aproximadamente 90 organismos distintos. Cualquier tipo de finca lechera puede generar condiciones para la presencia de esta enfermedad y su contagio. Esta afección tiene como consecuencia disminuciones en las cantidades de leche producida, además de alterar la composición de la misma (Pinzón, 1989).

Esta enfermedad es clasificada de acuerdo al grado de intensidad de la infección:

- Mastitis clínica: se puede diagnosticar a simple vista y se caracteriza por presencia de escamas o grumos.
- Mastitis subclínica: solo se puede detectar por medio de pruebas especiales ya que las vacas y la leche conservan su apariencia normal. Esta clase de mastitis es de larga duración, disminuye la producción de leche y afecta negativamente su calidad.

Para el diagnóstico de la enfermedad se utiliza el método California Mastitis Test (CMT), ya que es el modo más indicado de detectar los niveles elevados de células somáticas (Pinzón, 1989). Dichas células son las defensas del cuerpo

hacia un agente patógeno, por lo que un recuento alto de las mismas indica la existencia de una infección en la ubre (Restrepo, 2016).

El CMT se realiza luego de que la ubre de la vaca ha sido preparada para el ordeño desechando pequeñas cantidades de leche, y de cada desecho se hace fluir dos o tres chorros hacia el compartimiento apropiado en la paleta CMT (ver Imagen 1); posteriormente, ésta se inclina en posición casi vertical para dejar que escurra la leche y luego adicionar el reactivo. Cuando hay un elevado número de células presentes se desarrolla una sustancia gelatinosa, por lo que mientras mayor sea el número de células, mayor será la cantidad de gel que se forme (Pinzón, 1989).



Imagen 1. California Mastitis Test (CMT).

Fuente: Contexto Ganadero.

El CMT arroja cuatros resultados posibles que son (Restrepo, 2016):

- Normal: leche líquida normal.
- 1+: nubes blancas en la leche.
- 2+: presencia de grumos en la leche (leche cortada).
- 3+: leche con apariencia gelatinosa (mastitis clínica).

1.2. Dinámica de sistemas

La simulación en general y específicamente la dinámica de sistemas han sido herramientas utilizadas para modelar los procesos de ganadería y de producción lechera. Ello se evidencia, a manera de ejemplo, en importantes trabajos inves-

tigativos tales como “La dinámica de sistemas en el sector de ganado lechero: políticas sobre la producción de leche de vaca pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso del suelo” (Atzori Tedeschi, & Cannas), “Modelos que incluyen vacas: el significado del pensamiento operacional” (Olaya) y “Modelos de políticas para emisiones de gases de invernadero en el sector de ganado lechero: la importancia del mejoramiento de la producción de leche” (Atzori, David, Tedeschi, & Cannas).

Antes de definir lo que es la dinámica de sistemas, resulta conveniente tener claro a qué hacen referencia, de manera discriminada, los términos “sistema” y “dinámica” en este contexto.

Sistema: unidad compuesta por diferentes elementos, los cuales interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes (Aracil, 1995).

Dinámica: término empleado para expresar el carácter cambiante de un sistema. Al hablar de la dinámica de un sistema se hace referencia a que las distintas variables que se asocian a sus partes sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas. Por otra parte, el término dinámica tiene una connotación no sólo de cambio, sino de la fuerza, de la determinación, que lo engendra (Aracil, 1995).

Dinámica de sistemas: Disciplina desarrollada por Jay W. Forrester para el estudio de las relaciones entre la estructura y el comportamiento de un sistema con ayuda de modelos informáticos de simulación (Aracil, 1995). Esta herramienta es aplicable a entes cambiantes, variantes en el tiempo, los cuales se pueden analizar a través de diferentes periodos bajo un esquema producto de la abstracción de la realidad.

Teniendo en cuenta estas tres definiciones, se puede entonces decir que un sistema dinámico es un objeto matemático formado por un espacio de estados y una regla que prescribe la evolución en él. Los modelos matemáticos que se construyen mediante dinámica de sistemas son sistemas dinámicos (Aracil, 1995).

1.2.1. Elementos de la dinámica de sistemas

- Diagrama causal

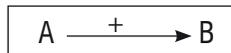
También denominado diagrama de influencias, es un grafo cuyos nodos son los elementos del sistema y cuyas aristas indican las influencias entre ellos,

constituyendo así una representación gráfica de la estructura del sistema (Aracil, 1995).

En estas representaciones existen dos tipos de relaciones que son (Fernández, 2005):

- Relación causal: una variable determina a otra con relación causa-efecto.
- Relación correlativa: correlación entre dos variables del sistema sin que exista una relación causa-efecto.

En su forma más simple el diagrama causal está formado por lo que se conoce como un grafo orientado. A las flechas que representan las aristas se puede asociar un signo, el cual indica si las variaciones del antecedente y del consecuente son, o no, del mismo signo. Suponiendo que entre dos elementos de un sistema, A y B, existe una relación de influencia positiva, entonces (Aracil, 1995),



Esto quiere decir que si A se incrementa, lo mismo sucederá con B y, por el contrario, si A disminuye, así mismo lo hará B. Por otra parte, si la influencia es negativa, a un incremento de A seguiría una disminución de B, y viceversa. De este modo, asociando un signo a las relaciones de influencia, se tiene un diagrama que suministra una información más rica sobre la estructura del sistema, aunque continúe conservando su carácter cualitativo. El grafo correspondiente se dice que está signado (Aracil, 1995).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo simple de un diagrama causal.

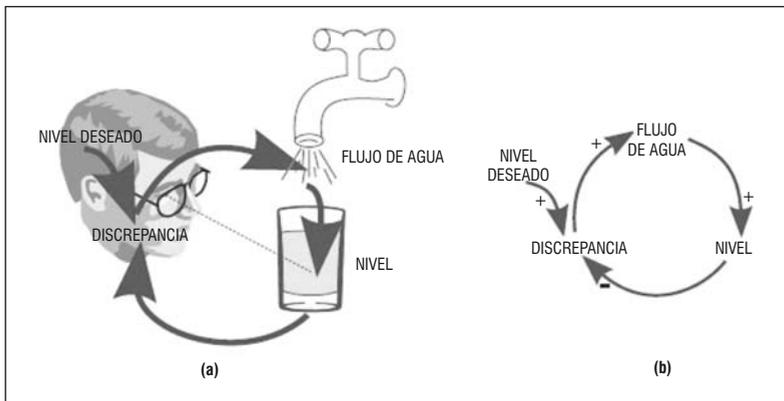


Figura 2. Diagrama causal del proceso de llenado de un vaso de agua: (a) Con un grafo orientado; (b) Con un grafo signado.

Fuente: Javier Aracil en *Dinámica de sistemas* (1995).

- Bucle de realimentación

Aracil define los bucles de realimentación como “cadenas de influencias circulares cerradas, cuya presencia permite explicar determinadas formas del comportamiento, que son específicas de la propia estructura, e independientes de las sollicitaciones exteriores a las que se ve sometido el sistema” (Aracil & Gordillo, *Dinámica de sistemas*, 1997). En consecuencia, los bucles de realimentación permiten la construcción base de un lenguaje sistémico. Estos pueden ser de dos tipos, positivos o negativos, lo cual se explica a continuación.

Bucle de realimentación positiva: bucle de realimentación formado por una cadena circular de influencias todas ellas positivas (o si las hay negativas su número es par, de modo que se compensen entre ellas), cuyo comportamiento está caracterizado por el crecimiento sin límites de toda perturbación (Aracil, 1995). En la Figura 3, se muestra la estructura básica de un bucle de realimentación positiva, así como la representación gráfica de su comportamiento a través del tiempo.

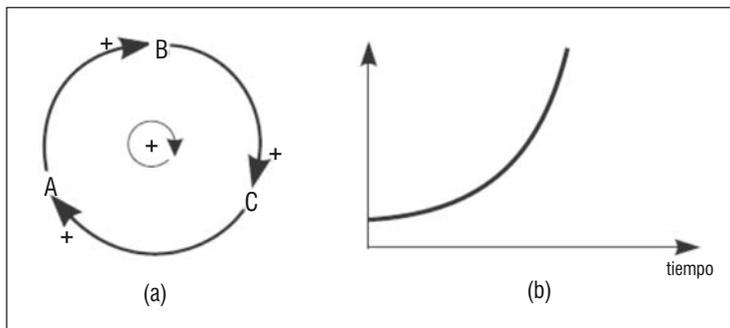


Figura 3. Estructura de un bucle de realimentación positiva en (a) y su comportamiento correspondiente en el tiempo en (b).

Fuente: Javier Aracil en *Dinámica de sistemas* (1995).

Bucle de realimentación negativa: bucle de realimentación cuyo comportamiento tiene la notable propiedad de que, si por alguna acción exterior, se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación. Por tanto, un sistema dotado de realimentación negativa tiende a mantener invariantes los valores de sus variables, y a restituirlos cuando han sido modificados por efecto de una perturbación exterior (Aracil, 1995). En la Figura 4, se muestra la estructura básica de un bucle de realimentación negativa, así como la representación gráfica de su comportamiento a través del tiempo.

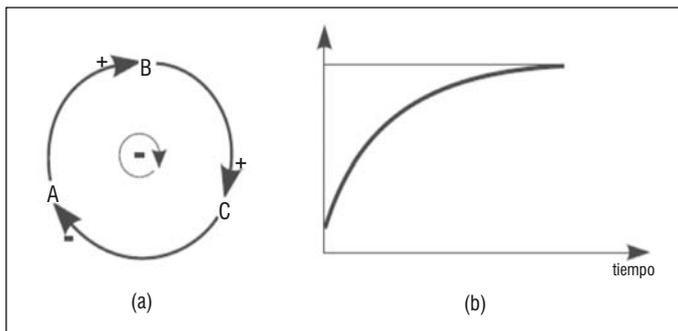


Figura 4. Estructura de un bucle de realimentación negativa en (a) y su comportamiento correspondiente en el tiempo en (b).

Fuente: Javier Aracil en *Dinámica de sistemas* (1995).

- Retraso

Los retrasos hacen referencia a aquellas influencias entre elementos de un sistema que tardan un determinado tiempo en manifestarse. En el diagrama de influencias, un retraso es representado por medio de dos trazos sobre la línea de influencia entre los dos elementos correspondientes (ver Figura 5).

Los retrasos pueden tener una enorme influencia en el comportamiento de un sistema; en los bucles de realimentación positiva determinan que el crecimiento no se produzca de forma tan rápida como podría esperarse, mientras que en los de realimentación negativa su efecto es más patente, ya que su presencia puede determinar que, ante la lentitud de los resultados, se tomen decisiones drásticas que conduzcan a una oscilación del sistema. En la Figura 5, se muestra la estructura de un bucle de realimentación negativa con un retraso (en la influencia del elemento C sobre el A), así como la representación gráfica de su comportamiento a través del tiempo.

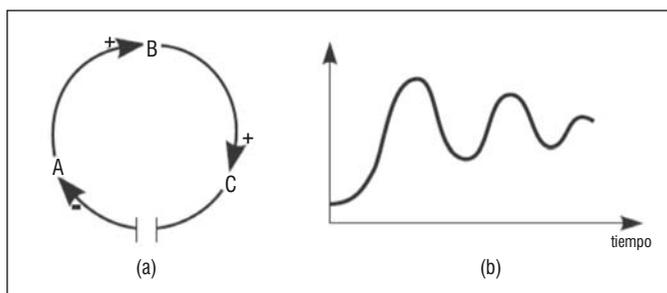


Figura 5. Estructura de un bucle de realimentación negativa con un retraso en (a) y su comportamiento correspondiente en el tiempo en (b).

Fuente: Javier Aracil en *Dinámica de sistemas* (1995).

- Diagrama de Forrester

También llamado diagrama de flujos y niveles o dynamo, el diagrama de Forrester es una representación que muestra las relaciones entre las variables de un sistema, una vez que han sido clasificadas en variables de nivel, de flujo y auxiliares, constituyendo así una reelaboración del diagrama de causal o de influencias (Aracil, 1995).

El diagrama de Forrester está compuesto por los siguientes elementos (Fernández, 2005):

- Flujo: entrada o salida que cambia el estado del sistema y varía el nivel.
- Nivel: acumulación de flujos.
- Nube: fuente inagotable.
- Parámetro: valor constante.
- Variable auxiliar: cantidad con significado físico.
- Demora: simula los retrasos en el flujo de material o información.

En la Figura 6 se muestra de manera básica las dos formas de representar las variables de flujo y de nivel en un diagrama de Forrester, mientras que en la Figura 7 se muestra un ejemplo simple de este diagrama.

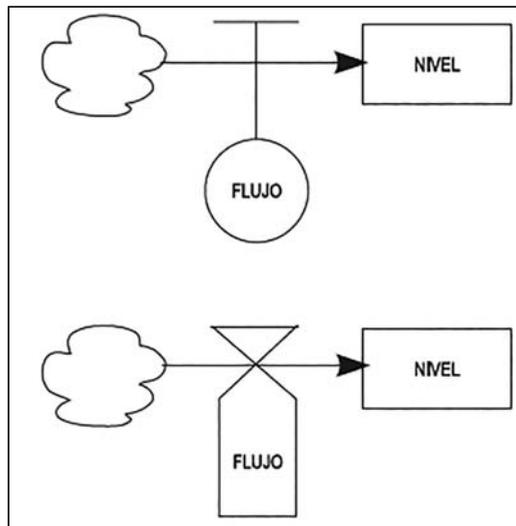


Figura 6. Representación gráfica de las variables de flujo y de nivel en el diagrama de Forrester.

Fuente: Javier Aracil en *Dinámica de sistemas* (1995).

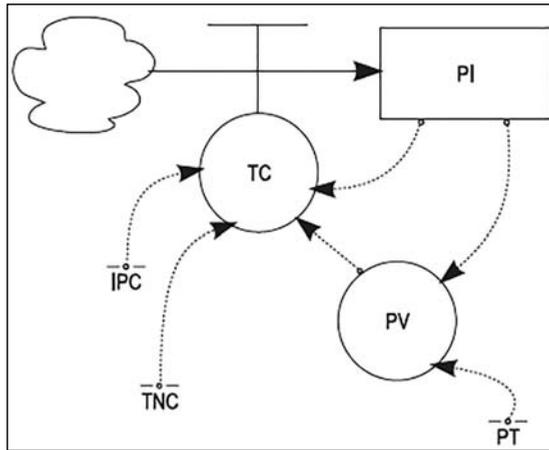


Figura 7. Diagrama de Forrester del proceso de la propagación de una epidemia.

Fuente: Javier Aracil en *Dinámica de sistemas* (1995).

*PI: Población infectada (variable de nivel); TC: Tasa de contagio (variable de flujo); PV: Población vulnerable a la enfermedad (variable auxiliar); IPC: Infecciones por contagio; TNC: Tasa normal de contagio y PT: Población total (parámetros).

1.2.2. Aplicaciones y usos de la dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas, originalmente denominada dinámica industrial, es una metodología ideada para resolver problemas concretos. Inicialmente se concibió para estudiar los problemas que se presentan en determinadas empresas en las que los retrasos en la transmisión de información, unidos a la existencia de estructuras de realimentación, dan lugar a modos de comportamiento indeseables, normalmente de tipo oscilatorio. Los trabajos pioneros se desarrollaron a finales de los años 50, y durante los 60 tuvo lugar su implantación en los medios profesionales (Aracil, 1995).

Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados. Durante sus más de 30 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias. Por ejemplo, se ha usado de la siguiente manera en los diferentes sistemas listados a continuación (Aracil, 1995):

- Sistemas sociológicos: ha encontrado multitud de aplicaciones, desde aspectos más bien teóricos como la dinámica social de Pareto o de Marx, hasta cuestiones de implantación de la justicia.
- Sistemas ecológicos y medioambientales: se han estudiado tanto problemas de dinámica de poblaciones como de difusión de la contaminación.

- Sistemas energéticos: se ha empleado para definir estrategias de empleo de los recursos energéticos.
- Sistemas de defensa: se ha utilizado para simular problemas logísticos de evolución de tropas y otros problemas análogos.

Más allá de las aplicaciones concretas en mención, la difusión de estas técnicas ha sido muy amplia, y en nuestros días se puede decir que constituye una de las herramientas sistémicas más sólidamente desarrolladas y que mayor grado de aceptación e implantación han alcanzado (Aracil, 1995).

Al comienzo de este acápite se nombraron diferentes estudios que han considerado la técnica de la dinámica de sistemas en el sector ganadero y específicamente en el lechero.

2. Diseño metodológico

2.1. Generalidades

2.1.1. Población

El presente trabajo tiene como población objetivo a los medianos productores de leche cruda del trópico alto cundinamarqués, es decir, aquellos que cuentan con 12 y hasta 55 vacas en etapa productiva en su finca. Estos productores tienen animales especializados solo para producción de leche y su misión no incluye venta de carne.

En la Tabla 1 se encuentra la segmentación por tamaño en la región del Altiplano Cundiboyacense de acuerdo al número de vacas productoras o lactantes (FEDEGAN & SENA, 2013).

Tabla 1. Segmentación de las explotaciones ganaderas por tamaño del hato en la región del Altiplano Cundiboyacense.

Tipo de productores	Número de cabezas de ganado en etapa productiva
Pequeños	< 12
Medianos	12 a 55
Grandes	> 55

Fuente: FEDEGAN.

2.1.2. Caso de estudio

Para el análisis de datos y la formulación del modelo que simuló el proceso de producción de lechería especializada se utilizó la información y las prácticas del área de Ganadería de la finca San Pedro perteneciente al Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

Esta finca cuenta con aproximadamente 50 vacas especializadas en producción de leche en su hato (Ocampo, 2016).

2.1.3. Horizonte temporal

De acuerdo con los estándares utilizados por la finca San Pedro, la edad productiva media de las vacas es de 10 años, por lo cual la estructura del proceso productivo del hato lechero es simulada durante 20 años (dos generaciones). Teniendo en cuenta la disponibilidad de datos y registros con la que se contó para el desarrollo del presente estudio, la validación del modelo se llevó a cabo con información primaria correspondiente al período comprendido entre junio de 2014 y mayo de 2015; los años posteriores son los periodos utilizados para el análisis prospectivo.

La observación del comportamiento de dos generaciones permite la apreciación del sistema a largo plazo; dado que el proceso de producción de leche se caracteriza por tener aspectos biológicos de periodos de tiempo casi anuales, las modificaciones que se decida aplicar al sistema tienen efecto en años posteriores a la implementación de las mismas.

2.1.4. Variables de desempeño

Además del índice de rentabilidad económica, el desempeño del sistema productivo de una finca lechera está determinado por el número de animales en etapa productiva, lo cual determina a su vez una tercera variable de interés, correspondiente a la cantidad de litros de leche para la venta producidos en la finca.

Los indicadores de desempeño de un proceso, representados en un modelo y específicamente en un modelo de simulación, sirven para comparar los resultados del modelo (que representa el sistema) al evaluar diferentes alternativas de mejoramiento, en este caso, la rentabilidad (vía mejoramiento de costos y mejoramiento de precios).

En un esfuerzo complementario fueron identificadas un conjunto de variables para controlar el modelo de producción en las perspectivas operativa (interno), financiera, de formación y crecimiento y del cliente.

2.1.5. Fuentes de información

Los datos introducidos en el modelo de simulación fueron tomados de la finca San Pedro del CBA; documentos de proveedores, registros históricos manuales

y digitales, información obtenida a partir de entrevistas con personal responsable de ganadería, reportes de precios de venta de leche y datos extraídos de los software implementados en la finca —Dairy Plan y Taurus—, son las principales fuentes de información.

2.1.6. Herramientas

Con el fin de llevar a cabo el procesamiento de datos y el análisis y modelamiento del sistema, se emplearon diferentes programas, cuyo uso en el presente trabajo se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Herramientas computacionales usadas para el procesamiento de datos y el análisis y modelamiento del sistema de producción de lechería especializada.

Software	Uso
Excel	Digitalización y procesamiento de datos
SPSS	- Análisis de datos de entrada - Validación del modelo de simulación
Stat.:Fit	Análisis de datos de entrada
Vensim PLE	- Modelo de dinámica de sistemas del sistema actual - Modelo de dinámica de sistemas del sistema propuesto

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Construcción del modelo de simulación

El planteamiento de simulaciones en tiempo continuo por medio de dinámica de sistemas implementado en el presente trabajo fue adaptado metodológicamente a varios aspectos de la estructura de la construcción de modelos mencionada en el capítulo de “Verificación y validación de modelos de simulación” del libro *Discrete-Event System Simulation* (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2009). En la Figura 8 se describen las etapas del desarrollo del modelo de simulación y el símil que se realiza con la estructura de un proceso (entradas, proceso, salidas).

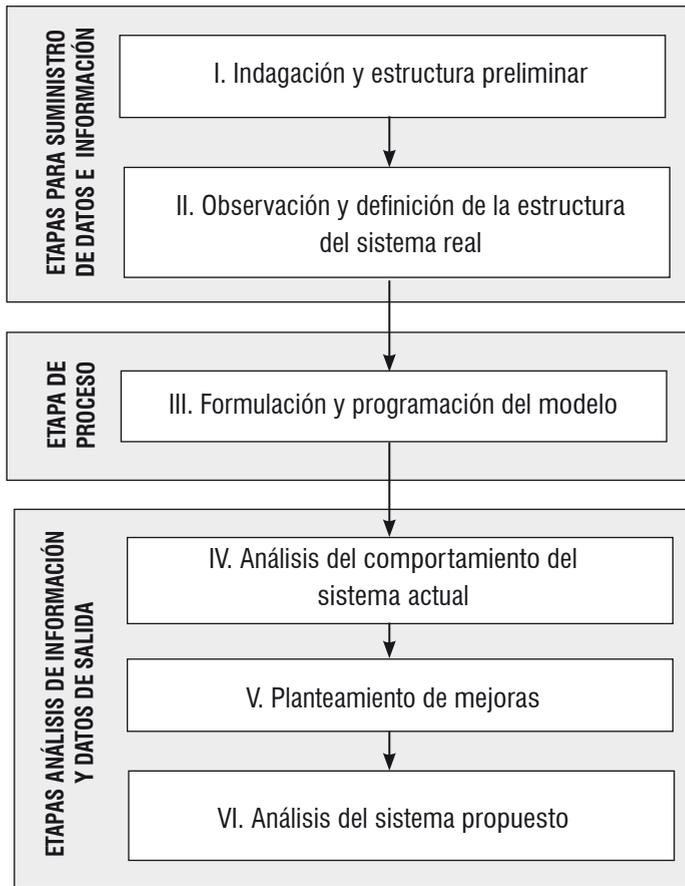


Figura 8. Estructura metodológica general para la construcción del modelo de simulación.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo mostrado en la Figura 8, a continuación, se hace una descripción de cada una de las etapas que deberán ser completadas para construir el modelo de simulación del sistema bajo análisis.

2.2.1. Etapas para suministro de datos e información

Corresponden a las etapas que tienen como objeto la recopilación y el análisis de información que permita conceptualizar el sistema en un modelo y brinde además los datos necesarios para determinar los valores de los parámetros establecidos. En estas etapas serán definidas también las variables, los parámetros clave y la estructura general del sistema bajo estudio.

2.2.1.1. Indagación y estructura preliminar

Se realizará una revisión bibliográfica de textos relacionados con la descripción del proceso productivo de leche cruda como análisis preliminar de la estructura de producción para identificar posibles variables, parámetros y relaciones, además de plantear preguntas para expertos en el sistema. Dichas preguntas estarán dirigidas y sujetas a la disponibilidad de datos, a la validación y corrección de la estructura preliminar.

Respecto a referencias de modelos similares, se determinarán relaciones que apliquen al presente caso y puedan ser adaptadas a las condiciones observadas.

2.2.1.2. Observación y definición de la estructura del sistema real

De acuerdo con Banks, en esta etapa se debe observar el sistema real y las relaciones entre sus componentes para recolectar los datos acerca de su comportamiento, destacando la importancia de las cuestiones al personal familiarizado con el sistema (Banks, Carson II, Nelson & Nicol, 2009). Ello permitirá contrastar y modificar los conceptos preliminares de la etapa anterior. En la Figura 9 se ilustra el procedimiento correspondiente a esta etapa.

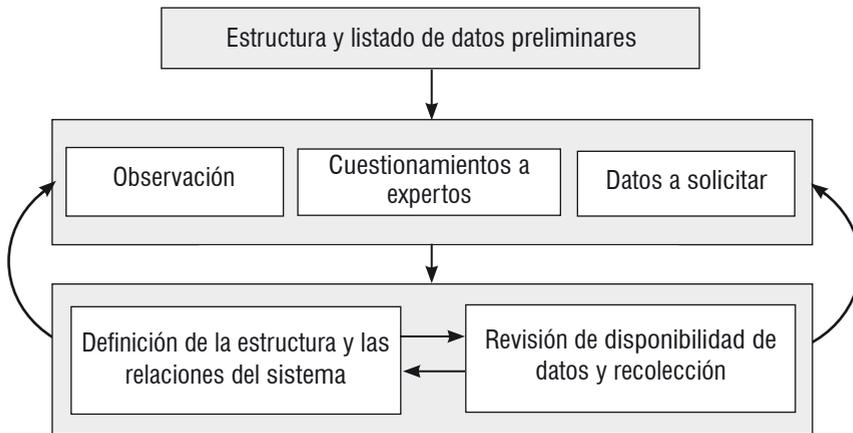


Figura 9. Proceso para la observación y definición de la estructura del sistema real.

Fuente: Adaptado de Banks, Carson II, Nelson & Nicol en *Discrete-Event System Simulation* (2009)

El objetivo de esta etapa es conceptualizar correctamente la estructura del sistema con relaciones y variables definidas (incluyendo supuestos estructurales y de datos), junto con el listado de datos necesarios para el modelo y su recolección. El proceso es iterativo, iniciando con los conceptos adquiridos en la etapa ante-

rior, seguido de las observaciones, los cuestionamientos y la solicitud de datos; las respuestas e información obtenidas generan nuevas dudas que retroalimentan la definición del sistema.

2.2.2. Etapa de proceso

Las entradas (datos, estructura conceptual e información del proceso) serán analizadas y procesadas en la construcción de la formulación y simulación del sistema.

2.2.2.1. Formulación y programación del modelo

La Figura 10 muestra el procedimiento correspondiente a la etapa de formulación y programación del modelo de simulación, donde los datos e información obtenida a partir de la observación y los cuestionamientos de la etapa precedente son las entradas para modelar el sistema y simular su comportamiento futuro.

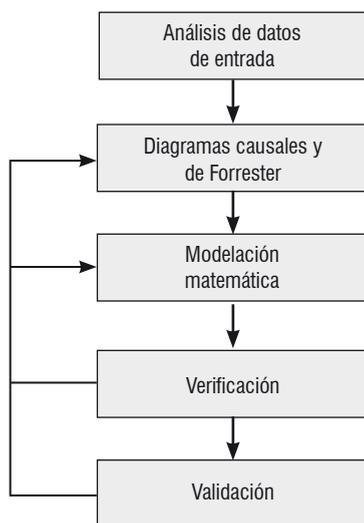


Figura 10. Estructura de la formulación del modelo de simulación.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo mostrado en la Figura 10, a continuación se hace una descripción de los diferentes componentes de la formulación del modelo de simulación.

- Análisis de datos de entrada

Los datos recolectados fueron analizados para determinar los valores de los parámetros definidos en la estructura del sistema, identificando su naturaleza (es-

tocástica, determinística, serie de tiempo, etc.) y estableciendo supuestos sobre los mismos, con el objeto de generar una réplica de esos datos que pudiera usarse por la simulación.

- Diagramas causales y de Forrester

Con los supuestos y la estructura definida se realizarán los diagramas causales y de Forrester que representen las relaciones del sistema real. Esta diagramación se realizará modularmente, separando subprocesos, con el fin de facilitar el seguimiento en la verificación y validación del modelo.

- Modelación matemática

Se establecerá el sistema de ecuaciones que satisfaga el comportamiento de las variables y sus relaciones. Módulo a módulo se introducirán las expresiones matemáticas, realizando una verificación constante con el método del rastro (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2009), introduciendo valores iniciales fáciles de rastrear en su comportamiento para asegurar una abstracción correcta del sistema. Cuando las ecuaciones representen el comportamiento real del sistema, se ingresarán los valores reales y se procederá a llevar a cabo la simulación.

- Verificación

La verificación del modelo se realizará continuamente durante la diagramación y el modelamiento matemático por cada módulo (o subproceso). Cuando con el resultado de esta verificación se concluya que el modelo no es una abstracción correcta del comportamiento actual del sistema, se realizará una búsqueda del error para ser corregido y de nuevo se hará la verificación.

- Validación

Evaluar la validez del modelo, los supuestos y la confiabilidad de los datos junto con su correcto análisis se realizará por medio de lo que Banks denomina “predecir el pasado” (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2009). Se tomarán valores históricos de una o más variables de desempeño y se compararán con los resultados obtenidos de la simulación verificada durante ese mismo período con los mismos datos de entrada.

Cuando los resultados de esta etapa no ratifiquen la validez del modelo como una representación aceptable del sistema real, se realizará una búsqueda de errores de abstracción, supuestos o análisis de datos de entrada.

2.2.3. Etapas de análisis de información y datos de salida

La información obtenida en relación con el comportamiento futuro del sistema es el producto del modelamiento. Se realizará entonces el análisis de los datos prospectivos y se propondrán modificaciones al sistema con el objetivo de mejorar los valores de los indicadores de desempeño. Para ello, deberán ser realizadas las etapas descritas a continuación.

2.2.3.1. Análisis del comportamiento del sistema actual

Con la información del comportamiento futuro del sistema obtenida a partir de la simulación del mismo, se analizarán las tendencias de las variables de desempeño con las condiciones actuales de producción, y posteriormente se realizarán análisis de sensibilidad de las posibles variables que tengan impacto sobre dichas tendencias, con el fin de elegir focos o variables críticas para el establecimiento de políticas o estrategias de mejora.

2.2.3.2. Planteamiento de mejoras

A partir de los resultados arrojados por los análisis de sensibilidad realizados en la etapa anterior, se plantearán políticas o estrategias que, basadas en conceptos de programación y planeación de la producción, permitan mejorar la rentabilidad de la producción de lechería especializada. Las propuestas deben ser formuladas en el modelo, siguiendo la estructura de la Etapa III (Formulación y programación del modelo), hasta obtener una verificación con concepto aceptable.

2.2.3.3. Análisis del sistema propuesto

En esta etapa serán analizados los resultados obtenidos de las variables de desempeño a partir de la simulación del modelo propuesto, con el fin de conocer el comportamiento y tendencia futura de las mismas, evaluando así el impacto de las políticas o estrategias sugeridas y la mejora brindada al sistema con su implementación.

3. Caracterización de la unidad de producción de leche

3.1. Terminología

Antes de describir el sistema actual resulta conveniente definir los siguientes términos, los cuales serán mencionados continuamente en el presente trabajo.

- Hato: hace referencia al número de vacas en etapa de lactancia o productiva.
- Vaca seca: siempre que se mencionen los términos secado y/o vaca seca se hace referencia a la etapa en que la lactancia ha finalizado y, por tanto, no hay producción de leche por parte del animal.
- Retiro: acción de desechar la leche producida en los períodos así denominados, debido a que no es apta para la venta de consumo humano.
- Venta en pie: venta de ganado vivo.

3.2. Descripción general de la finca

El sistema productivo está representado por la estructura desarrollada en la finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria perteneciente a la infraestructura del SENA, por lo tanto, su actividad tiene fines académicos, pero además cumple funciones productivas. Algunos cultivos y un área pecuaria que incluye ganado bovino, porcino, avícola, caprino y cría de conejos comprenden las unidades de producción primaria del centro.

A continuación, se enuncian las principales características del sistema de producción de lechería especializada de la finca objeto de análisis.

- Localización

La finca San Pedro está ubicada en el kilómetro 7 vía Bogotá – Mosquera en la provincia de la sabana occidente del departamento de Cundinamarca, en la vereda San José.

La finca se localiza en las coordenadas geográficas 4° 40' 9,34" latitud norte y 74° 15' 07" longitud oeste, a una altitud de 2.516 msnm (Servicio Nacional de Aprendizaje SENA).

- Extensión

La finca cuenta con un total de 112 hectáreas (Servicio Nacional de Aprendizaje SENA), 55 de ellas a ganadería, divididas en 12 lotes, los cuales, a su vez, están subdivididos en 34 potreros (Bojacá, 2016).

La Figura 11 muestra una vista satelital del CBA de Mosquera y la ubicación de su infraestructura lechera.



Figura 11. Vista satelital del CBA Mosquera en la cual se aprecian: 1. Ingreso al CBA. 2. Sector Administrativo. 3. Gerencia de la finca. 4. Planta de agua. 5. Planta de ordeño. 6. Estercolero. 7. Siembra de especies forrajeras. Las pasturas están entre la planta de ordeño y la siembra de especies forrajeras.

Fuente: Google Earth. Recuperada el 2/09/2016, Foto: Astrium 27/01/2016. Adaptada por los autores.

- Certificaciones de calidad

La finca San Pedro está certificada por unidades productivas. La unidad de ganadería cuenta con las siguientes certificaciones (Ocampo, 2016):

- Hato libre de Brucella
- Hato libre de tuberculosis
- Buenas Prácticas Ganaderas (BPG).

- Potreros y grupos del ganado bovino

El ganado bovino está dividido en los siguientes siete grupos de acuerdo a su estado reproductivo, edad o peso y sexo (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a):

Machos: crías machos desde el nacimiento hasta el tercer mes de edad.

Cría: hembras desde el nacimiento hasta el tercer mes de edad. Los animales de este grupo pesan entre 40 kg y 150 kg.

Levante1: terneras desde el tercer hasta el noveno mes de edad. Los animales de este grupo pesan entre 150 kg y 250kg o 260 kg.

Levante2: terneras desde el noveno mes de edad hasta la preñez o descarte por deficiencia reproductiva. A pesar de que a partir de los 18 meses de edad las terneras pueden comenzar a ser inseminadas, la veterinaria de la finca San Pedro, la señora Tatiana Ocampo, recomienda que este procedimiento se haga por primera vez cuando el animal cumpla los 24 meses de edad.

Horro: vacas preñadas y no preñadas que están secas. En relación con las vacas que están preñadas, el horro comprende el período entre el séptimo mes de gestación, momento en el que el animal es secado, hasta el inicio de la manga, 15 días antes del parto.

Manga: 15 días antes de la fecha prevista del parto la vaca es ingresada al grupo manga y sale 8 días después del alumbramiento, momento en el que deja de producir calostro y leche de transición.

Hato: vacas produciendo leche desde los 8 días de paridas hasta los 7 meses de gestación o hasta alcanzar una producción de menos de 6 litros diarios de leche. En la Imagen 2 se observa parte del hato lechero de la finca San Pedro del CBA.



Imagen 2. Animales pertenecientes al hato lechero de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Fuente: La presente investigación.

- Inventario animal bovino por grupos

En la Tabla 3 se observa el número de animales por cada grupo y potrero al 10 de julio de 2015. Se debe tomar una fecha referencia para el inventario, ya que esta variable cambia continuamente.

Tabla 3. Inventario animal bovino por grupos o potreros de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Grupo o potrero	Número de animales
Machos	0
Crías	9
Hato	56
Horro	27
Levante 1	14
Levante 2	28
Manga	1
Total animales activos	135

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

- Inventario animal bovino por razas

Cuatro razas hacen presencia en el ganado bovino de la finca, tal como se observa en la Tabla 4 (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

Tabla 4. Inventario de animal bovino por razas de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Raza	% Ganado
Holstein y sus cruces	79,63%
Angus	3,09%
Overo colorado	16,67%
Simental	0,62%

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Puesto que casi el 80% del inventario animal pertenece a la raza Holstein, no se realiza diferenciación de parámetros o de variables por este concepto; además

en la sección 1.3 (“Análisis de datos de entrada”) se concluye la homogeneidad de los datos sin llevar a cabo una separación por razas.

3.3. Análisis de datos de entrada

La recolección de datos cuantitativos para la determinación de los valores de parámetros y variables del sistema se hizo a partir de registros de la finca e información contenida en las bases de datos de los programas Dairy Plan y Taurus. A partir de esto, fueron analizados aquellos datos que no fueran determinísticos.

Los detalles de las pruebas de homogeneidad, independencia y bondad de ajuste de dichos datos se encuentran en el Anexo 1; el nivel de confianza con el que se trabajó es del 95% y para el análisis de homogeneidad se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis en SPSS. Debido a que no se puede asumir normalidad de los datos, para bondad y ajuste se hizo uso del software Stat::Fit (Ospina Garzón, 2015).

A continuación, se describen diferentes parámetros del sistema de producción de leche actual, los cuales fueron establecidos a partir de los registros y las bases de datos contenidas en los sistemas de información de la finca.

- Tasas de producción

Al observar la cantidad de litros de leche por vaca e identificar el número de días luego del parto en el cual fue ordeñada la misma, se supone que la tasa de producción depende de la etapa de lactancia del animal (DeLorenzo, Spreen, Bryan, Beede, & Van Arendonk, 1992).

La base de datos de la finca, Dairy Plan, obtiene los valores de las cantidades en litros producidas por cada ordeño y vaca a través de sensores instalados en la máquina de ordeño. El software solo almacena y mantiene algunas lecturas por cada animal, en fechas aleatorias. Ya que el objetivo era encontrar la producción mensual por unidad animal, se procedió en primera instancia a analizar la variable de producción por ordeño y vaca para encontrar la distribución de probabilidad a la cual se ajustaba y los grupos que definirían las etapas de lactancia. Posteriormente se realizó una simulación de Montecarlo con los parámetros anteriores y se generaron las variables mensuales para su análisis estadístico. En la Tabla 5 se muestran los parámetros y las distribuciones a las que se ajustan las etapas de lactancia.

Tabla 5. Etapas de lactancia y parámetros.

Etapa de lactancia	Días en lactancia	Distribución de probabilidad	Parámetros (Lt/vaca mes)	
			min	
Trimestre 1	1 al 90	Weibull	min	533
			α	2,69
			β	63
Trimestre 2.1	91 al 135	Weibull	min	427
			α	4,59
			β	84,6
Trimestre 2.2	136 al 180	Weibull	min	376
			α	4,38
			β	72,4
Trimestre 3	181 al 285	Weibull	min	371
			α	2,52
			β	52,6

Fuente: Elaboración propia.

- Presencia de mastitis

Ya que esta enfermedad solo afecta a las vacas lactantes, se realizó la prueba de homogeneidad de acuerdo a las etapas de lactancia encontradas. Los datos fueron tomados de los registros sanitarios de la finca (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Mastitis y parámetros.

Mastitis y etapa de lactancia	Mastitis y días en lactancia	Distribución de probabilidad	Parámetros	
			n	p
Trimestre 1	1 al 90	Binomial	n	1
			p	0,0391
Trimestre 2.1	91 al 135	Binomial	n	1
			p	0,0204
Trimestre 2.2	136 al 180	Binomial	n	1
			p	0,0482
Trimestre 3	181 al 285	Binomial	n	1
			p	0,0303

Fuente: Elaboración propia.

- Concepciones y abortos

Los datos fueron extraídos de las hojas de vida del ganado, donde se tiene registro de las inseminaciones y el resultado (éxito, fracaso en la concepción o aborto). Se tuvieron en cuenta todas las inseminaciones y no se encontró dependencia sobre el historial de concepciones o abortos de la vaca.

Tabla 7. Concepción y parámetros.

Concepto	Distribución de probabilidad	Parámetros	
		Concepción exitosa (1), no exitosa (0)	Binomial
p	0,28		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Aborto y parámetros

Concepto	Distribución de probabilidad	Parámetros	
		Parto (1), Aborto (0)	Binomial
p	0,947		

Fuente: Elaboración propia.

- Supervivencia del neonato

De acuerdo a los registros de las hojas de vida del ganado se encontraron los siguientes parámetros que se ajustan al comportamiento de la variable.

Tabla 9. Supervivencia del neonato y parámetros.

Concepto	Distribución de probabilidad	Parámetros	
		Supervivencia(1), Mortinato(0)	Binomial
p	0,976		

Fuente: Elaboración propia.

- Sexo de la cría

En la Tabla 10 se observan los parámetros y la distribución a la cual se ajusta el sexo de los nacimientos.

Tabla 10. Sexo de la cría y parámetros.

Concepto	Distribución de probabilidad	Parámetros	
		Hembra (1), Macho (0)	Binomial
p	0,458		

Fuente: Elaboración propia.

- Precio del litro de leche cruda

El precio de la leche cruda por litro no es fijo, ya que está determinado por aspectos como la composición físico-química de la leche (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). Los aspectos que son controlados para establecer la calidad de la leche y, por ende, su precio son: proteína, grasa, unidades formadoras de colonia (bacterias), recuento de células somáticas², sólidos totales, sólidos no grasos (Restrepo, 2016).

Los datos correspondientes al precio del litro de la leche fueron suministrados por el área de producción del CBA, y tomados de los registros de los valores pagados por COLANTA semanalmente.

Tabla 11. Precio del litro de leche y parámetros

Concepto	Distribución de probabilidad	Parámetros	
		Precio por litro de leche (\$/l)	Binomial
máx	955		

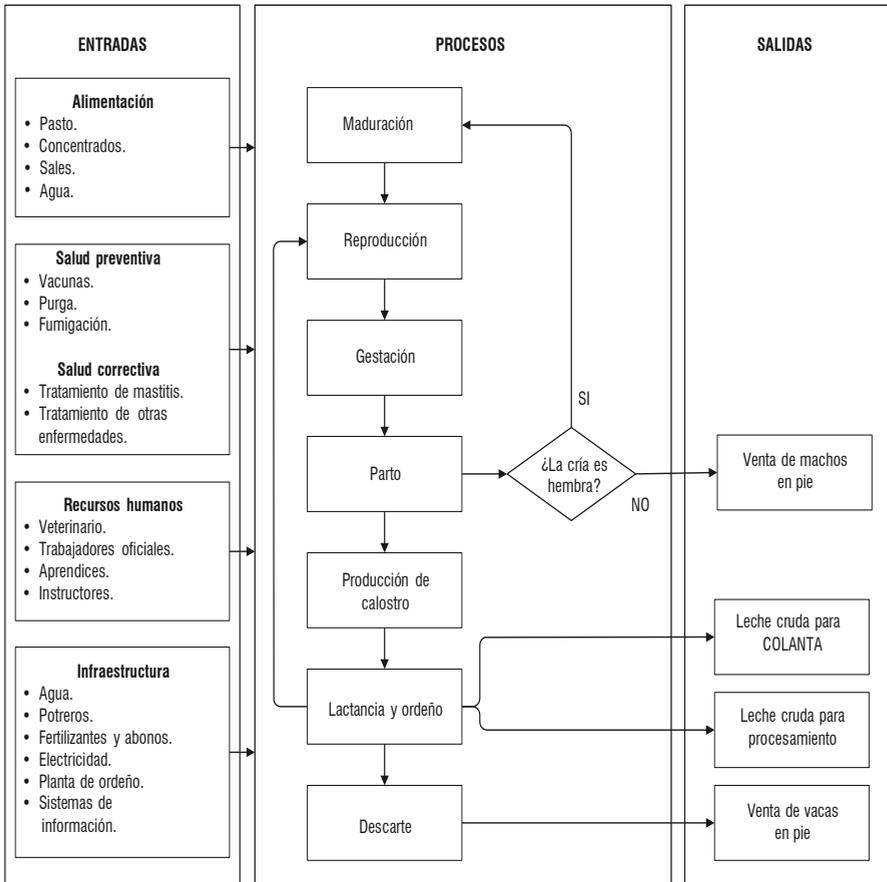
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Descripción de las características y variables del sistema de producción de leche actual

A partir del conocimiento y el análisis del proceso de producción de lechería especializada desarrollado en la finca San Pedro fue posible identificar diferentes características y variables que componen dicho proceso, y cuya estructura básica es representada en la Figura 12.

² Las células somáticas son las defensas del cuerpo hacia un agente patógeno, por lo que un recuento alto de dichas células indica la existencia de una infección en la ubre del animal (Restrepo, 2016).

Figura 12. Estructura del proceso de producción de lechería especializada de la finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria (CBA) del SENA.



Fuente: Elaboración propia.

Modulando el sistema en subprocesos y a partir de la estructura de producción representada en la Figura 12, se identificaron y establecieron los diferentes parámetros, costos y las variables de entrada, proceso y salida del sistema, lo cual se detalla a continuación.

3.4.1. Lactancia y ordeño (proceso)

Dado que esta etapa corresponde a la esencia de la producción de lechería especializada, será analizada en primera instancia con el fin de dar coherencia y facilitar el entendimiento de las demás características y variables del sistema bajo estudio.

Parámetros

- Etapas de lactancia y sus respectivas tasas de producción.

El hato no tiene una tasa de producción constante durante el período total de lactancia, por lo cual se identificaron etapas donde la cantidad de leche producida se comporta de forma similar. No se encontraron diferencias significativas en los niveles de producción en relación con el número de partos, por lo que se supone que esta variable se comporta independientemente de la cantidad de partos. Estas comparaciones se realizaron en la sección 1.3 (“Análisis de datos de entrada”), donde se encuentra el procedimiento utilizado y los parámetros hallados.

- Tiempo de inicio del ordeño para producción luego del parto

Las prácticas de la finca San Pedro indican que luego de 8 días de haberse presentado el parto se inicia el ordeño de la vaca con fines de producción. Antes de estos 8 días el animal produce calostro y leche que es necesaria para la formación y crecimiento de los terneros.

- Frecuencia de ordeño

El hato es ordeñado dos veces al día. El primer turno para llevar a cabo este procedimiento inicia a las 2 de la mañana y el segundo a las 2 de la tarde. El proceso se realiza automáticamente con la maquinaria de ordeño. En la Imagen 3 se puede observar al hato lechero de la finca San Pedro listo para ingresar a la sala de ordeño durante el segundo turno del día.



Imagen 3. Hato lechero de la finca San Pedro del CBA listo para ingresar a la sala de ordeño en el turno de las 2 p.m.

Fuente: La presente investigación.

- Duración de la lactancia

La lactancia dura como máximo 300 días desde que se da inicio al ordeño, 8 días después de ocurrido el parto. Si la vaca se encuentra en el tercer trimestre de lactancia y su producción diaria (dos ordeños) es inferior a 4 litros, se procede a secar con medicamentos. Por otro lado, si la vaca se encuentra en estado de gestación, se seca 60 días antes de la fecha prevista del parto para que ésta pueda recuperarse.

Costos

Todos los costos y precios enunciados son tomados del año 2014. Estos se mantienen constantes durante el horizonte de planeación, considerando precios reales para el análisis, ya que el presente trabajo no tiene como objetivo evaluar la dinámica de las fluctuaciones de precios en el mercado ganadero de leche.

- Costo de consumo energético del equipo de ordeño

La finca tiene un centro de ordeño automático que funciona con un motor trifásico de 5HP, el cual está encendido aproximadamente 5 horas al día. Por tanto, el consumo energético diario es de \$ 2.017,557 pesos, de acuerdo a la información suministrada por el proveedor (Dimap Soluciones S.A.S, 2015).

En el centro de ordeño también se ubica un tanque de enfriamiento que funciona con un compresor de 3HP, también trifásico, y que genera un costo por valor de \$1.326,287 pesos por día (Dimap Soluciones S.A.S, 2015).

- Costo de limpieza del equipo de ordeño

La limpieza del equipo de ordeño se realiza de acuerdo al procedimiento para el lavado del mismo, lo cual comprende lo siguiente (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014a):

- Ciclo de desinfección pre-ordeño: agua fría mezclada en una proporción de 60 litros por 120 ml de sanitizante clorado. Si el tanque de almacenamiento está vacío, este ciclo debe llevarse a cabo media hora antes del ordeño.
- Ciclo de desinfección pos-ordeño: consiste en un ciclo de detergente alcalino clorado con agua por 60 litros y 180 ml del detergente, y un ciclo de detergente ácido con agua por 60 litros por 120 ml del detergente. Esto se realiza luego del vaciado del tanque. En la Tabla 12 se encuentran los precios y costos asociados a esta actividad.

Tabla 12. Costos de limpieza del equipo de ordeño de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Descripción	Producto	Unidad (ml/limpieza)	Unidad de venta (ml)	Valor unitario (\$/ml)	Costo por limpieza (\$)
Limpieza pre-ordeño	Agua	60.000		\$ 0,0019	115,45
	Sanitizante clorado	120	18.927	3,22	386,75
Limpieza pos-ordeño	Agua	60.000		0,0019	115,45
	Detergente alcalino colorado	180	18.927	8.03	1.445,17
	Agua	60.000		0,0019	115,45
	Detergente ácido	120	18.927	9.81	1.176,73
Costo total por vaciado de tanque					\$ 3.355,0

Fuente: adaptado de Costos Dimap Soluciones.

- Costo de mantenimiento del equipo de ordeño

En el documento de protocolo de mantenimiento del equipo de ordeño se incluyen revisiones tecnomecánicas y repuestos anuales por un valor total de \$26.343.849 pesos (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014a), excluyendo el costo de limpieza del mismo.

Variables

- Número de vacas en cada etapa de lactancia en un tiempo determinado.
- Cantidad de litros de leche ordeñados.

3.4.2. Alimentación (entrada)

La alimentación de los animales está compuesta básicamente de pasto, sales, concentrado y agua; la sal que se suministra a los animales es sal mineralizada, ya que esta ayuda a estimular la aparición o presencia de calor o celo en los mismos (Bojacá, Visita guiada a la Finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en Mosquera, Cundinamarca, 2016). En la Imagen 4 se muestra la sal mineralizada que es suministrada a los animales de la finca San Pedro y el sistema implementado para su disposición en los potreros.



Imagen 4. Sistema implementado para disposición de sal mineralizada en los potreros de la finca San Pedro del CBA.

Fuente: La presente investigación.

Dicha alimentación es suministrada en diferentes cantidades y proporciones de acuerdo a edades y pesos de los animales, así como a la etapa productiva en la que estos se encuentren. Por otro lado, la dieta de las crías contiene además leche, la cual es obtenida de las mismas vacas que componen el hato.

Teniendo esto en cuenta, fue posible identificar los parámetros, costos y variables que se describen a continuación.

Parámetros

- Cantidad y tipo de concentrado o sal suministrados diariamente a cada animal, de acuerdo a su estado y edad

La alimentación en base a concentrados y sales del ganado se realiza tal como se indica en la Tabla 13.

Costos

- Costo de cada tipo de concentrado y sal

Para determinar estos costos, se identifica el parámetro de precio por peso de cada tipo de concentrado y sal (costo variable), tal como se indica en la Tabla 14.

Tabla 13. Suministro de concentrados y sales para el ganado bovino de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Fase	Tipo de alimento	Cantidad	Unidad
Cría (0 a 3 meses de edad)	Concentrado Criaternera	500	g/día
Cría (0 a 3 meses de edad)	Sal	30	g/día
Cría (0 a 2 meses de edad)	Leche	4	l/día
Cría (3 meses de edad)	Leche	2	l/día
Levante 1 (3 a 9 meses)	Concentrado Supernovilla	1	kg/día
Levante 1 (3 a 9 meses)	Sal	50	g/día
Levante 2 (9 meses hasta preñez)	Concentrado Cremosa	1	kg/día
Levante 2 (9 meses hasta preñez)	Sal	100	g/día
Maternidad o Manga (15 días antes de la posible fecha de parto)	Concentrado	1	kg/día
Hato (1er trimestre)	Concentrado Cremosa	6	kg/día
Hato (2er trimestre)	Concentrado Cremosa	4	kg/día
Hato (3er trimestre)	Concentrado Cremosa	2	kg/día
Hato completo	Sal	100	g/día

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Tabla 14. Precio unitario de cada tipo de concentrado y sal.

Descripción	Unidad	Valor Unitario
Concentrado Supernovilla	Bulto x 40 kg	\$ 53.550
Concentrado Cremosa	Bulto x 40 kg	\$ 43.207
Concentrado Criaternera	Bulto x 40 kg	\$ 49.665
Sal Mineralizada	Bulto x 40 kg	\$ 62.003

Fuente: Elaboración propia.

- Costo de pasto de potrero

El costo del pasto consumido por el ganado se reduce al precio pagado por el fumigante anual (\$32.000), ya que fertilizantes y abonos se obtienen de proveedores externos, y el agua de riego proviene sin costo del río Bogotá, luego de su procesamiento en una Planta de Tratamiento de Agua.

Variable

- Cantidad en kilogramos de cada tipo de alimento necesario para alimentar a los animales en un tiempo determinado

3.4.3. Salud preventiva (entrada)

La salud preventiva comprende la vacunación y la desparasitación que debe hacerse a los animales, además de la fumigación que requieren los potreros, todo lo cual se lleva a cabo con el fin de evitar enfermedades del ganado.

Teniendo esto en cuenta, fue posible identificar los parámetros, costos y variables que se describen a continuación.

3.4.3.1. Vacunación

Parámetros

- Tipo de vacuna, cantidad y dosis necesarias de acuerdo al estado del animal.

Únicamente son aplicadas las vacunas de enfermedades de control oficial, es decir, aftosa y brucelosis (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). La vacunación se realiza de acuerdo al ciclo programado por el ICA para la zona, tal como se indica en la Tabla 15 .

Tabla 15. Vacunación y dosis para ganado bovino.

Vacuna	Dosis	Estado del animal	Observación
Brucelosis	1 dosis por vida	Terneras entre 3 y 8 meses de edad	Una sola vez en terneras entre 3 y 8 meses de edad, con vacuna cepa 19 o cepa RB 51, en dos ciclos de vacunación anual, la cual se realiza en las mismas fechas fijadas para la vacunación contra la fiebre aftosa. En hembras mayores de 8 meses de edad, la vacunación se realiza con la autorización del ICA, exclusivamente con la cepa RB51.
Fiebre Aftosa	1 dosis por semestre	Todas	Independientemente de su edad, dos veces al año y en los ciclos de los meses de mayo-junio y noviembre-diciembre.

Fuente: FEDEGAN & SENA (2013).

Costos

- Costo de cada tipo de vacunación

El parámetro asociado es el precio de cada tipo de vacuna suministrada de acuerdo al ICA (El Diario del Otún, 2014), lo cual se indica en la Tabla 16.

Tabla 16. Precios de vacunación para ganado bovino.

Descripción	Unidad	Valor unitario
Vacuna Antiaftosa	1 Dosis	\$ 1.000
Vacuna brucelosis CEPA 19	1 Dosis	\$ 0
Vacuna brucelosis CEPA RB51	1 Dosis	\$ 3.530

Fuente: El Diario del Otún.

Variable

- Número de vacas vacunadas (antiaftosa y/o brucelosis) en un determinado tiempo.

3.4.3.2. Desparasitación

Parámetros

- Medicamento, cantidad, frecuencia y efecto en la leche por unidad animal debido a desparasitación

De acuerdo al plan sanitario seguido por la finca San Pedro, cada tres meses se deben desparasitar todas las vacas (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). En la Tabla 17, se indican los medicamentos, las dosis y las frecuencias respectivas implementadas para llevar a cabo el procedimiento de desparasitación.

Tabla 17. Dosis y frecuencia de suministro de desparasitantes para el ganado bovino de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Desparasitante	Cantidad	Unidad	Retiro de leche	Estado del animal	Frecuencia	Observación
Albendazol 25%	25	ml	24 a 72 h	Hato	Cada tres meses en dos dosis	La segunda dosis se aplica a los 21 días y se desparasita a las recién paridas.
Fenbendazol	30	ml	25 a 72 h	Terneras	Cada tres meses en dos dosis	

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Esta actividad es programada anualmente en el cronograma de ganadería; para la desparasitación de las vacas lactantes, se divide el hato en seis grupos aproximadamente de igual tamaño sin tener en cuenta la etapa de lactancia y se aplica

el medicamento a un grupo cada semana hasta completar todas las unidades animales de este grupo.

Costos

- Costo de purga

El parámetro asociado es el precio unitario de cada desparasitante, tal como se indica en la Tabla 18.

Tabla 18. Precio unitario de desparasitantes.

Desparasitante	Unidad	Valor unitario
Albendazol 25%	Frasco 500 ml	\$ 168.500
Fenbendazol	Frasco 500 ml	\$ 145.000

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Variables

- Número de vacas por desparasitar en el tiempo destinado para esta actividad.
- Cantidad de leche en litros retirados por desparasitación en un tiempo determinado.

3.4.3.3. Fumigación y pesticidas

Parámetros

- Medicamento, cantidad, frecuencia y efecto en la leche por unidad animal por aplicación de pesticidas

De acuerdo al plan sanitario seguido por la finca, el control de mosca se realiza con Triatox y para otros controles de insectos se usan las caravanas insecticidas (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). En relación con esto, los parámetros se encuentran en la Tabla 19.

Tabla 19. Cantidad y frecuencia de empleo de pesticidas en la finca San Pedro del CBA del SENA.

Concepto	Descripción	Cantidad	Unidad	Retiro de leche	Estado de la vaca	Frecuencia
Control de mosca	Triatox	30	ml/5 vacas	72 h	No lactantes	Baño cada 21 días
Pesticidas	Caravanas insecticidas	2	und/vaca	*NA	Hato	Cambio cada 3 meses

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

*NA: No Aplica.

Costos

- Costo de control de mosca y caravanas

El parámetro asociado es el precio unitario de cada tipo de pesticida empleado, tal como se indica en la Tabla 20.

Tabla 20. Precio unitario de pesticidas.

Descripción	Unidad	Valor unitario
Triatox	Frasco 1 litro	\$ 145.000
Caravana insecticidas	Caja x 100 unds	\$ 892.500

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Variable

- Número de vacas destinadas a la aplicación de cada tipo de pesticida en un tiempo determinado.

3.4.4. Mastitis (entrada)

La mastitis es una de las principales y la más común de las afecciones de vacas lecheras de acuerdo a los registros sanitarios de la finca San Pedro (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). Esta afecta los niveles de producción debido al retiro de leche como consecuencia de la aplicación de tratamientos con medicamentos.

Estos medicamentos generan entradas al sistema, ya que son insumos requeridos para que el proceso de producción pueda ser llevado a cabo y para obtener un producto final con la calidad adecuada.

Parámetros

- Probabilidad de adquirir mastitis por una vaca en cada etapa de lactancia y su efecto en la leche

Con base en las etapas identificadas en la lactancia, se hallaron las distribuciones de probabilidad a las cuales obedecen los datos históricos del registro sanitario de la finca en relación con el padecimiento de mastitis que impliquen tratamiento con antibióticos, es decir, que tendrían un tiempo de retiro de leche de 72 horas (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013b). Esta información se halló en la sección 1.3 (Análisis de datos de entrada”), donde se encuentra el procedimiento utilizado y los datos obtenidos.

- Programación de pruebas para diagnóstico de mastitis

En el programa de prevención de mastitis de la finca se establece la realización de la prueba California Mastitis Test (CMT) para identificar a los animales afectados por la enfermedad. Esta prueba es realizada cada 21 días al hato completo (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013b).

Costos

- Costo de los medicamentos utilizados para el tratamiento de mastitis

Aquellas unidades animales detectadas con mastitis y que necesitan tratamientos con antibióticos serán diagnosticadas detalladamente por medio de un cultivo y los resultados concluirán el tipo de medicamento a suministrar; de esta manera varía el costo en cada caso. Debido a esto, se tomó el costo de tratamiento promedio, cuyo valor es de \$74.431,25 por cada detección de la enfermedad en un animal.

Variables

- Número de vacas afectadas por mastitis en un tiempo determinado.
- Cantidad de leche en litros retirados por mastitis.

El animal como unidad productiva está sujeto a varias etapas de acuerdo con el comportamiento biológico. Dichas etapas determinan los diferentes subprocesos que componen la producción de lechería especializada. A continuación, se describen las variables, los parámetros y los costos identificados para cada uno de dichos subprocesos.

3.4.5. Maduración

El subproceso de maduración se refiere al crecimiento del animal hasta llegar a su etapa reproductiva.

Parámetros

- Tiempo necesario para alcanzar la fase reproductiva de las hembras

La veterinaria de la finca San Pedro, Tatiana Ocampo, considera la edad de 2 años como apta para iniciar la fase reproductiva de las novillas (Ocampo, 2016).

- Tiempo de manutención de machos antes de su venta

Según el plan sanitario seguido por la finca, el destete se da a partir de los 3 meses de edad del animal; luego de este tiempo el ternero puede ser vendido (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a).

3.4.6. Reproducción

La etapa de reproducción comprende los procesos de celo, inseminación artificial (o monta) y la concepción, la cual puede entenderse como el éxito de la inseminación, lo que provoca la preñez del animal.

Parámetros

- Frecuencia del celo

La veterinaria de la finca indica que los animales de la finca presentan celo cada 18 a 23 días y que este tiene una duración de un día. Para efectos de simplificación se toma un celo mensual (Ocampo, 2016).

- Tiempo para la aparición del celo luego de un parto

De acuerdo a las prácticas y observaciones realizadas por la veterinaria de la finca, el celo apto para la concepción luego de ocurrido un parto aparece a los 60 días (Ocampo, 2016).

- Tiempo de espera luego de la inseminación para confirmar preñez

60 días luego de llevar a cabo la inseminación se realiza la confirmación de la preñez, teniendo en cuenta las siguientes etapas (Bojacá, 2016):

- 21 días luego de inseminación: se lleva a cabo un chequeo visual. Si el animal entra en celo nuevamente, no hubo preñez y se vuelve a inseminar.
- 42 días luego de inseminación: se hace palpación de útero.
- 60 días luego de inseminación: se hace nuevamente palpación de útero. Generalmente a los 42 días de haber efectuado la inseminación no es tan fácil detectar si el animal está o no preñado por medio de palpación como lo es cuando el chequeo se hace a los 60 días, tiempo en el cual la confirmación de la preñez es mucho más confiable.
- Probabilidad de concepción luego de inseminar

Esta información se halla en la sección 1.3 (Análisis de datos de entrada”). Para este caso, la homogeneidad de los datos obtenida permite suponer que la probabilidad de concepción en cada inseminación no varía debido al número de fracasos anteriores o por la edad del animal.

Costos

- Costo de la inseminación

A este costo se asocia el parámetro del precio de las pajillas que se emplean para inseminar las vacas, cuyo valor unitario es de \$ 86.000 (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014b).

Variables

- Número de vacas inseminadas en un determinado tiempo.
- Número de concepciones exitosas y no exitosas en un determinado tiempo.

3.4.7. Gestación

La gestación hace alusión al período comprendido entre la concepción y el parto o aborto.

Parámetros

- Tiempo de gestación

Al formular el proceso productivo a través de dinámica de sistemas, el tiempo de gestación es considerado una demora o retraso; por tanto, para efectos de simplificación, se utilizó el tiempo medio observado en los registros de partos del año 2014, tomando el valor de 280 días (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

- Probabilidad de aborto

Con base en el registro de abortos se obtiene la distribución de probabilidad que se ajusta al comportamiento y los parámetros (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c). Esta información se halla en la sección 1.3 (“Análisis de datos de entrada”), donde se encuentra el procedimiento que se utilizó y los resultados obtenidos.

Variables

- Cantidad de partos en un tiempo determinado.
- Cantidad de abortos en un tiempo determinado.

3.4.8. Parto

Parámetros

- Probabilidad de supervivencia del neonato

Se tienen en cuenta la probabilidad de mortinatos y la distribución a la cual se ajusta (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c). La información se halla

en la sección 1.3 (“Análisis de datos de entrada”) y allí se encuentra el procedimiento que se utilizó.

- Probabilidad de que la cría sea hembra

Esta información se halla en la sección 1.3 (“Análisis de datos de entrada”), donde se encuentra el procedimiento que se utilizó y los parámetros encontrados.

Variables

- Cantidad de neonatos supervivientes al parto en un tiempo determinado.
- Cantidad de mortinatos en un tiempo determinado.
- Cantidad de nacimientos de hembras en un tiempo determinado.
- Cantidad de nacimientos de machos en un tiempo determinado.

3.4.9. Descarte

El descarte es el momento en el que la vaca culmina su etapa productiva y es extraída del ganado.

Parámetros

Las siguientes son las razones para realizar descarte de vacas en la finca San Pedro (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a):

- Deficiencia reproductiva: vacas que no han tenido concepción exitosa luego de tres inseminaciones consecutivas.
- Edad: cumplidos los 10 años las vacas son consideradas poco productivas por lo cual son descartadas.

Una razón adicional para descartar una vaca es la presencia de alguna enfermedad mortal o de una que no permita la libre movilidad del animal. Estas afecciones son poco probables en las condiciones actuales de acuerdo con los registros de la finca y no impactan significativamente la dinámica del sistema (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

Variables

- Número de vacas descartadas por edad en un tiempo determinado.
- Número de vacas descartadas por deficiencia reproductiva en un tiempo determinado.

3.4.10. Leche (producto o salida)

Las salidas corresponden a los diferentes productos o bienes que son obtenidos como resultado de la ejecución de un proceso productivo. De acuerdo con esto,

las salidas identificadas del proceso de producción de lechería especializada desarrollado en la finca San Pedro son: leche y venta de animales en pie, para las cuales se identificaron y analizaron los parámetros, los costos y las variables asociadas.

Anteriormente se analizó el proceso de ordeño y lactación. A continuación se tratará el almacenamiento, las demandas e ingreso por concepto de leche producida.

Parámetros

- Capacidad y tiempo máximo de almacenamiento en el tanque de enfriamiento del equipo de ordeño

El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 2.500 litros y el tiempo máximo que se puede almacenar la leche en la finca, por pedido de las pasteurizadoras, es de 72 horas (Dimap Soluciones S.A.S, 2015).

- Clientes

La Cooperativa Lechera COLANTA es el único cliente del sistema productivo analizado. Se cuenta con ventas a otros clientes, pero las cantidades no superan en su mayoría los 50 litros y su frecuencia es baja, por lo tanto no son incluidos en la estructura del proceso.

- Demanda de leche

Los registros de ventas y el testimonio de las personas responsables del área de ganadería y producción de la finca indican que toda la leche producida es recolectada y comprada por COLANTA (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c). Dado que el propósito del presente trabajo no es el análisis exhaustivo del mercado lechero, se supone igualdad en la demanda y la producción durante todo el horizonte temporal.

- Recolección y venta

COLANTA recolecta la leche aproximadamente una vez día de por medio durante todo el año y realiza el pago de manera semanal.

- Precio de venta por litro de leche

El precio es fijado, de acuerdo a lo establecido en la Resolución 17 del 2012 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012), dependiendo de la calidad composicional e higiénica de la leche, además de bonificaciones por calida sanitaria del proveedor y otras bonificaciones voluntarias. Debido a que el precio de venta por litro es variable, se llevó a cabo un análisis de la variación de este parámetro, el cual se muestra en la sección 1.3 (“Análisis de datos de entrada”).

Costos

Son incluidos aquí los costos administrativos.

- Honorarios del personal

El personal está compuesto por un trabajador pecuario, quien dedica la tercera parte de su tiempo al área de ganadería; dos trabajadores técnicos de tiempo completo y un veterinario de planta administrador del ganado. En la Tabla 21 se encuentran los valores del salario mensual del personal de ganadería de la finca San Pedro (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

Tabla 21. Honorarios del personal de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Cargo	Salario mensual
Veterinario	\$ 3.269.426
Trabajador pecuario	\$ 1.316.526
Trabajador ganadería 1	\$ 393.460
Trabajador ganadería 2	\$ 1.873.828
Total honorarios/mes	\$ 6.853.240

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Variable

- Ingresos en dinero por venta de leche.

3.4.11. Ventas en pie (salida)

El CBA no está autorizado para sacrificar ganado bovino, por lo que los animales que deben salir del sistema son vendidos en pie. Estas ventas pueden ser de terneros machos o de vacas de descarte.

Parámetros

- Precio de venta de los machos

El precio unitario promedio de venta de los machos es de \$100.000 pesos conforme a los registros de bajas de la finca (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

- Precio de venta de las vacas descartadas

El precio unitario promedio de venta de hembras por descarte es de \$900.000 pesos conforme a los registros de bajas de la finca (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

4. Modelamiento de la unidad de producción lechera

La presente investigación busca representar la estructura de producción del hato de medianos productores de leche cruda de Cundinamarca a partir del sistema productivo observado en la finca San Pedro del CBA. En consecuencia, con los objetivos de este trabajo, se conceptualiza el sistema mencionado a través de la dinámica de sistemas para evaluar el comportamiento de las variables de desempeño correspondientes a cantidad de leche producida, rentabilidad económica y nivel del hato.

Los supuestos estructurales, supuestos de datos y valores de parámetros de la formulación del modelo se enunciaron a lo largo de la sección anterior.

Las unidades de tiempo son meses y el intervalo de tiempo de simulación corresponde a 0,033 (diario), debido a la naturaleza diaria de la producción de leche y a tiempos de crecimiento y reproducción mensuales de la unidad animal.

4.1. Diagramas causales

Este sistema es un ciclo de vida: nacimiento, crecimiento, reproducción y muerte o salida, con repeticiones en la etapa de reproducción, ya que allí se obtiene el resultado de la producción (leche) y nacen las unidades animales que reemplazarán las salidas. Se diferencia de otros sistemas productivos en la transformación no solo de insumos sino también de las unidades que albergan las operaciones de procesamiento del producto como tal. Es decir, el sistema biológico reproductivo bovino es la unidad encargada de la producción y generación de leche, transformando insumos (alimentación, inseminación, tratamientos veterinarios) y respondiendo a cambios hormonales por gestación y partos. Para que esto suceda el animal debe atravesar previamente su propio proceso de crecimiento, maduración y preñez, con lo cual la unidad de transformación es también producto del sistema.

Por otro lado, en la Figura 14 se observa el diagrama causal del subsistema financiero, donde los costos están determinados por la alimentación, el personal, la atención veterinaria y reproductiva requerida para el ganado y el costo por concepto de ordeño. Los ingresos del sistema son producto de la venta de la leche producida, además de las ventas de ganado en pie (vacas en descarte y crías machos).

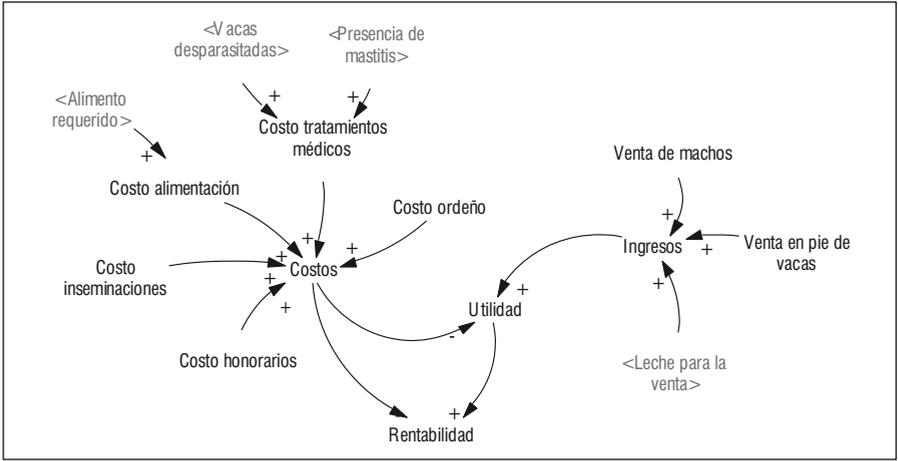


Figura 14. Diagrama causal financiero de la producción de lechería especializada. (Signos mayor que y menor que vinculan a otro diagrama)

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Diagramas de Forrester

Siguiendo la modulación del sistema productivo se plantean los diagramas de Forrester, adaptando las transiciones de los animales a través de su ciclo productivo a la estructuración de niveles y flujos.

Con el objetivo de seguir un orden cronológico sobre los sucesos que van transcurriendo en la vida del animal, la construcción de los diagramas se inicia con el momento del parto.

4.2.1. Dinámica biológica de la unidad animal

4.2.1.1. Parto y nacimiento

Con base en el planteamiento de Stephens, que en su estructura de ingresos y costos de la finca ganadera define el flujo de nacimientos de animales alimentando el nivel de inventario (Stephens y otros, 2012), se establecen como en-

tradas al sistema los nacimientos. Adicionalmente, son agregados los posibles resultados de un parto —supervivencia y sexo del neonato—, ya que estas variables también determinan el nivel del inventario animal a lo largo del horizonte temporal, tal como se observa en la Figura 15.

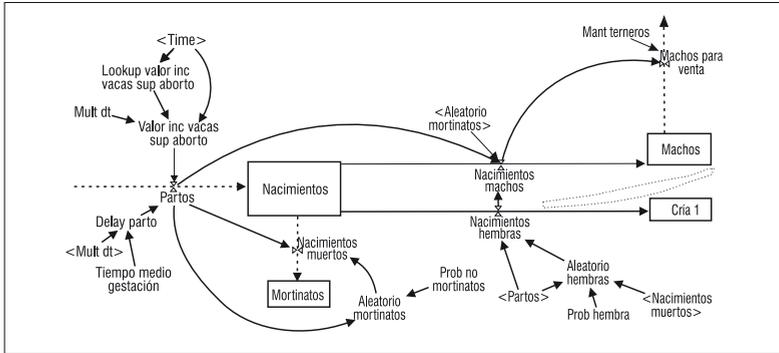


Figura 15. Diagrama de Forrester para parto y nacimiento.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Maduración

La literatura consultada construye un único nivel para referirse al inventario animal (Stephens y otros, 2012), pero cada estado (sexo, edad, lactancia, gestación) conlleva diferentes necesidades alimentarias, presencia de enfermedades y tasas productivas, por lo cual se establecen diferentes niveles por estado. En la etapa de maduración los niveles están determinados por el grupo de edad en el que se encuentre la ternera, de acuerdo a la segmentación mencionada en la descripción general de la finca, separando además el grupo “cría” en dos: cría 1, primeros dos meses de edad, y cría 2, tercer mes de edad, a causa de las diferencias en las raciones de alimentos. La Figura 16 muestra el flujo del inventario de terneras.

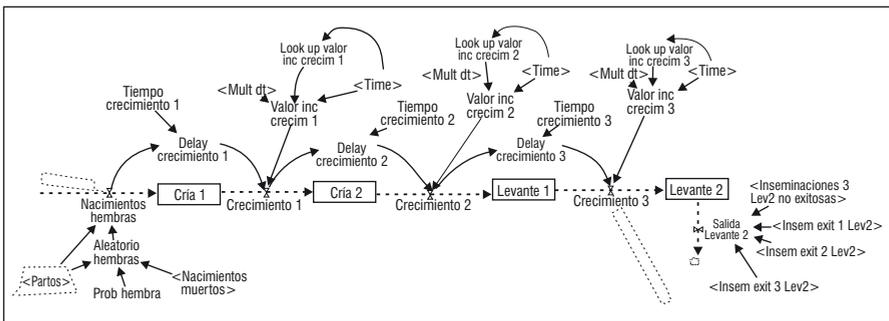


Figura 16. Diagrama de Forrester para maduración.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.3. Primera reproducción

Una vez la novilla alcanza la edad de madurez reproductiva es inseminada. Este procedimiento tiene una tasa de éxito y de fracaso (Groenendaal, Galligan, & Mulder, 2004), por lo cual se completa un ciclo de inseminaciones hasta obtener una concepción exitosa (Pereira Guimarães, Orlando Tedeschi, & Teixeira Rodrigues, 2009) o una salida por descarte (Stephens, y otros, 2012) a causa de la deficiencia reproductiva.

En la formulación del presente trabajo se desglosa el ciclo de Guimarães, adicionando el detalle de cada una de las inseminaciones para tener en cuenta tiempos de finalización de gestación por cada éxito y demoras para confirmar la preñez que cierran o continúen el ciclo (Figura 17).

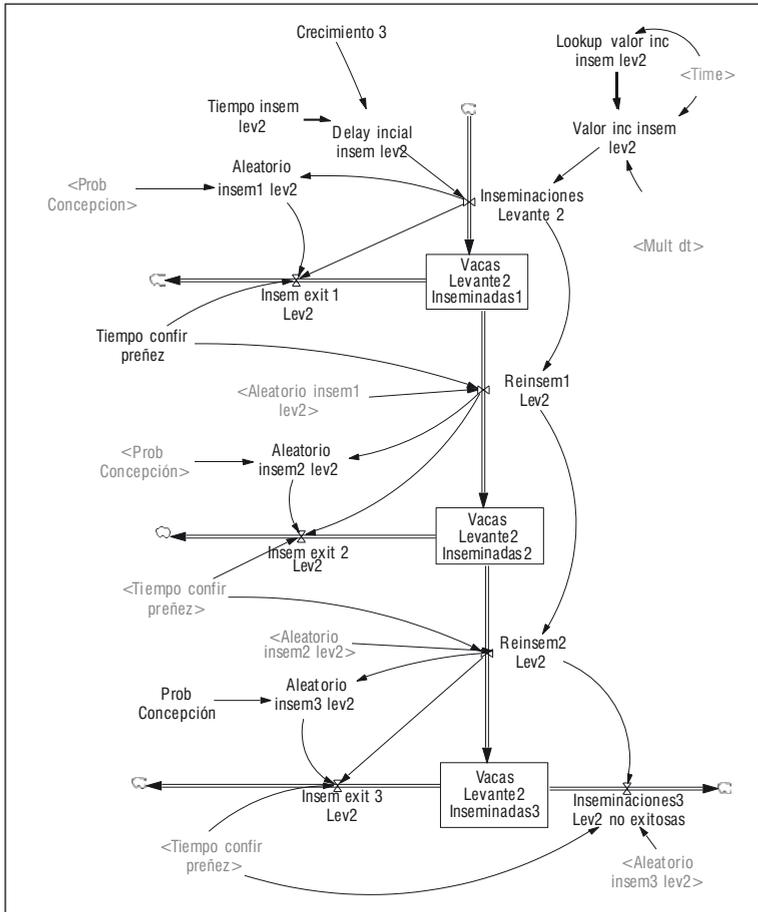


Figura 17. Diagrama de Forrester para la primera reproducción.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.4. Gestación

Si el ciclo de inseminaciones finaliza a causa de una concepción exitosa, este flujo es la entrada al nivel de gestación (Pereira Guimarães, Orlando Tedeschi & Teixeira Rodrigues, 2009), presentándose una demora o retraso que representa el tiempo de gestación (Groenendaal, Galligan & Mulder, 2004).

Además del nivel propuesto por Guimarães, se adiciona al modelo la salida del estado por tasa de abortos tal como se muestra en la Figura 18, y se construyen los niveles de los grupos de “Manga” y “Horro”, para de esta manera separar los sub-estados de gestación a lo largo de esta etapa a causa de sus diferentes necesidades alimentarias y agrupación en los potreros (Figuras 19 y 20).

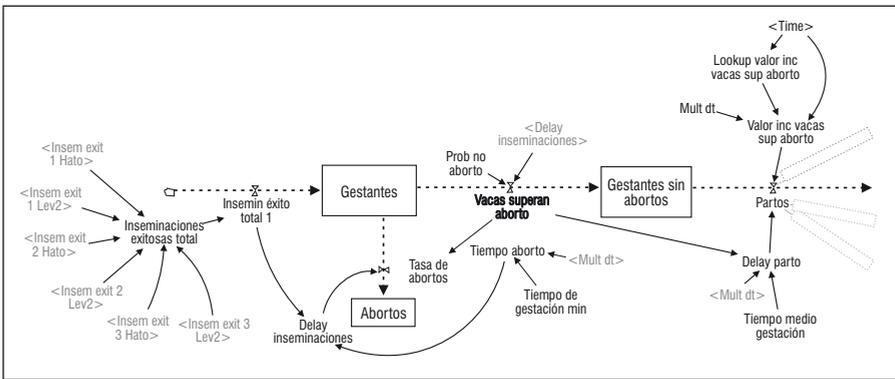


Figura 18. Diagrama de Forrester para gestación.

Fuente: Elaboración propia

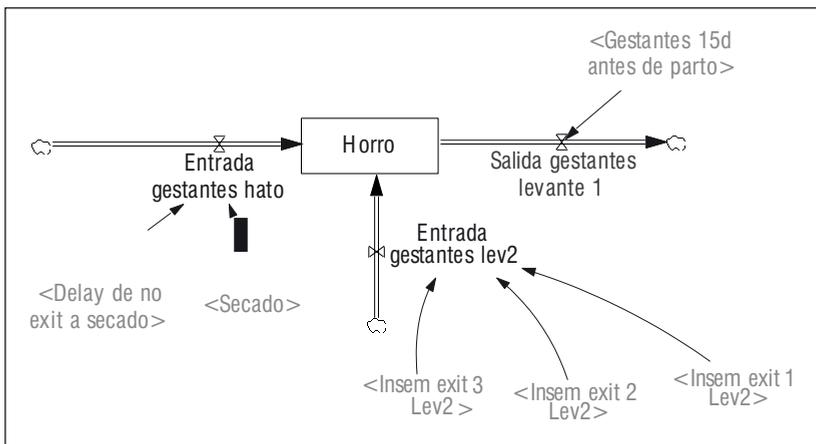


Figura 19. Diagrama de Forrester para horro.

Fuente: Elaboración propia

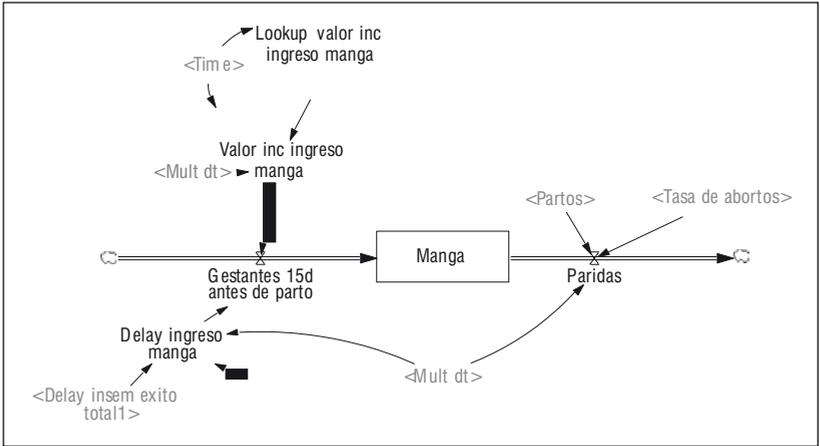


Figura 20. Diagrama de Forrester para manga.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.5. Lactancia

Un parto, sin importar su resultado (mortinato, hembra o macho), tiene como consecuencia el inicio de la etapa de lactancia de la vaca y la salida de este proceso es el producto final del sistema, es decir, la leche.

En el diagrama de Guimarães, las vacas lactantes son incluidas en un único nivel cuya entrada son los partos (Pereira Guimarães, Orlando Tedeschi & Teixeira Rodrigues, 2009) y la salida es el secado del animal, pero no se diferencian los distintos niveles de producción de leche de acuerdo al tiempo de lactancia en el que se encuentre la vaca (DeLorenzo, Spreen, Bryan, Beede, & Van Arendonk, 1992). En contraste, la formulación planteada en el presente trabajo mantiene las entradas por parto (incluyendo la demora para obtener leche apta para la venta); detalla las salidas por secado al relacionarlas con los periodos de descanso de la vaca antes de iniciar otra lactancia (demora que se contabiliza luego de la confirmación de preñez de la siguiente gestación); y separa los niveles de acuerdo a la cantidad de producción de leche dependiendo del tiempo que lleva el animal lactando (Figura 21).

4.2.1.6. Reproducción pos-lactancia

Sesenta (60) días después del parto, la vaca lactante es sometida nuevamente al ciclo de inseminaciones, siguiendo la misma estructura del esquema de primera reproducción. Aunque los ciclos de inseminaciones de novillas y del hato se comportan de igual forma, son separados ya que las salidas por deficiencia reproductiva disminuyen niveles diferentes; además en el inicio de un nuevo ciclo reproductivo del hato no se deben incluir aquellas vacas descartadas por edad (Figura 22).

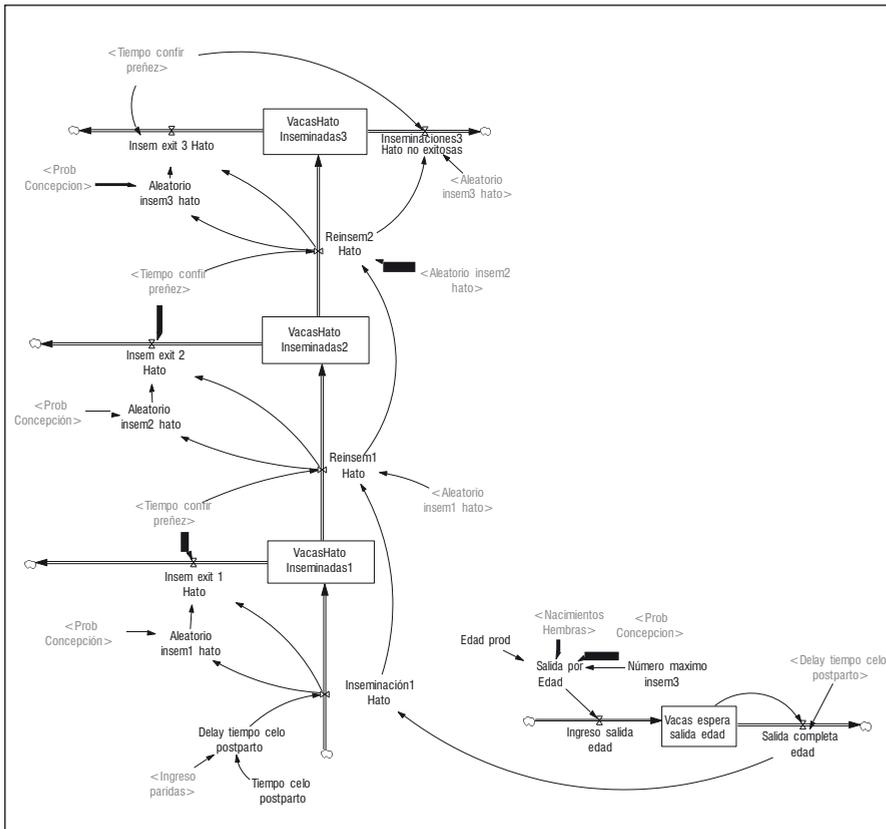


Figura 22. Diagrama de Forrester para reproducción post-lactancia.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Dinámica del producto - leche producida

La dinámica del flujo animal tiene como fin la producción de leche, pero el producto extraído de las vacas lactantes es sometido a otros flujos de pérdidas, autoconsumo, almacenamiento y venta (Figura 23).

- Pérdidas

El contenido de residuos de medicamentos para el tratamiento de mastitis y para la desparasitación en la leche ordeñada compromete las condiciones del producto convirtiéndolo en no apto para la venta para consumo humano (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). En consecuencia, aquellas vacas lactantes sometidas a estos tratamientos deben tener un retiro de acuerdo a lo mencionado en la sección 1.4 (“Descripción de las características y variables del sistema de producción de leche actual”).

Las pérdidas han sido incluidas en otros modelos, pero solo se consideran los retiros por mastitis (Cha y otros, 2014). El modelo planteado en el presente estudio incluye además la pérdida de leche ocasionada por el suministro de desparasitantes, ya que es un procedimiento veterinario que también genera retiros del producto.

- Autoconsumo

Debido a que las crías necesitan alimentarse de leche para asegurar su adecuado desarrollo y crecimiento, parte de la leche producida dentro del sistema debe ser suministrada como alimento a los terneros (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c). Esta porción del producto que será autoconsumido es necesaria para mantener el sistema por lo que no se considera una pérdida. Las cantidades de leche a consumir por unidad animal fueron definidas en la sección 1.4 (“Descripción de las características y variables del sistema de producción de leche actual”).

- Almacenamiento y venta

Ninguno de los modelos de referencia consultados consideran niveles de almacenamiento. En el sistema bajo análisis, debido a los tiempos de recolección del cliente, la leche extraída del ordeño (eliminando autoconsumos y pérdidas) es almacenada en un tanque de enfriamiento con tiempos máximos de duración (72 horas) y capacidad establecida (2.500 litros), por lo tanto se construye un nivel que represente esta situación, tal como se muestra en la Figura 23.

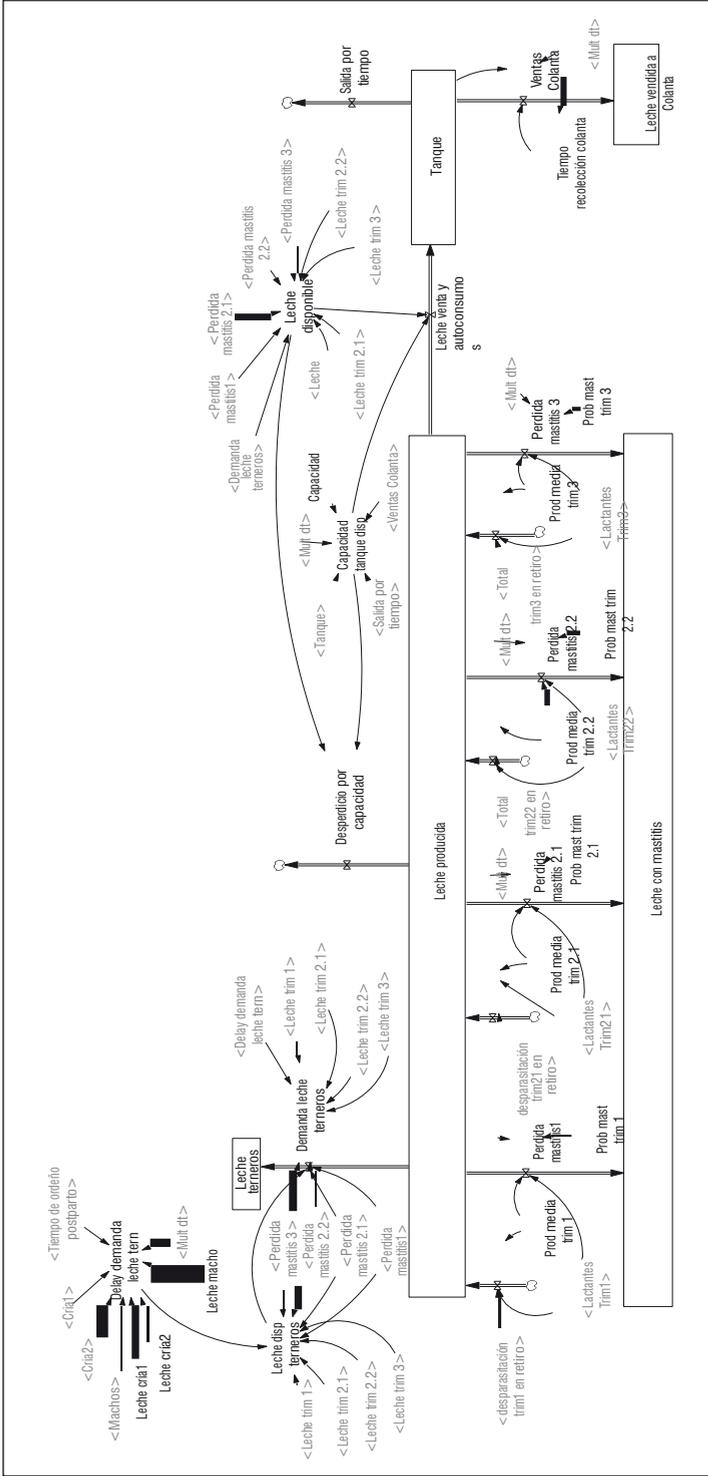


Figura 23. Diagrama de Forrester para la leche producida.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Evaluación económica

El sistema productivo genera costos e ingresos que se traducen en utilidades. Stephens considera en su estructura productiva ganadera los flujos de dinero estableciendo los ingresos como entradas, la disponibilidad de dinero como un nivel y los costos como salidas (Stephens y otros, 2012). Ya que el indicador de desempeño económico del sistema estudiado no es la liquidez sino la rentabilidad, se construyen como variables los costos, los ingresos, la utilidad (ingresos menos costos) y la rentabilidad (relación de los costos y la generación de utilidad) tal como se indica en la Figura 24.

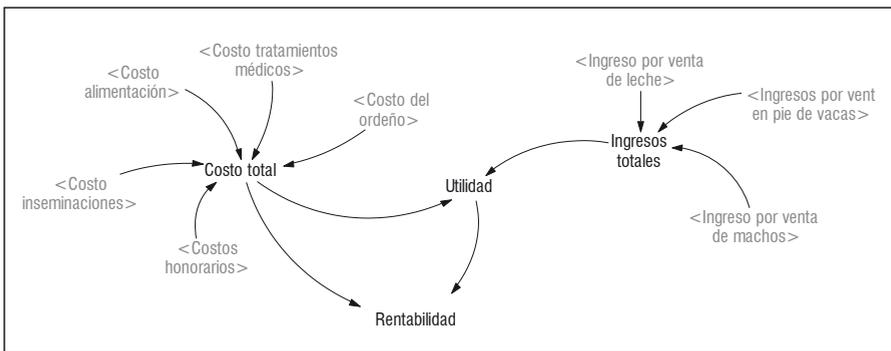


Figura 24. Diagrama de Forrester para evaluación económica.

Fuente: Elaboración propia.

- Costos

Se tienen en cuenta los costos generados por conceptos de alimentación, inseminaciones, tratamientos médicos (Groenendaal, Galligan & Mulder, 2004), adicionando los relacionados con el ordeño y los honorarios del personal definidos en la sección 1.4 (“Descripción de las características y variables del sistema de producción de leche actual”).

- Ingresos

En esta variable, además de los ingresos generados por la venta del producto (Stephens y otros, 2012), son incluidos los ingresos ocasionales resultado de las ventas en pie de machos y vacas en descarte.

Para el cálculo de los ingresos por venta de leche, se considera un flujo de ventas y un nivel de acumulación de pago, ya que el precio por litro es una variable aleatoria que cambia semanalmente como consecuencia del pago mensual que realiza el cliente (Figura 25) .

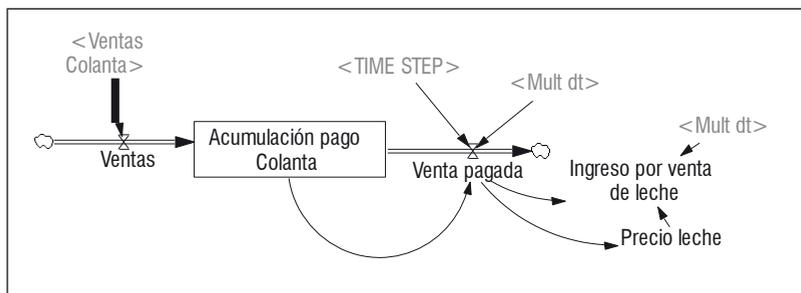


Figura 25. Diagrama de Forrester para ingreso por venta de leche.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Validación del modelo

Para la validación del modelo se usa el método de transformaciones de entradas- salidas (Banks, Carson II, Nelson & Nicol, 2009), utilizando el período comprendido entre junio de 2014 y mayo de 2015, comparando los errores porcentuales mes a mes de la cantidad en litros de leche destinada para la venta (ver Tabla 22).

Tabla 22. Error porcentual obtenido al comparar las cantidades de litros de leche mensuales para la venta del sistema real y del sistema simulado desde junio de 2014 hasta mayo de 2015.

Mes-año	Ventas del sistema real (l)	Ventas del sistema simulado (l)	Error o diferencia (l)	Error porcentual
jun-14	17011	16905,25	105,75	0,622%
jul-14	21920	23510,35	-1590,35	7,255%
ago-14	23733	23692,36	40,64	0,171%
sep-14	19915	19723,31	191,69	0,963%
oct-14	17005	18826,41	-1821,41	10,711%
nov-14	18412	18550,70	-138,70	0,753%
dic-14	19469	19482,13	-13,13	0,067%
ene-15	17143	17033,27	109,73	0,640%
feb-15	15019	15077,14	-58,14	0,387%
mar-15	21513	21331,57	181,43	0,843%
abr-15	20840	20833,26	6,74	0,032%
may-15	15965	16443,47	-478,47	2,997%
Error porcentual medio				2,120%

Fuente: Elaboración propia.

El modelo incluye variables aleatorias y el software de simulación mantiene la misma semilla para su generación, por lo cual fue necesario realizar 111 réplicas hasta encontrar estabilidad en el promedio de los datos para el análisis del error.

Posteriormente, se utilizó la prueba t de comparación de medias para una muestra (Banks, Carson II, Nelson & Nicol, 2009), ya que teniendo en cuenta el Teorema del Límite Central, se puede asumir normalidad de los datos por ser sumas de variables aleatorias independientes. Esta prueba arrojó como resultado el no rechazo de la hipótesis nula (error porcentual medio igual a 0), con un nivel de confianza del 95%, tal como se observa en la Figura 26. Por tanto, el modelo se puede considerar una buena representación del sistema real.

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
MAPEPROD	12	2,1202	3,37894	,97542

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
MAPEPROD	2,174	11	,052	2,1202	-,0267	4,2671

Figura 26. Resultados de prueba t de comparación de medias para una muestra para validación del modelo de simulación.

Fuente: Elaboración propia, SPSS.

5. Análisis del comportamiento del sistema actual

5.1. Descripción del comportamiento de las variables del sistema

Los resultados de las variables están determinados por el promedio de sus valores en cada réplica, eliminando la aleatoriedad como causa del comportamiento observado.

5.1.1. Nivel del hato

Tal como se muestra en la Figura 27, la capacidad de producción de leche representada por la cantidad diaria de vacas lactantes disminuye aproximadamente un 80% en 15 años. Esta reducción del inventario es progresiva, perdiendo el 40% del nivel de los animales en producción en los primeros 5 años y presentando inestabilidad con tendencia negativa en dicho nivel durante este período de tiempo.

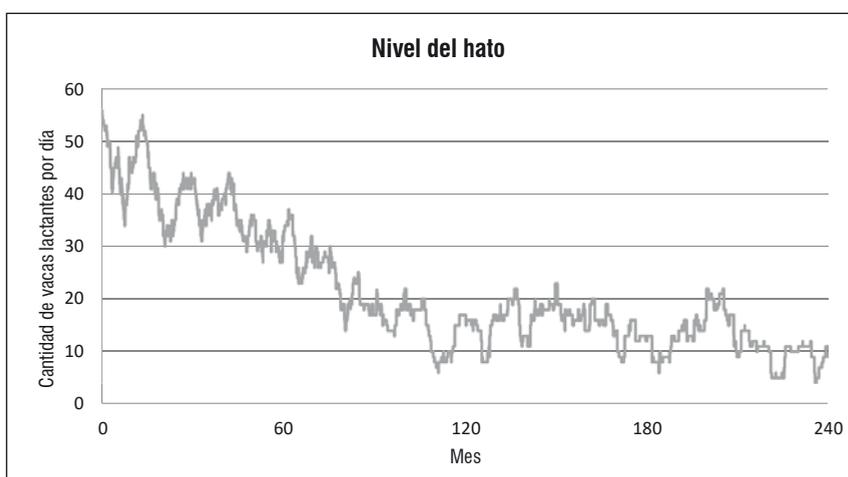


Figura 27. Comportamiento del nivel del hato.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con esto, se puede decir que con las condiciones actuales de operación del sistema, el hato tiende a disminuir con el paso del tiempo, lo cual implica claramente un comportamiento descendente del nivel de producción de leche.

Como posibles causas del comportamiento mostrado en la Figura 27, se tienen las siguientes:

- Desempeño reproductivo insuficiente para mantener las entradas de animales (nacimientos) superior o igual a las salidas de los mismos por descarte

La probabilidad de éxito en la concepción del 28%, la cual puede ser entendida como baja, y la política de descarte por razones reproductivas pueden estar generando un desequilibrio en el inventario de animales, produciendo una tasa de salidas mayor a la tasa de nacimientos.

Un bajo desempeño reproductivo significa no solo la baja tasa de nacimientos sino, además, salidas tempranas y disminución de la edad hasta la que una vaca es considerada útil para la producción, debido a que se estimula menos la producción de leche, bajando la productividad general del sistema.

- Desbalance de entradas (nacimientos) por abortos o mortinatos

La probabilidad de abortos o la probabilidad de mortinatos en relación con la cantidad de gestaciones del sistema podrían causar la disminución progresiva de las entradas de animales, impactando el nivel del hato, ya que el nacimiento programado y no exitoso no genera unidades productoras de leche potenciales y suficientes para reemplazar las salidas.

- Desbalance de entradas por nacimiento y venta de crías machos

La probabilidad de nacimiento de machos en relación con la cantidad de gestaciones del sistema podría causar también la disminución en el tiempo de las entradas de animales al sistema, ya que únicamente los nacimientos de hembras significan unidades productoras de leche potenciales, pues los machos son vendidos como ganado en pie, representando así una de las salidas del sistema.

5.1.2. Pérdidas de producto

El nivel de producción es afectado no solo por la cantidad de vacas en etapa de lactancia, sino también por el nivel de pérdidas de producto que se genera en el sistema. Aunque la cantidad de producto perdido no fue definida como una variable de desempeño, se analiza su comportamiento anual para establecer

la importancia de proponer políticas o estrategias que contribuyan con la disminución de dichas pérdidas.

Tal como se observa en la Figura 28, la actual programación de la desparasitación de vacas lactantes genera pérdidas de producto significativamente superiores, especialmente durante los 10 primeros años bajo estudio, a las ocasionadas por presencia y tratamiento de mastitis; para el segundo año, en el cual se presenta el pico de pérdidas debido a desparasitación, la diferencia en relación con las ocasionadas por tratamiento de mastitis equivale aproximadamente a un 91%. La diferencia entre las cantidades de litros de leche perdidos por ambas causas tiende a decrecer en el horizonte de tiempo bajo análisis, debido a la tendencia de extinción del hato bajo las condiciones actuales de operación del sistema, pues claramente entre menos cantidad de leche sea producida menores pérdidas se tendrán del producto.

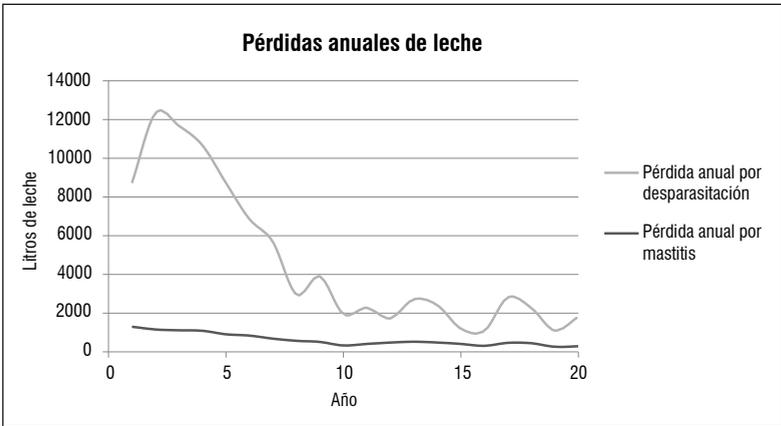


Figura 28. Pérdidas anuales de leche de la finca San Pedro del CBA del SENA.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del comportamiento mostrado en la Figura 28, resultaría conveniente evaluar la programación actual de desparasitación de las vacas lactantes, con el fin de determinar la posibilidad de establecer e implementar políticas alternativas que contribuyan a la reducción de las pérdidas de leche por este concepto.

5.1.3. Análisis de los indicadores de viabilidad económica

5.1.3.1. Costos del sistema

Los costos fueron clasificados de acuerdo a los sub-procesos que los generan; los costos fijos son aquellos vinculados con la máquina de ordeño y los hono-

rarios del personal, mientras que los costos variables están determinados por la alimentación de los animales (pasto, concentrados y sales), la reproducción (inseminaciones) y los tratamientos veterinarios (purgas, control de mosca, tratamientos para mastitis, vacunas).

Con el fin de facilitar la identificación de los rubros que mayores costos anuales generan para la producción de lechería especializada en la finca San Pedro, por medio de la Figura 29 se hace una comparación entre los costos fijos y variables del sistema para cada uno de los 20 años que considera el modelo de simulación.

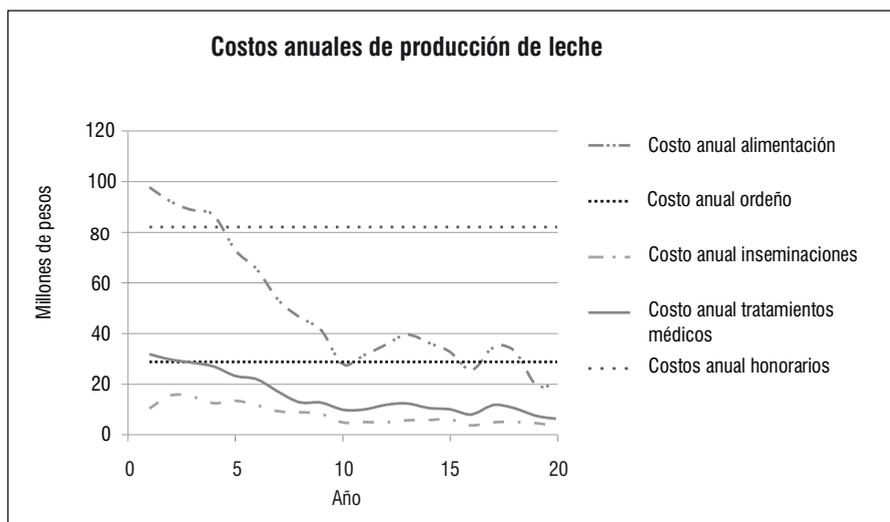


Figura 29. Costos anuales para la producción de lechería especializada en la finca San Pedro del CBA del SENA.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 29, los honorarios del personal representan los costos de mayor valor para la producción de leche en la finca San Pedro, superando significativamente los demás costos del sistema.

Con respecto a los costos variables, la alimentación presenta los valores más altos anualmente, lo cual es un resultado bastante lógico ya que este puede considerarse el insumo de mayor importancia para asegurar el buen desempeño de los animales. Por otro lado, para el caso de los tres costos variables en consideración, especialmente para los correspondientes a alimentación y tratamientos veterinarios, se observa una tendencia negativa, la cual está relacionada con la disminución del nivel del hato a través del tiempo obtenida al simular el sistema de producción actual; claramente, a menor número de animales, menores requere-

rimientos de insumos alimenticios y de prevención y control de enfermedades serán requeridos.

5.1.3.2. Rentabilidad

El sistema presenta pérdidas que van aumentando a medida que el tamaño del hato disminuye, como consecuencia de los altos costos fijos. Al observar la Tabla 23, se puede inferir que la rentabilidad depende del número total de vacas lactantes diarias, lo cual sugiere que aumentar dicho número podría generar utilidades positivas y rentabilidades superiores a 0.

Tabla 23. Rentabilidad proyectada de la producción de lechería especializada en la finca San Pedro del CBA del SENA.

Año	Nivel del hato promedio diario	Costo total anual	Utilidad anual	% Rentabilidad
1	45,63	\$ 247.567.901	-\$ 11.342.309	-4,6%
2	41,59	\$ 244.948.510	-\$ 4.621.918	-1,9%
3	38,71	\$ 239.827.229	-\$ 18.809.715	-7,8%
4	37,96	\$ 233.789.143	-\$ 13.745.089	-5,9%
5	31,58	\$ 217.123.488	-\$ 28.104.283	-12,9%
6	29,43	\$ 206.623.873	-\$ 35.386.210	-17,1%
7	23,57	\$ 187.029.221	-\$ 46.190.239	-24,7%
8	18,80	\$ 175.599.138	-\$ 59.380.133	-33,8%
9	17,48	\$ 169.883.802	-\$ 59.186.610	-34,8%
10	10,96	\$ 150.041.451	-\$ 84.237.484	-56,1%
11	14,16	\$ 154.120.976	-\$ 76.240.634	-49,5%
12	16,43	\$ 159.833.353	-\$ 66.330.558	-41,5%
13	18,09	\$ 165.408.105	-\$ 65.148.732	-39,4%
14	16,47	\$ 160.205.083	-\$ 63.223.620	-39,5%
15	13,48	\$ 156.488.381	-\$ 72.979.416	-46,6%
16	10,49	\$ 144.706.122	-\$ 83.841.733	-57,9%
17	15,25	\$ 159.012.690	-\$ 76.627.379	-48,2%
18	15,84	\$ 156.198.361	-\$ 61.345.746	-39,3%
19	8,97	\$ 139.305.928	-\$ 82.553.556	-59,3%
20	9,64	\$ 137.560.911	-\$ 82.888.097	-60,3%

Fuente: Elaboración propia.

Además de identificar estrategias para aumentar la cantidad de vacas en etapa productiva diaria, la información contenida en la Tabla 23 sugiere que se deben establecer e implementar políticas encaminadas a reducir los costos del sistema, y por ende, a mejorar los índices de rentabilidad del mismo, como por ejemplo mejorar la metodología usada para el proceso de reproducción con el fin de asegurar las concepciones y evitar al máximo tener que llevar a cabo reinseminaciones, o llevar a cabo un control más estricto de los diferentes procedimientos realizados en la finca para evitar al máximo la presencia de mastitis en los animales, lo cual genera costos debido a tratamientos veterinarios y pérdidas del producto principal, la leche.

5.2. Análisis de sensibilidad

Las hipótesis planteadas sobre el comportamiento del nivel del hato son sometidas a un análisis de sensibilidad con el fin de verificar si estas contribuyen o no al decrecimiento de la población.

5.2.1. Desempeño reproductivo

Para evaluar el impacto del desempeño reproductivo sobre el nivel del hato, se modificó la probabilidad de concepción tomando valores superiores e inferiores al actual (28%) –ya que este es el parámetro asociado al éxito o fracaso del proceso de inseminación y reproducción–, y se procedió a realizar la simulación para evaluar el efecto en el comportamiento del inventario animal debido a dicha modificación (Figura 30).

Manteniendo las políticas actuales de descarte, se concluye lo siguiente con respecto al nivel del inventario animal:

- Probabilidades de concepción inferiores a 38% tienden a generar procesos de extinción del hato.
- Probabilidades de concepción entre 38% y 40% logran un equilibrio relativo entre entradas y salidas, manteniendo así el nivel del inventario animal.
- Probabilidades de concepción superiores al 40% producen un incremento progresivo del hato.

Teniendo esto en cuenta, se puede decir qué modificaciones en políticas o variables relacionadas con el desempeño y descarte reproductivo, las cuales generen entradas y salidas similares al equivalente de tener una probabilidad de éxito de concepción igual o mayor al 38%, mantendrán o aumentarán el nivel del hato en un mediano y largo plazo.

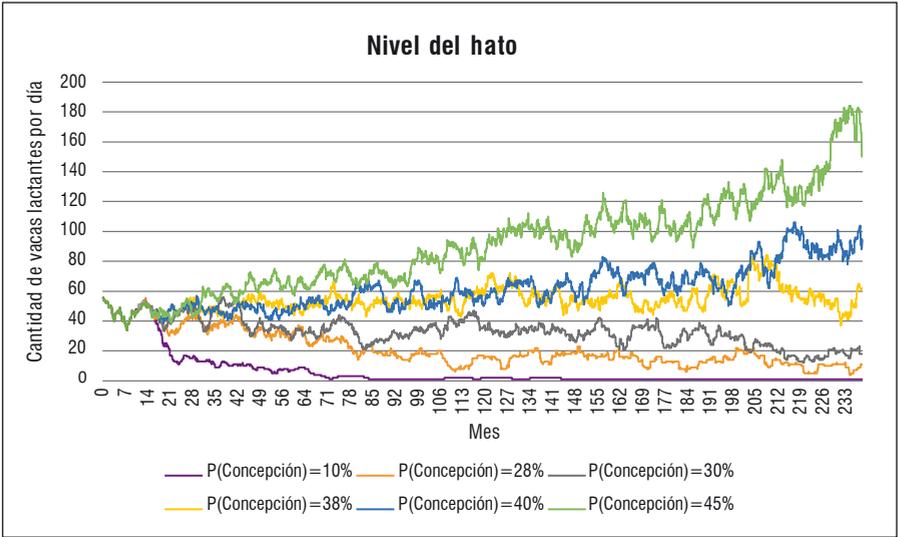


Figura 30. Análisis de sensibilidad del desempeño reproductivo.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Tasas de aborto y mortinatos

Se alteraron los valores de la probabilidad de ocurrencia tanto de abortos (Figura 31) como de mortinatos (Figura 32), incluyendo la supervivencia total.

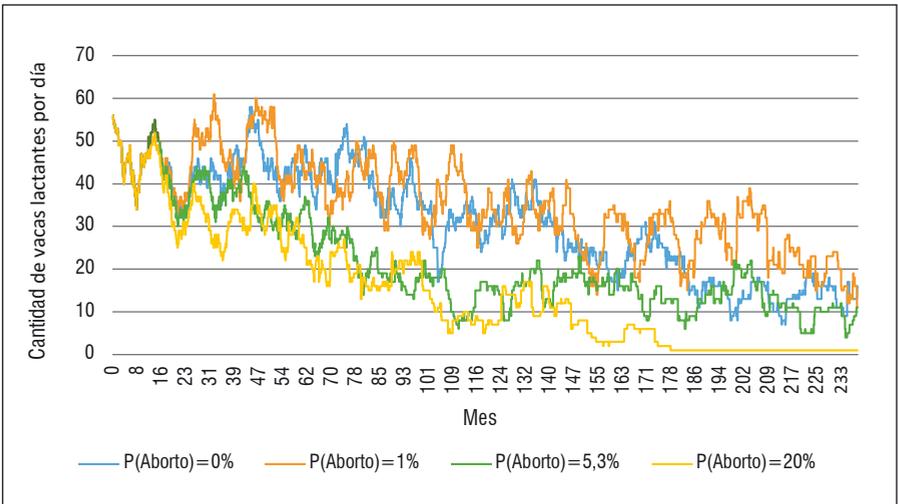


Figura 31. Análisis de sensibilidad de la probabilidad de aborto.

Fuente: Elaboración propia.

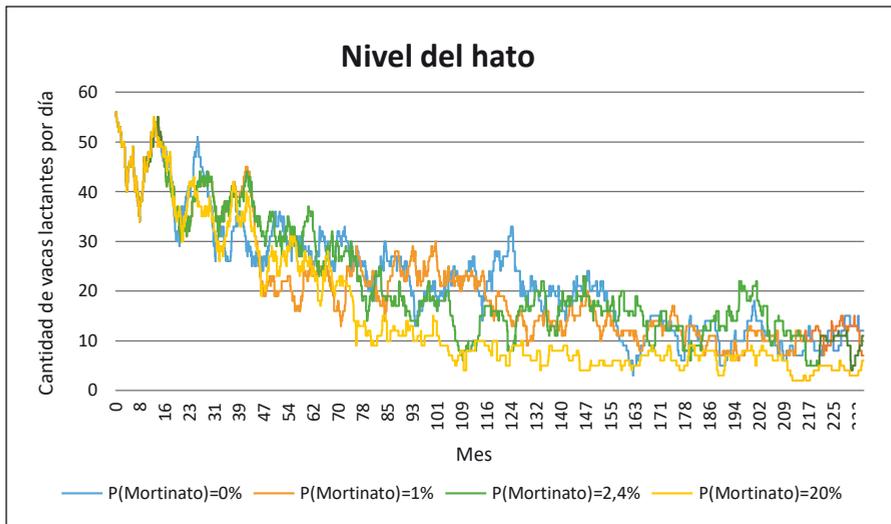


Figura 32. Análisis de sensibilidad de la probabilidad de mortinato.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo mostrado en las Figuras 31 y 32 si se mantienen políticas y demás parámetros actuales, es posible afirmar que las disminuciones de las tasas de aborto y mortinato, incluyendo mortalidad del 0%, no generan un cambio en la tendencia decreciente el nivel del hato. Por tanto, las estrategias o esfuerzos encaminados a minimizar exclusivamente las tasas actuales de abortos y mortinatos no impactarán la tendencia decreciente que presenta el comportamiento del inventario animal en las condiciones actuales de operación del sistema.

5.2.3. Sexo del neonato

Para evaluar el impacto del sexo de los neonatos sobre el nivel del hato, se modificó la probabilidad de nacimiento de hembras, tomando valores superiores e inferiores al actual (45,8%), y se procedió a realizar la simulación para evaluar el efecto en el comportamiento del inventario animal debido a dicha modificación (Figura 33).

Si se mantienen políticas y demás parámetros actuales, se concluye lo siguiente con respecto al nivel del inventario animal:

- Probabilidades de nacimiento de hembras inferiores a 45,8% tienden a generar procesos de extinción del hato más acelerados a lo largo del tiempo.
- Probabilidades de nacimiento de hembras entre 45,8% y 70% no necesariamente implican crecimientos proporcionales en el nivel del hato. Es decir,

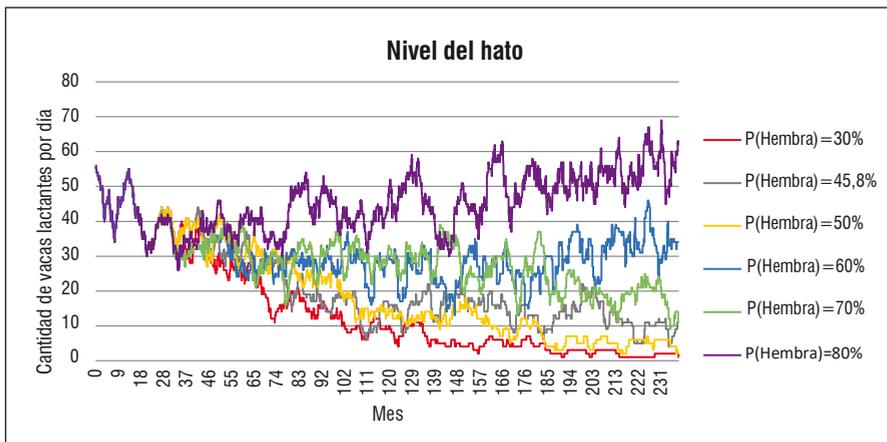


Figura 33. Análisis de sensibilidad del sexo del neonato.

Fuente: Elaboración propia, Excel.

para este intervalo, el incremento de la probabilidad de nacimiento de hembras no necesariamente genera un incremento en el nivel del hato a través del tiempo, pues tal como se muestra en la Figura 33, el inventario de animales en etapa productiva cuando la probabilidad de nacimiento de hembras es del 50% es inferior al inventario cuando dicha probabilidad es del 45,8%, comportamiento que se presenta más claramente a partir del mes 127 (año 11 aproximadamente) del período de tiempo bajo análisis. Paralelamente, el inventario de animales en etapa productiva cuando la probabilidad de nacimiento de hembras es del 70% es inferior al inventario cuando dicha probabilidad es del 60%, lo cual se presenta más claramente a partir del mes 189 (año 16 aproximadamente) del período de tiempo simulado.

Probabilidades de nacimiento de hembras iguales o superiores a 80% generan un crecimiento en el nivel del hato.

Teniendo esto en cuenta, se puede decir que si se quiere estabilizar o incrementar el nivel del hato aumentando el nacimiento de hembras, lo cual es posible por medio del uso del manejo reproductivo (semen sexado), se debe asegurar que dichos nacimientos se presenten en el 80% o más de los casos en que las vacas son inseminadas, ya que probabilidades de nacimientos de hembras inferiores a dicha proporción no certifican un crecimiento estable del hato a través del tiempo.

6. Identificación de estrategias de mejora del proceso de producción de lechería especializada

Luego de consultar diferentes fuentes de información tanto primaria como secundaria y de modelar y simular el comportamiento del sistema bajo las condiciones de producción actuales, fue posible identificar y establecer diferentes estrategias para mejorar el proceso de producción de leche, las cuales buscan básicamente: estabilizar o incrementar el nivel del hato, aumentar el nivel de producción y lograr la viabilidad económica del negocio, reduciendo costos de producción y/o aumentando los ingresos por ventas.

A continuación, se listan y describen las diferentes estrategias de mejora identificadas.

6.1. Estrategias de mejora vía costo

Las estrategias de mejora identificadas que afectan los costos de producción de lechería especializada son:

- Mejorar la fertilidad física, biológica, química e hídrica del suelo, estableciendo planes de fertilización adecuados (FEPL: Fertilización Estratégica en Producción de Leche) (Rojo, 2016).

Para determinar la cantidad de fertilizante que se debe suministrar es necesario establecer la tasa de extracción (anual) del pasto de los nutrientes presentes en el suelo. El pasto debe cumplir con ciertos requerimientos en nutrientes para poder suplir las necesidades alimentarias de los animales (Restrepo, 2016).

- Llevar a cabo un manejo adecuado de pasturas (tema de biodiversidad) y establecer un apropiado sistema de rotación de las mismas (Rojo, 2016).
- Establecer correctamente los días de ocupación y descanso de praderas (tema de programación adecuada de la producción) (Rojo, 2016).

Para poder establecer de manera precisa la duración de uso de los diferentes potreros, se recomienda llevar a cabo los aforos, teniendo en cuenta que un

animal se come máximo el 3% de su peso vivo en materia seca al día (entre 10% y 12% de materia verde al día). Por tanto, para determinar la duración de un potrero en días se debe dar respuesta a lo siguiente (Restrepo, 2016):

- ¿Cuál es el peso del hato?
- ¿A cuánto equivale el 3% de este peso?
- ¿Cuánta materia seca hay disponible?
- ¿Cuál es la duración del potrero en días?

En consideración a que los animales van consumiendo pasto en cada potrero y a que estos pisan, excretan y se echan sobre el mismo, se recomienda además delimitar cada potrero por áreas de acuerdo a la cantidad requerida para alimentar el ganado por día, y dichas áreas subdividir las en franjas (por ejemplo, 3 franjas, cada una para 4 horas de consumo de pasto) (Restrepo, 2016), además, se sugiere mantener un registro de uso de potreros y sub-potreros de acuerdo a la recomendación anterior.

- Realizar un adecuado y riguroso monitoreo de la calidad de las pasturas; entre los aspectos a controlar: aforo y grados brix (materia seca, generalmente azúcares) (Rojo, 2016).
- Dar cumplimiento a los balances nutricionales y llevar a cabo ajustes de dieta de manera constante (lo recomendable es que se haga cada 8 días pero, si no es posible, hacerlo al menos cada 15 días) (Rojo, 2016). Para esto, se recomienda además crear un registro dentro del sistema de gestión de calia dad que se denomine control y ajuste de dietas.
- Cuidar la relación Materia seca de pasto – Materia seca de concentrado. Esta relación debe ser siempre 60% - 40%, con el fin de evitar indigestar al animal y generar problemas de acidosis (Rojo, 2016).
- Controlar la variable de salida Producción (l/vaca-día) – Concentrado (kg concentrado). A mayor proporción de concentrado por litro de leche producida, mayores costos de producción (Rojo, 2016).

Por recomendaciones técnicas, el suministro de concentrado debe hacerse teniendo en cuenta la etapa de lactancia en la que se encuentre el animal, de la siguiente forma (Restrepo, 2016):

- Animales en el primer tercio (de 1 a 100 días): relación 3 a 1, es decir, por cada 3 litros de leche producidos, suministrar 1 kilo de concentrado.
- Animales en el segundo tercio (de 101 a 200 días): relación 4 a 1, es decir, por cada 4 litros de leche producidos, suministrar 1 kilo de concentrado.

- Animales en el tercer tercio (de 201 a 305 días): relación 5 a 1, es decir, por cada 5 litros de leche producidos, suministrar 1 kilo de concentrado.
- Se recomienda mantener la práctica de no tener pasto como monocultivo y contar en cada potrero con más de una opción (por ejemplo, kikuyo, ryegrass, etc.) de manera planeada y documentada, por el tema de manejo de plagas y de oferta de nutrientes para los animales (Restrepo, 2016). Además, que las especies forrajeras utilizadas, especialmente ryegrass, provengan de manera planeada de semillas certificadas, con el fin de que dichas especies sean digeribles y de baja toxicidad para los animales.

El ryegrass abunda en Cundinamarca (Restrepo, 2016), por lo que se recomienda sacar provecho de esto, ya que el ryegrass aporta mayor cantidad de proteína al animal que el kikuyo (Bojacá, 2016).

- El silvopastoreo es una muy buena opción para mejorar la productividad en la producción de lechería especializada, pues con esta técnica, al emplear por ejemplo plantas leguminosas como tilo o leucaena (fijadoras de nitrógeno y fuentes de proteína), se conserva más el suelo y por ende se debe fertilizar menos; además el animal puede contar con mayores opciones de alimentación. Al fertilizar menos, se puede evitar además contaminar fuentes de agua por el uso de químicos (Restrepo, 2016).

En el silvopastoreo, las plantas (tilo, botón de oro, entre muchas otras) ayudan a fijar nutrientes en el suelo, por lo que para producir la misma cantidad de pasto se requiere menor cantidad de fertilizante en comparación con un cultivo normal (Restrepo, 2016).

En el silvopastoreo se pueden identificar tres estratos (Restrepo, 2016):

- Estrato bajo: el pasto.
- Estrato medio: todo lo que sea forrajero, es decir, que el animal pueda consumir y que lo suplemente.
- Estrato alto: plantas que además de fijar nutrientes en el suelo, aportan sombra, lo que ayuda a termo-regular el animal ayudando así a reducir el consumo energético requerido para hacerlo y mejora la producción del mismo (ganancia de peso, producción de leche).

Por otro lado, a un sistema silvopastoril se le puede poner, por ejemplo, un maderable y al cabo de un tiempo (15 o 20 años) extraer madera como otra alternativa de ingreso para la finca (Restrepo, 2016).

- Aumentar la producción de partos por año, asegurando que más de la mitad de las crías sean hembras (Ocampo, 2016).

Con respecto a esto, se recomienda hacer uso de semen sexado para incrementar las probabilidades de nacimientos de hembras, que es lo ideal en producción de leche especializada (lo natural en la preñez de una vaca es que sea 50% hembras – 50% machos) (Rojo, 2016). Para esto, se debe tener en cuenta que la inseminación artificial por medio de semen sexado tiene mejor respuesta en vacas primerizas pues con cada parto la fertilidad disminuye y se sabe que la desventaja del semen sexado, al ser tan manipulado, es que puede tener una tasa de fertilidad menor a la del semen normal.

- Incrementar el nivel del hato por medio de la compra externa de animales en edad apta para ser inseminados por primera vez e iniciar su etapa reproductiva. Dicha edad, según recomendación de expertos, equivale a 24 meses (Ocampo, 2016).
- Adicionar un cuarto proceso de inseminación a los tres intentos actualmente realizados, antes de desechar al vacuno, esto con el fin de reducir la probabilidad de descartar animales por deficiencia reproductiva y aumentar así el número de éxitos en las concepciones (Ospina Garzón, 2015).
- Prevenir la mastitis cumpliendo con todas las normas de aseo e higiene durante el proceso de producción (las vacas con mastitis deben ser ordeñadas al final para evitar la contaminación de las pezoneras) (Rojo, 2016).
- Reducir al máximo las pérdidas de leche ocasionadas por desparasitación de animales, efectuando una programación adecuada de este procedimiento que evite la realización del mismo en vacas lactantes durante su período de mayor producción de leche (Ospina Garzón, 2015).
- Mejorar la política relacionada con el manejo de aguas (proyecto: cosecha de aguas lluvias) (Ocampo, 2016).
- Establecer un plan para manejo de excreta de bovinos. Actualmente los excrementos simplemente se envían al tanque estercolero, pero falta definir un plan organizado que mejore la labor desarrollada en la finca en esta parte (Ocampo, 2016).

Al respecto, sería conveniente contar con una laguna de oxidación, lo cual resulta más adecuado en comparación con el manejo de excretas que se hace en tanque estercolero. Para ello, se recomienda realizar un perfil topográfico de la finca (Ocampo, 2016).

- Debido a que el nivel freático de la finca San Pedro es alto, se recomienda evitar el enterramiento de cadáveres y finalizar la gestión de un punto de re-

colección intermedio para poder refrigerar cadáveres, placentas, y todo lo que sale en piezas de animales (Ocampo, 2016).

En relación con el enterramiento de cadáveres, se sugiere llevarlo a cabo según indicaciones del sistema de gestión de calidad, las cuales se listan a continuación.

Para los residuos anatomopatológicos como amputaciones, muestras de sangre, cadáveres, placentas o camas de animales de zonas de cuarentena, se debe diseñar un mecanismo de enterramiento en caso de no contar con las condiciones para su recolección (Uribe, Zuluaga, Valencia, Murgueitio & Ochoa, 2011):

- Se recomienda partir el cadáver en varias partes y punzar siempre el tracto digestivo en varios sitios para permitir la salida de gases.
- No agregar directamente sobre el cadáver cal o desinfectantes que puedan alterar la descomposición.
- Cavar la fosa de enterramiento a una distancia mínima de 20 metros de las fuentes de agua, mínimo a 10 metros de linderos con propiedades vecinas y a 50 metros de viviendas (mínimo).
- La profundidad de la fosa debe ser suficiente para que al menos 30 cm de tierra queden encima del cadáver.
- Se debe contar con planta eléctrica en la finca como medida de contingencia en caso tal de que sea interrumpido el suministro de electricidad, esto con el fin de que el equipo de ordeño esté siempre trabajando y la leche almacenada esté siempre correctamente refrigerada (entre 2 y 6 grados centígrados) (Restrepo, 2016). En relación con esto, se recomienda además contar con pararrayos que eviten tanto pris en la producción como accidentes de trabajo generados por tormentas eléctricas.
- Documentar todos los procesos que son desarrollados en la finca, tanto los que exige la certificación en BPG como otros que no exige la misma pero que requieren de una mayor claridad, por ejemplo, documentar el proceso de venta de ganado en pie (proceso administrativo) acorde a las políticas del CBA. También, se debe documentar todo lo relacionado con el manejo del equipo de ordeño (Ocampo, 2016).
- Por manual de funciones, quienes deben encargarse de la inseminación artificial de los animales son los trabajadores oficiales. En consideración al proceso de formación, dicho procedimiento es realizado en muchas ocasiones por los aprendices, lo cual debe llevarse a cabo con el mayor acom-

pañamiento posible para reducir al máximo el número de animales vacíos, no preñados o lastimados (Ocampo, 2016).

- El área de agroindustria del CBA, encargada de la producción de derivados lácteos, debe estandarizar la cantidad de litros de leche que requiere semanalmente para producción, ya que actualmente su solicitud semanal es variable, lo cual dificulta la planeación en cuanto al suministro del producto que debe hacer la finca de forma periódica a dicha área (Ocampo, 2016).
- Al finalizar cada año (entre noviembre y diciembre), la administración de centro solicita una proyección de gastos para el año siguiente, por lo que se debe hacer la proyección de los insumos requeridos tanto para formación como para producción de manera anual. Al respecto, falta mucha articulación entre las actividades de formación y producción; no hay una planeación clara en relación con lo que se va a realizar en la finca en cuanto a formación. Por tanto, se debe establecer una mejor articulación entre ambas partes para asegurar una programación adecuada de actividades e insumos requeridos en la finca (Ocampo, 2016).

6.2. Estrategias de mejora vía precio

Las estrategias de mejora identificadas que afectan el precio de venta de la leche producida en la finca San Pedro del CBA son:

- Se recomienda minimizar en el hato los animales cruzados y tener Holstein puros y overo colorado puros; con los primeros se mejoran los niveles de producción de leche y con los segundos el rendimiento en sólidos totales.
- Teniendo esto en cuenta, se recomienda dejar la leche obtenida de Holstein puros para COLANTA (interesa más el volumen que la calidad) y la obtenida de overos puros para la industria (procesamiento de lácteos). Para ello, se requeriría hacer una diferenciación y separación de los animales según raza cuando se lleve a cabo el ordeño, esto con el fin adicional de enviar la leche producida en cada caso a un tanque conmutado para almacenar el producto de forma separada.
- Para bonificar en el precio de la leche por unidades formadoras de colonia, la principal medida es realizar la rutina de ordeño con todas las medidas de higiene e inocuidad recomendadas. En la finca esta bonificación varía dependiendo de los aprendices que intervienen en el proceso, ya que no todos lo realizan de la manera más limpia posible. Por tanto, se recomienda que los trabajadores de planta intervengan siempre en el proceso de ordeño. Además,

se recomienda que los estudiantes únicamente intervengan en el ordeño con la supervisión de sus respectivos instructores, lo cual requeriría una mayor coordinación con el proceso de formación.

- Mejorar la articulación entre las áreas de producción y agroindustria buscando obtener productos y/o derivados lácteos de la mejor calidad, esto con el fin de establecer y posicionar una marca, que además de posibilitar el incremento en el precio de los productos obtenidos en el CBA, pueda posicionar al SENA como centro de formación técnica y tecnológica de calidad para capturar nuevos estudiantes.

7. Evaluación de las estrategias de mejora del proceso de producción de lechería especializada

Una vez identificadas diferentes estrategias que podrían ser implementadas para mejorar la rentabilidad del negocio de producción de lechería especializada de la finca San Pedro del CBA, se definió cuáles de estas podrían ser evaluadas por medio del modelo de simulación desarrollado en la presente investigación.

A continuación, se lleva a cabo el análisis de aquellas estrategias cuyo impacto en el sistema fue evaluado de manera cuantitativa por medio de dicho modelo.

7.1. Estrategias para estabilizar el nivel del hato

De acuerdo con la simulación, las condiciones actuales del sistema están causando una disminución en el nivel del hato a lo largo del tiempo, lo cual afecta de manera directa los niveles de producción de la finca. De acuerdo al análisis de sensibilidad hecho para las variables de desempeño, el bajo desempeño reproductivo de los animales y la baja probabilidad de nacimiento de hembras son factores que están afectando de manera significativa el nivel del hato, por lo que se decide focalizar las estrategias en estas variables, tal como se describe a continuación.

7.1.1. Política de descarte por reproducción

La probabilidad de concepción en las inseminaciones artificiales a bovinos está determinada por factores biológicos referidos al ciclo estral de la vaca, a la calidad del semen y a la realización correcta y oportuna del procedimiento (Rodríguez Hernández, 2001). Por lo tanto, la modificación de este parámetro requiere tener previamente conocimientos en zootecnia o medicina veterinaria.

Puesto que no se puede modificar el parámetro asociado al desempeño reproductivo a través de herramientas de programación y planeación de producción sin realizar un estudio veterinario detallado previo, se plantea una política que disminuya las salidas por deficiencia reproductiva y aumente el número de éxitos en las concepciones.

Los éxitos o fracasos de concepción en cada una de las inseminaciones son eventos independientes a los cuales aplica la regla de multiplicación de probabilidades, donde la probabilidad de ocurrencia de varios eventos es igual a la multiplicación de las probabilidades de cada uno (Mendenhall & Sincich, 1997). Por ello, al adicionar un cuarto proceso de inseminación antes de desechar al vacuno, se reducirá la probabilidad de que este sea descartado por deficiencia reproductiva. En consecuencia, una cuarta oportunidad de concepción comprende una tasa menor de salidas por este concepto, aumentando así el número de concepciones exitosas.

En casos donde el valor genético y el nivel de producción de una vaca son altos, pero no consigue tener concepciones exitosas luego de ser sometida a tres inseminaciones consecutivas, la veterinaria ha decidido realizar una vez más el procedimiento, obteniendo preñez en varios casos. Esto valida la política propuesta como estrategia de mejora.

7.1.1.1. Resultados de la implementación de la política de descarte por reproducción

Al adicionar un ciclo de inseminación antes de desechar el vacuno, el cambio de la política de descarte de animales por deficiencia reproductiva evita el inicio de un proceso de extinción del inventario animal, tal como se observa en la Figura 34.

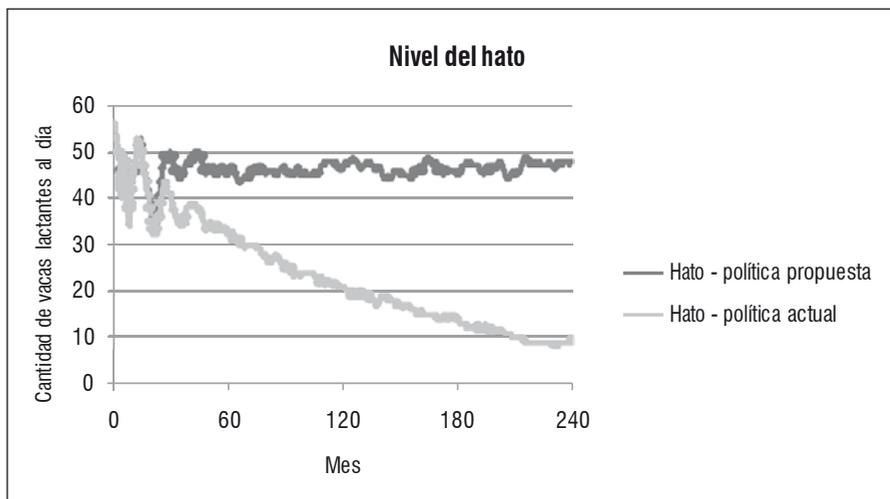


Figura 34. Nivel del hato con la implementación de la nueva política de descarte por deficiencia reproductiva.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo observado en la Figura 34, con la implementación de la política propuesta las salidas por descarte reproductivo disminuyen dando lugar al aumento de concepciones exitosas, manteniendo el nivel del hato constante en un intervalo de 43 a 50 vacas lactantes al día, y conservando así el inventario inicial sin tendencia de crecimiento o decrecimiento luego de dos años de implementación de la estrategia.

7.1.2. Política de uso de semen sexado

La tecnología del semen sexado o manejo reproductivo resulta conveniente si lo que se quiere es incrementar la probabilidad de nacimientos de hembras, lo cual es lo ideal en producción de lechería especializada.

Esta tecnología es usada para aumentar el número de animales en el predio, elegir su sexo, mejorar la producción y la genética. Su implementación permite a los ganaderos optimizar sus procesos productivos para que las vacas tengan hembras en el 85% o 90% de los casos por medio de la inseminación artificial (CONtexto ganadero, 2015).

A pesar de su efectividad para manipular el sexo de las crías, es importante tener en cuenta que el semen sexado tiene mejor respuesta en vacas primerizas, o en vacas con excelente historial reproductivo, pues con cada parto la fertilidad disminuye y se sabe que la desventaja de éste, al ser tan manipulado, es que puede tener una tasa de fertilidad menor a la del semen normal. Según Felipe Calderón Junguito, presidente de la Asociación Ayrshire, “la pajilla de semen sexado contiene alrededor de 2 millones de espermatozoides, frente a 20 millones de espermatozoides contenidos en la pajilla convencional”, por lo que para acceder de manera adecuada a esta tecnología se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (CONtexto ganadero, 2015):

- Contar con personal altamente capacitado para detectar los animales en celo y para llevar a cabo el procedimiento de inseminación artificial.
- Asegurar la conservación de las pajillas.
- Conservar el estatus sanitario de los animales.

Teniendo esto en cuenta y considerando el análisis de sensibilidad hecho a la variable correspondiente al sexo del neonato (sección 3.2.3), se propone como política hacer uso de semen sexado en la inseminación artificial, con el fin de aumentar la probabilidad de nacimientos de hembras al menos a un 80%.

7.1.2.1. Resultados de la implementación de la política de uso de semen sexado

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 35, al aumentar la probabilidad de nacimientos de hembras al menos a un 80%, el nivel del hato tiende a crecer a lo largo del tiempo, logrando una relativa estabilización alrededor de 55 vacas lactantes por día, lo cual representa un incremento aproximado del 82% en comparación con el promedio de 10 vacas lactantes por día que se tendrían al final del horizonte de tiempo bajo análisis, con las condiciones y políticas actuales (probabilidad de nacimientos de hembras del 45,8%).

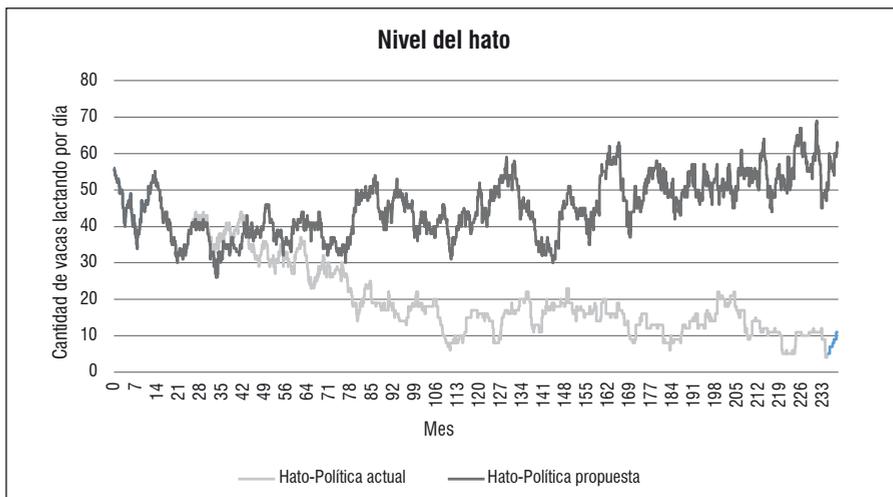


Figura 35. Nivel del hato con la implementación del uso de semen sexado.

Fuente: Elaboración propia.

7.2. Estrategia para la reducción de pérdidas de producto

La estrategia está dirigida al planteamiento de una programación de desparasitación de las vacas lactantes alterna a la actual, ya que esta actividad es la causa de más del 80% de las pérdidas de la producción.

La planeación y programación actual de este procedimiento veterinario separa el hato en seis grupos de aproximadamente igual tamaño para ser purgados, un grupo por semana, hasta completar el tratamiento de todas las vacas lactantes cada tres meses, tal como se visualiza en la Figura 36. Esta programación produce pérdidas superiores en las semanas 4, 5 y 6 después del inicio del procedimiento, debido a la acumulación de retiros por segunda dosis del purgante de los primeros grupos (casillas de color verde). Además, hace que sea necesario eliminar la leche producida en seis días por las vacas que se encuentran en el

primer trimestre de lactancia cada tres meses, evitando así la recolección de leche proveniente de vacas que se encuentran en su mejor etapa de producción.

Día	1	2	3	4	5	6	7
Semana							
1	G1D1R1	G1D1R2	G1D1R3				
2	G2D1R1	G2D1R2	G2D1R3				
3	G3D1R1	G3D1R2	G3D1R3				G1D2R1
4	G4D1R1 + G1D2R2	G4D1R2 + G1D2R3	G4D1R3				G2D2R1
5	G5D1R1 + G2D2R2	G4D1R2 + G2D2R3	G5D1R3				G3D2R1
6	G6D1R1 + G3D2R2	G6D1R2 + G3D2R3	G6D1R3				G4D2R1
7	G4D2R2	G4D2R3					G5D2R1
8	G5D2R2	G5D2R3					G6D2R1
9	G6D2R2	G6D2R3					

Figura 36. Estructura de la programación actual de desparasitación del hato de la finca San Pedro del CBA del SENA*.

Fuente: Elaboración propia basada en el cronograma de la finca San Pedro.

* G1D1R1: Grupo1, Dosis1, Retiro día 1.

7.2.1. Política de programación de desparasitación individual

La programación de desparasitación actual se hace de modo grupal, sin diferenciar las vacas lactantes en relación con su etapa de producción de leche. Se plantea entonces una programación individual, que evite el sometimiento a tratamientos de desparasitación a los animales lactantes en su período de mayor producción de leche, llevando un cronograma por cada vaca que ingresa al hato como se observa en la Tabla 24.

Tabla 24. Estructura del cronograma individual de desparasitación del hato.

Número de registro de la vaca	Fecha de ingreso al hato (lactancia)	Fechas de desparasitación			
		Primera desparasitación		Segunda desparasitación	
		Dosis 1	Dosis 2	Dosis 1	Dosis 2
0000	Fecha ingreso	Fecha ingreso + 95 días	Fecha dosis + 21 días	Fecha dosis 1 + 90 días	Fecha dosis 2 + 21 días

Fuente: Elaboración propia.

Días antes o en el momento del parto las vacas son desparasitadas, y la frecuencia de este tratamiento es trimestral, con lo cual la programación individual mantiene esta periodicidad al iniciar de nuevo el procedimiento veterinario 91 días luego del ingreso del animal al hato, pero de esta manera la vaca no tendrá retiros durante el primer trimestre de lactancia como se evidencia en la Tabla 25. Con este programa solo se tienen dos procedimientos de desparasitación por vaca durante su lactancia, ya que la mayoría de los animales son secados en fechas próximas a lo que debería ser una tercera desparasitación; debido a esto se omite esta repetición para que el procedimiento se realice cuando haya terminado su lactancia.

Tabla 25. Retiro de leche con la programación individual de desparasitación de animales.

Etapa de lactancia	Fechas de desparasitación			
	Primera desparasitación		Segunda desparasitación	
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 1	Dosis 2
Trimestre 1	–	–	–	–
Trimestre 2.1	3	3	–	–
Trimestre 2.2	–	–	–	–
Trimestre 3	–	–	3	3

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.1. Resultados de la implementación de la política de programación de desparasitación individual

Para analizar y comparar las pérdidas por desparasitación del programa grupal contra el programa individual, es necesario calcular los litros perdidos por unidad animal en cada escenario puesto que el sistema actual presenta una disminución del hato que afecta las cantidades de leche que se retirarán y no permite observar dichas pérdidas con fiabilidad.

A medida que el nivel del hato se reduce, las pérdidas por desparasitación por vaca se acercan a las pérdidas obtenidas luego de la implementación de una programación individual de este procedimiento veterinario, ya que en niveles de inventario menores a 12 vacas la separación de grupos se asimilará a la programación individual. Por lo anterior, la comparación debe realizarse en los años donde el promedio de vacas lactantes diarias sea superior a 12 con el fin de evaluar correctamente si en realidad la política de desparasitación individual impacta positivamente el nivel de pérdidas de leche.

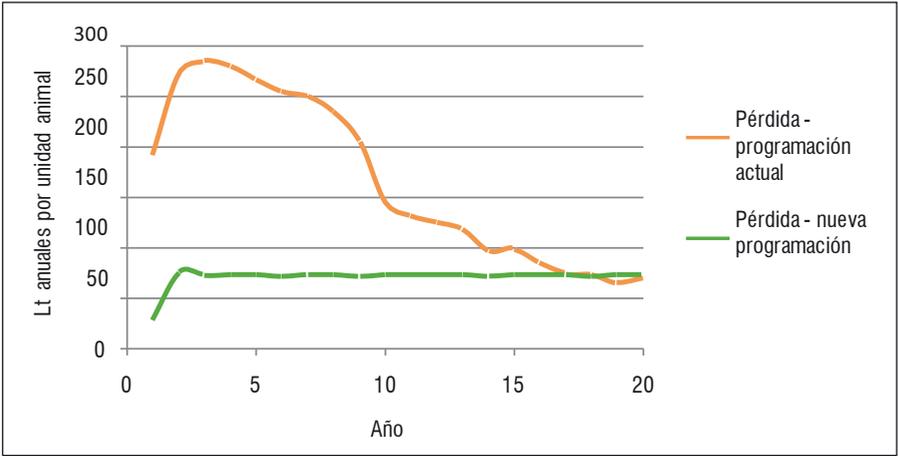


Figura 37. Pérdidas de leche debido a desparasitación de animales con programación grupal e individual.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 37, con la implementación de la estrategia propuesta, hasta el séptimo año se logra una reducción del promedio anual de litros/vaca perdidos por desparasitaciones de más del 70% en comparación con las pérdidas de leche generadas con la programación de desparasitación grupal (ver Tabla 26).

Tabla 26. Pérdidas de leche debido a desparasitación de animales con programación grupal e individual.

Año	Pérdida programación grupal (Lt)	Pérdida programación individual (lt)	Reducción %
1	191,29	28,24	85,24
2	272,59	74,96	72,50
3	284,47	72,44	74,54
4	278,83	72,76	73,90
5	266,90	72,82	72,71
6	253,86	71,76	71,73
7	248,96	72,79	70,76
8	234,22	72,59	69,01
9	204,75	72,09	64,79
10	144,75	72,66	49,80
Promedio anual			70,50

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, una programación de desparasitación individual genera menos de la mitad de las pérdidas que actualmente se tienen con la programación grupal.

7.3. Estrategias para aumentar el nivel del hato

Las estrategias anteriormente propuestas arrojan un nivel de rentabilidad entre 0 y 3% (Tabla 27), evidenciando que al mantener el nivel del hato entre 45 y 49 vacas a lo largo del horizonte temporal, se logra evitar rentabilidades negativas de más del -1%, como las que genera el sistema bajo sus condiciones actuales de operación. En consecuencia, es posible que una compra externa programada de animales pueda incrementar el hato y por tanto aumentar las utilidades del negocio.

Tabla 27. Rentabilidad obtenida con la implementación de las políticas propuestas de descarte por deficiencia reproductiva y programación de desparasitación individual.

Año	Utilidad anual	Costo anual	Rentabilidad
1	\$ (460.341,81)	\$ 248.538.749,14	-0,19%
2	\$ (6.313.668,59)	\$ 255.933.076,53	-2,47%
3	\$ 5.450.265,67	\$ 266.936.021,83	2,04%
4	\$ 7.028.030,25	\$ 268.533.185,47	2,62%
5	\$ 7.967.945,72	\$ 266.167.234,33	2,99%
6	\$ (889.091,35)	\$ 261.859.487,87	-0,34%
7	\$ 4.364.901,48	\$ 263.589.950,81	1,66%
8	\$ 6.525.297,90	\$ 264.807.363,07	2,46%
9	\$ (1.261.250,28)	\$ 264.770.699,28	-0,48%
10	\$ 9.312.704,99	\$ 270.232.252,34	3,45%
11	\$ 7.724.560,60	\$ 271.721.659,28	2,84%
12	\$ 11.345.673,37	\$ 269.669.784,27	4,21%
13	\$ (1.419.970,79)	\$ 264.565.294,07	-0,54%
14	\$ 3.071.480,65	\$ 269.859.578,90	1,14%
15	\$ 6.035.040,30	\$ 270.580.453,19	2,23%
16	\$ 4.006.517,14	\$ 272.036.686,98	1,47%
17	\$ 8.729.898,92	\$ 271.346.171,75	3,22%
18	\$ (2.195.477,71)	\$ 269.271.183,58	-0,82%
19	\$ 8.808.591,68	\$ 273.331.443,59	3,22%
20	\$ 2.972.469,04	\$ 273.812.429,49	1,09%

Fuente: Elaboración propia.

7.3.1. Política de compra programada

El mediano productor de Cundinamarca cuenta aproximadamente con 55 vacas lactantes (FEDEGAN & SENA, 2013), por lo cual este será el valor objetivo a aumentar del nivel de hato, con el fin de evaluar si compras programadas de animales logran valores cercanos al mencionado y rentabilidades mayores a 0%.

En la Figura 34 se observa un bajo nivel del hato (un poco más de 30 vacas lactantes por día) durante la segunda mitad del segundo año, aproximadamente al inicio del mes 19, por lo cual este es el período que se elige como referencia para el cálculo de la compra programada.

Para determinar el momento de la compra y la cantidad, se tienen en cuenta las probabilidades de concepción exitosa y los tiempos de espera de confirmación de preñez y gestación. Se necesita entonces adicionar 25 vacas lactantes a este período para alcanzar un nivel cercano a 55 animales, un total de compra de 34 vacas en pie. Para asegurar la preñez y un correcto cuidado en la gestación, se comprarán novillas de aproximadamente 24 meses de edad (edad de maduración reproductiva, de manera que se deben adquirir en el mes 4.

$$25 = \text{Vacas a comprar } (4 * 0,28 - 6 * 0,28^2 + 4 * 0,28^3 - 0,28^4) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Vacas a comprar} \cong \mathbf{34 \text{ vacas}}$$

$$19 \text{ mes} - 7 \text{ meses de gestación restante} - 2 \text{ meses confirmar preñez insem 1} -$$

$$2 \text{ meses confirmar preñez insem 2} - 2 \text{ meses confirmar preñez insem 3} -$$

$$2 \text{ meses confirmar preñez insem 4} = 4 \text{ mes} \quad \text{Ecuación 2}$$

El precio de adquisición por cada unidad animal, el cual equivale a \$2.500.000, se obtiene del promedio de precios de venta del portal ganadero “Su ganado”, seleccionando las ventas en municipios de Cundinamarca de novillas entre 24 y 26 meses de edad de la raza Holstein (suganado.com, 2015).

7.3.1.1. Resultados de la implementación de la política de compra programada.

Fue necesario realizar 116 réplicas para el análisis.

- Nivel del hato

La Figura 38 muestra cómo la compra programada logra aumentar el nivel del hato manteniéndolo a través de todo el horizonte temporal. Se deduce entonces que entradas externas de hembras en el inicio de su etapa reproductiva incrementan el tamaño del hato y que la política de descarte por deficiencia reproductiva propuesta funciona también para este crecimiento.

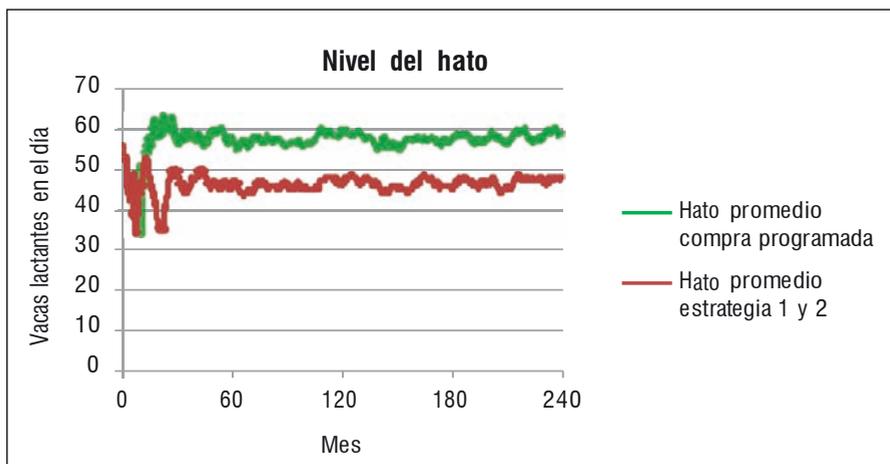


Figura 38. Nivel del hato con la implementación de la política de compra programada de animales.

Fuente: Elaboración propia.

- Rentabilidad.

La inversión en el primer año por compra de vacas es de \$85.000.000 de pesos, para lo cual se debe definir la financiación y los pagos por realizar y luego determinar la rentabilidad producto de las estrategias. En la Tabla 28, se encuentran los valores de utilidad tomando la compra con pago de contado para visualizar la cantidad disponible de dinero en los años posteriores para posibles pagos.

Tabla 28. Rentabilidad obtenida con la implementación de la política de compra programada de animales.

Año	Nivel del hato promedio (vacas lactantes)	Utilidad anual	Costo total anual	Rentabilidad
1	45,66	-\$ 97.250.144,78	\$ 349.685.335,97	-27,81%
2	57,99	\$ 23.496.550,93	\$ 305.587.289,78	7,69%
3	58,82	\$ 32.478.937,65	\$ 307.461.810,12	10,56%
4	57,58	\$ 21.000.661,81	\$ 307.332.322,69	6,83%
5	58,52	\$ 35.822.897,28	\$ 309.538.134,74	11,57%
6	56,27	\$ 20.708.792,95	\$ 302.591.898,05	6,84%
7	57,29	\$ 27.568.150,27	\$ 303.537.170,26	9,08%
8	56,49	\$ 27.935.544,30	\$ 301.551.627,21	9,26%

Año	Nivel del hato promedio (vacas lactantes)	Utilidad anual	Costo total anual	Rentabilidad
9	56,57	\$ 19.377.361,55	\$ 301.929.380,27	6,42%
10	58,79	\$ 32.101.873,73	\$ 307.600.331,55	10,44%
11	58,93	\$ 31.070.455,75	\$ 308.722.162,45	10,06%
12	56,80	\$ 29.211.015,35	\$ 302.845.529,07	9,65%
13	56,03	\$ 17.330.818,22	\$ 300.155.223,72	5,77%
14	57,33	\$ 23.108.517,91	\$ 303.631.319,16	7,61%
15	56,86	\$ 26.283.925,12	\$ 303.062.976,61	8,67%
16	57,99	\$ 26.803.710,56	\$ 305.637.664,54	8,77%
17	57,15	\$ 26.397.303,54	\$ 303.734.936,07	8,69%
18	57,33	\$ 19.184.664,35	\$ 305.512.580,75	6,28%
19	58,28	\$ 26.813.191,33	\$ 308.071.615,28	8,70%
20	58,67	\$ 19.461.344,25	\$ 309.367.066,50	6,29%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Financiación de compra de novillas.

Año	Número de pagos	Pago	Valor presente
2	1	\$ 23.496.551	\$ 20.778.697,32
3	2	\$ 32.478.938	\$ 25.399.795,26
4	3	\$ 21.000.662	\$ 14.523.643,56
5	4	\$ 35.822.897	\$ 21.908.745,40
6	5	\$ 4.417.400	\$ 2.389.118,70
Total abonado a valor presente			\$ 85.000.000

Fuente: Elaboración propia.

Con esta financiación, la rentabilidad del sistema luego de la inclusión de las estrategias propuestas se puede visualizar en la Tabla 30.

Tabla 30. Rentabilidad obtenida con la implementación de la compra programada de animales con financiación.

Año	Nivel del hato promedio (vacas lactantes)	Utilidad anual	Costo total anual	Rentabilidad
1	45,66	-\$ 12.250.144,78	\$ 349.685.335,97	-3,50%
2	57,99	\$ -	\$ 305.587.289,78	0,00%
3	58,82	\$ -	\$ 307.461.810,12	0,00%
4	57,58	\$ -	\$ 307.332.322,69	0,00%
5	58,52	\$ -	\$ 309.538.134,74	0,00%
6	56,27	\$ 16.291.392,95	\$ 302.591.898,05	5,38%
7	57,29	\$ 27.568.150,27	\$ 303.537.170,26	9,08%
8	56,49	\$ 27.935.544,30	\$ 301.551.627,21	9,26%
9	56,57	\$ 19.377.361,55	\$ 301.929.380,27	6,42%
10	58,79	\$ 32.101.873,73	\$ 307.600.331,55	10,44%
11	58,93	\$ 31.070.455,75	\$ 308.722.162,45	10,06%
12	56,80	\$ 29.211.015,35	\$ 302.845.529,07	9,65%
13	56,03	\$ 17.330.818,22	\$ 300.155.223,72	5,77%
14	57,33	\$ 23.108.517,91	\$ 303.631.319,16	7,61%
15	56,86	\$ 26.283.925,12	\$ 303.062.976,61	8,67%
16	57,99	\$ 26.803.710,56	\$ 305.637.664,54	8,77%
17	57,15	\$ 26.397.303,54	\$ 303.734.936,07	8,69%
18	57,33	\$ 19.184.664,35	\$ 305.512.580,75	6,28%
19	58,28	\$ 26.813.191,33	\$ 308.071.615,28	8,70%
20	58,67	\$ 19.461.344,25	\$ 309.367.066,50	6,29%

Fuente: Elaboración propia.

El aumento del nivel del hato al intervalo de 56 a 58 vacas lactantes por día impactó la rentabilidad del sistema obteniendo valores superiores al 5,38% a partir del sexto año, ya que la inversión de la compra del ganado es recuperada en este período de tiempo. Se observa una rentabilidad negativa del 3,5% debido al ingreso de las vacas adquiridas en el cuarto mes, ya que los ingresos a razón

de esta compra se reflejan hasta el segundo año, cuando los animales entran en su etapa de lactancia.

Con la implementación de las políticas correspondientes a la realización de una cuarta inseminación y a la programación de desparasitación individual se tiene un hato promedio de 46,2 vacas, mientras que adicionando una compra programada de 34 novillas en el cuarto mes se obtuvo un hato promedio de 56. Por tanto, las entradas externas lograron un aumento del nivel de lactantes en un 23,33% que, como consecuencia, aumentó la rentabilidad a mediano plazo, suponiendo que el personal actual es suficiente para la atención de este nivel, los ingresos del hato son capaces de mantener a todo el inventario (incluyendo los animales en etapas no productivas) y generar utilidades.

7.4. Estrategia para reducir los costos del sistema

7.4.1. Política para reducir los costos de alimentación

Como se definió previamente, los costos de alimentación de los animales hacen parte de los costos variables del sistema, ya que estos dependen del inventario animal, así como del estado del mismo en relación con edades, pesos y etapas reproductivas.

Luego de los costos fijos ocasionados por los honorarios del personal encargado del proceso de producción de leche, los costos de alimentación son los que tienen mayor participación en el total de costos del sistema, por lo que resulta conveniente definir estrategias que permitan su reducción, con el fin de incrementar el nivel de rentabilidad del negocio.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de los costos de alimentación (ver Tabla 31), los costos por compra de concentrados son los que mayor participación tienen dentro de este rubro. Por tanto, la estrategia propuesta consiste en reducir al máximo la cantidad de concentrado que se suministra a los animales por medio de la implementación de diferentes técnicas que faciliten el enriquecimiento de pasturas. Es decir, con la estrategia se busca alcanzar suelos fértiles y pastos de la mejor calidad posible, que permitan dar cumplimiento a los requerimientos alimenticios de los animales en sus diferentes etapas reduciendo la cantidad de concentrado consumido por los mismos.

Tabla 31. Participación anual de los costos de concentrados en los costos totales de alimentación.

Año	Nivel del hato promedio diario	Costo de alimentación anual	Costo de concentrados anual	Participación anual costo de concentrados en costo de alimentación
1	45,63	\$ 97.108.082	\$ 97.076.164	99,97%
2	41,59	\$ 91.397.245	\$ 91.365.338	99,97%
3	38,71	\$ 87.992.953	\$ 87.961.058	99,96%
4	37,96	\$ 86.112.519	\$ 86.080.584	99,96%
5	31,58	\$ 72.216.307	\$ 72.184.403	99,96%
6	29,43	\$ 64.716.378	\$ 64.684.461	99,95%
7	23,57	\$ 52.544.711	\$ 52.512.816	99,94%
8	18,80	\$ 45.678.442	\$ 45.646.504	99,93%
9	17,48	\$ 40.669.799	\$ 40.637.897	99,92%
10	10,96	\$ 27.128.311	\$ 27.096.340	99,88%
11	14,16	\$ 30.836.992	\$ 30.805.013	99,90%
12	16,43	\$ 34.883.655	\$ 34.851.724	99,91%
13	18,09	\$ 39.026.907	\$ 38.995.026	99,92%
14	16,47	\$ 35.626.724	\$ 35.594.746	99,91%
15	13,48	\$ 32.076.396	\$ 32.044.422	99,90%
16	10,49	\$ 24.794.347	\$ 24.762.346	99,87%
17	15,25	\$ 34.008.821	\$ 33.976.836	99,91%
18	15,84	\$ 32.442.778	\$ 32.410.796	99,90%
19	8,97	\$ 18.986.534	\$ 18.954.534	99,83%
20	9,64	\$ 19.851.078	\$ 19.819.077	99,84%

Fuente: Elaboración propia.

7.4.1.1. Resultados de la implementación de la política para reducir los costos de alimentación

Debido a que no se cuenta con una cuantificación del volumen de pasto consumido por los animales en sus diferentes etapas y, por ende, no es posible establecer la relación pasto-concentrado de la dieta actual del ganado, la cual teóricamente debe ser 60%-40%, respectivamente, se decide evaluar el efecto

en la rentabilidad del negocio al reducir la participación de los costos de concentrado en el total de costos de alimentación.

Partiendo de esto, por medio del enriquecimiento de pasturas se quiere alcanzar una reducción del 20% en el costo anual de concentrados; empezando con una reducción del 10% en el primer año, hasta alcanzar el 20% de disminución en el segundo año, y sosteniendo este porcentaje durante los otros 18 años del horizonte de planeación. Los resultados de la implementación de esta estrategia se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32. Rentabilidad obtenida con la reducción de los costos de concentrados.

Año	Nivel del hato promedio diario	Costo total anual	Utilidad anual	Costo anual concentrados	Costo reducido de concentrados	Nueva utilidad anual	% Rentabilidad
1	45,63	\$ 247.567.901	-\$11.342.309	\$ 97.076.164	\$ -	-\$ 11.342.309	-4,6%
2	41,59	\$ 244.948.510	-\$ 4.621.918	\$ 91.365.338	\$ 9.136.534	\$ 4.514.616	1,9%
3	38,71	\$ 239.827.229	-\$18.809.715	\$ 87.961.058	\$ 17.592.212	-\$ 1.217.504	-0,5%
4	37,96	\$ 233.789.143	-\$13.745.089	\$ 86.080.584	\$ 17.216.117	\$ 3.471.027	1,6%
5	31,58	\$ 217.123.488	-\$28.104.283	\$ 72.184.403	\$ 14.436.881	-\$ 13.667.402	-6,7%
6	29,43	\$ 206.623.873	-\$35.386.210	\$ 64.684.461	\$ 12.936.892	-\$ 22.449.318	-11,6%
7	23,57	\$ 187.029.221	-\$46.190.239	\$ 52.512.816	\$ 10.502.563	-\$ 35.687.676	-20,2%
8	18,80	\$ 175.599.138	-\$59.380.133	\$ 45.646.504	\$ 9.129.301	-\$ 50.250.832	-30,2%
9	17,48	\$ 169.883.802	-\$59.186.610	\$ 40.637.897	\$ 8.127.579	-\$ 51.059.031	-31,6%
10	10,96	\$ 150.041.451	-\$84.237.484	\$ 27.096.340	\$ 5.419.268	-\$ 78.818.216	-54,5%
11	14,16	\$ 154.120.976	-\$76.240.634	\$ 30.805.013	\$ 6.161.003	-\$ 70.079.631	-47,4%
12	16,43	\$ 159.833.353	-\$66.330.558	\$ 34.851.724	\$ 6.970.345	-\$ 59.360.213	-38,8%
13	18,09	\$ 165.408.105	-\$65.148.732	\$ 38.995.026	\$ 7.799.005	-\$ 57.349.727	-36,4%
14	16,47	\$ 160.205.083	-\$63.223.620	\$ 35.594.746	\$ 7.118.949	-\$ 56.104.671	-36,6%
15	13,48	\$ 156.488.381	-\$72.979.416	\$ 32.044.422	\$ 6.408.884	-\$ 66.570.532	-44,4%
16	10,49	\$ 144.706.122	-\$83.841.733	\$ 24.762.346	\$ 4.952.469	-\$ 78.889.264	-56,4%
17	15,25	\$ 159.012.690	-\$76.627.379	\$ 33.976.836	\$ 6.795.367	-\$ 69.832.012	-45,9%
18	15,84	\$ 156.198.361	-\$61.345.746	\$ 32.410.796	\$ 6.482.159	-\$ 54.863.587	-36,6%
19	8,97	\$ 139.305.928	-\$82.553.556	\$ 18.954.534	\$ 3.790.907	-\$ 78.762.649	-58,1%
20	9,64	\$ 137.560.911	-\$82.888.097	\$ 19.819.077	\$ 3.963.815	-\$ 78.924.282	-59,1%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 32, manteniendo políticas y demás parámetros actuales, al reducir los costos ocasionados por los requerimientos de concentrados en un 20% a partir del segundo año del horizonte de planeación, la rentabilidad del sistema, aunque sigue siendo negativa en la mayoría de los años, aumenta en promedio en un 3% en comparación con la rentabilidad del sistema obtenida bajo las condiciones actuales de operación.

Por otro lado, a medida que el nivel del hato disminuye, la rentabilidad calculada al reducir los costos de concentrados se asemeja a la obtenida bajo las condiciones actuales de operación del sistema (ver Tabla 23), lo cual es coherente ya que a medida que el inventario animal se reduce, los requerimientos de concentrados también lo hacen, por lo que el impacto de la disminución de su participación en los costos variables del sistema no será tan representativo. El incremento en la rentabilidad debido a la reducción de los costos de concentrados es más significativo durante los primeros 9 años del horizonte de planeación, período durante el cual el nivel del hato es superior a 17 vacas lactantes por día. Esto valida la propuesta de implementar estrategias que permitan estabilizar o aumentar el nivel del hato para lograr la viabilidad económica del negocio de producción de leche cruda en la finca San Pedro del CBA.

7.5. Estrategia para incrementar los ingresos del sistema

7.5.1. Política para incrementar el precio de venta del litro de leche

Como se mencionó previamente, el precio de venta del litro de leche es variable dependiendo de la composición físico-química de la misma, además de existir bonificaciones por calidad sanitaria del proveedor y otras bonificaciones voluntarias. Según la Resolución 17 de 2012, los principales aspectos que determinan el valor del litro de leche se definen como (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012):

- **Calidad composicional:** es la condición que hace referencia a las características físico-químicas de la leche. Su valoración se realiza de acuerdo al contenido en términos de cantidad de gramos para sólidos totales, proteína y grasa.
- **Bonificaciones obligatorias:** son los pagos de carácter obligatorio que debe reconocer el agente económico a su proveedor de leche cruda y que afecta positiva o negativamente el precio del litro del producto. Las bonificaciones obligatorias se reconocen y otorgan por concepto de la calidad higiénica,

calidad sanitaria y buenas prácticas ganaderas (BPG), las cuales se definen como:

- **Calidad higiénica:** es la condición que hace referencia al nivel de higiene mediante el cual se obtiene y manipula la leche. Su valoración se realiza por el recuento total de bacterias y se expresa en unidades formadoras de colonia por mililitro.
- **Calidad sanitaria:** es la condición que hace referencia a la vacunación de los animales (fiebre aftosa y brucella) y al hato certificado por el ICA como libre de brucelosis, tuberculosis o de ambas enfermedades.
- **Certificación por BPG:** es la condición que hace referencia al hato certificado por el ICA en buenas prácticas ganaderas. El agente comprador puede exigir la certificación para hacer efectiva la bonificación correspondiente.
- **Bonificaciones voluntarias:** son los pagos voluntarios adicionales que de manera autónoma otorga el agente comprador al proveedor por cada litro de leche transado.

Teniendo esto es cuenta, con el fin de incrementar el precio del litro de leche y por ende, aumentar la rentabilidad del negocio, se propone como política dar un estricto cumplimiento a todas las normas de higiene e inocuidad establecidas en cada una de las etapas que componen el proceso de producción de leche y adoptar las estrategias de mejoramiento y recomendaciones incorporadas al final de este documento; esto con el fin de alcanzar permanentemente altas valoraciones por parte del cliente en cada uno de los diferentes aspectos que componen el precio del producto final y estabilizar el mismo dentro del rango comprendido entre \$1.058 y \$ 1.185 por litro, subiendo el promedio por litro de \$1.078 a \$1.122. Lo anterior es un objetivo viable y realista, ya que dentro del comportamiento del precio semanal esos valores se alcanzaron el 68% de las veces (ver Figura 41).

En la Figura 39, se muestra el comportamiento del valor del litro de leche pagado por COLANTA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016, mientras que en la Figura 40, se muestra el histograma de frecuencias obtenido para dichos valores.

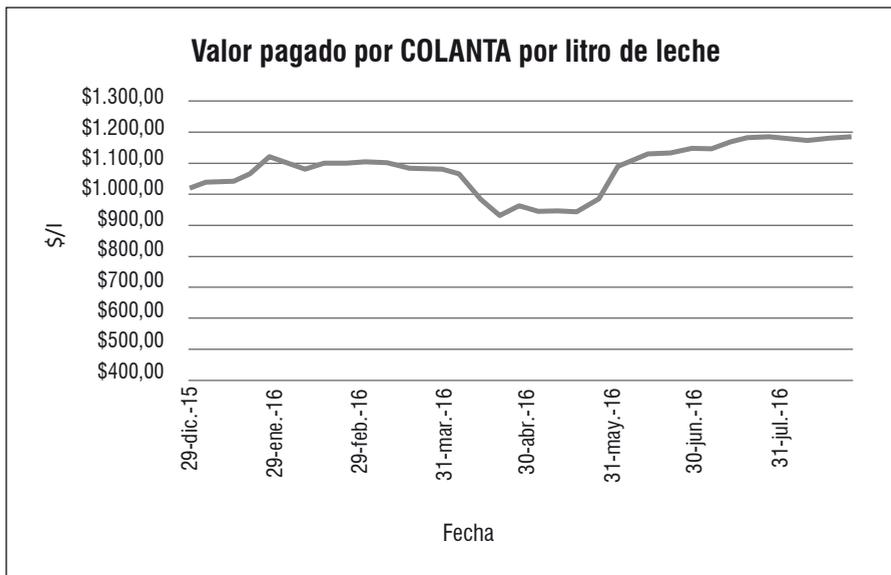


Figura 39. Valor en pesos pagado por COLANTA por el litro de la leche producida en la finca San Pedro del CBA del SENA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de los reportes de pago de COLANTA.

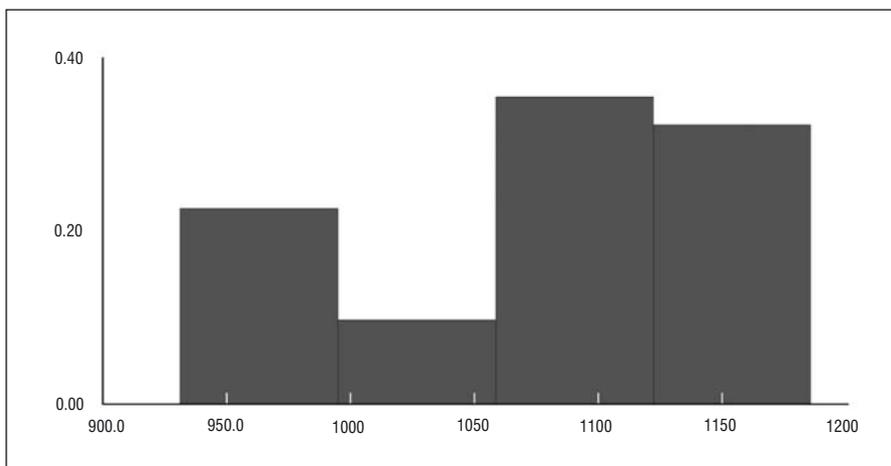


Figura 40. Histograma de frecuencias del valor pagado por COLANTA por el litro de la leche producida en la finca San Pedro del CBA del SENA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de los reportes de pago de COLANTA.

Continuous relative frequency			
intervals	4		
end points	mid points	density	ascending cumulative
931.	962.75	0.225806	0.225806
994.5	1026.25	9.67742e-002	0.322581
1058.	1089.75	0.354839	0.677419
1121.5	1153.25	0.322581	1.
1185.			

Figura 41. Frecuencia relativa del valor pagado por COLANTA por el litro de la leche producida en la finca San Pedro del CBA del SENA desde el 29 de diciembre del año 2015 hasta el 26 de agosto del 2016.

Fuente: Elaboración propia con tomados de los reportes de pago de COLANTA.

Lo anterior representa, en la ejecución del modelo, un incremento promedio del 15,08% en relación con el rango promedio del precio de venta por litro logrado bajo las condiciones actuales de operación del sistema, el cual, según se pudo determinar, está ente \$955 y \$995 pesos por litro.

7.5.1.1. Resultados de la implementación de la política para incrementar el precio de venta del litro de leche

En la Tabla 33, se muestra el impacto sobre la rentabilidad del negocio que se presenta al incrementar en un 15% aproximadamente el valor promedio del precio de venta del litro de leche.

De acuerdo con lo esta Tabla, manteniendo políticas y demás parámetros actuales, al mantener el precio de venta del litro de leche en el rango promedio comprendido entre \$1.058 y \$1.185, la rentabilidad del sistema, aunque sigue siendo negativa en la mayoría de los años, aumenta en promedio en un 9% aproximadamente en comparación con la rentabilidad del sistema obtenida bajo las condiciones actuales de operación. Este incremento en la rentabilidad se hace más significativo durante los 4 primeros años del horizonte de planeación, período durante el cual el nivel del hato es superior a 37 vacas lactantes por día, permitiendo obtener índices de rentabilidad positivos. A partir del año 5, en el que el inventario animal cae aproximadamente a 31 vacas lactantes por día, la rentabilidad del negocio comienza a tomar valores por debajo de cero, llegando

hasta un valor de -55% en el año 20 del horizonte de planeación, momento en el cual se tienen en promedio tan solo 9 vacas aproximadamente en etapa productiva. A pesar de esta tendencia decreciente en los niveles de rentabilidad debido a la reducción del hato a través del tiempo, el incremento del precio de venta promedio del litro de leche en un 15% aproximadamente resulta conveniente para el sistema, ya que incluso en el último año del horizonte de tiempo proyectado, en el que el nivel del hato es tan bajo, la rentabilidad es superior en un poco más del 5% en comparación con la obtenida para este mismo año bajo las condiciones actuales del sistema.

Tabla 33. Rentabilidad obtenida con el incremento del precio de venta del litro de leche.

Año	Nivel del hato promedio diario	Costo total anual	Utilidad anual	% Rentabilidad	Utilidad anual con incremento de precio de venta por litro	% Rentabilidad con incremento de precio de venta por litro
1	45,63	\$ 247.567.901	-\$ 11.342.309	-4,6%	\$ 23.763.791	9,6%
2	41,59	\$ 244.948.510	-\$ 4.621.918	-1,9%	\$ 27.162.400	11,1%
3	38,71	\$ 239.827.229	-\$ 18.809.715	-7,8%	\$ 8.705.525	3,6%
4	37,96	\$ 233.789.143	-\$ 13.745.089	-5,9%	\$ 15.221.221	6,5%
5	31,58	\$ 217.123.488	-\$ 28.104.283	-12,9%	-\$ 3.857.993	-1,8%
6	29,43	\$ 206.623.873	-\$ 35.386.210	-17,1%	-\$ 12.907.300	-6,2%
7	23,57	\$ 187.029.221	-\$ 46.190.239	-24,7%	-\$ 28.721.898	-15,4%
8	18,80	\$ 175.599.138	-\$ 59.380.133	-33,8%	-\$ 44.303.946	-25,2%
9	17,48	\$ 169.883.802	-\$ 59.186.610	-34,8%	-\$ 45.670.736	-26,9%
10	10,96	\$ 150.041.451	-\$ 84.237.484	-56,1%	-\$ 75.727.877	-50,5%
11	14,16	\$ 154.120.976	-\$ 76.240.634	-49,5%	-\$ 64.979.924	-42,2%
12	16,43	\$ 159.833.353	-\$ 66.330.558	-41,5%	-\$ 53.445.295	-33,4%
13	18,09	\$ 165.408.105	-\$ 65.148.732	-39,4%	-\$ 51.311.138	-31,0%
14	16,47	\$ 160.205.083	-\$ 63.223.620	-39,5%	-\$ 50.493.545	-31,5%
15	13,48	\$ 156.488.381	-\$ 72.979.416	-46,6%	-\$ 62.310.227	-39,8%
16	10,49	\$ 144.706.122	-\$ 83.841.733	-57,9%	-\$ 75.173.390	-51,9%
17	15,25	\$ 159.012.690	-\$ 76.627.379	-48,2%	-\$ 64.552.602	-40,6%
18	15,84	\$ 156.198.361	-\$ 61.345.746	-39,3%	-\$ 49.319.660	-31,6%
19	8,97	\$ 139.305.928	-\$ 82.553.556	-59,3%	-\$ 75.504.884	-54,2%
20	9,64	\$ 137.560.911	-\$ 82.888.097	-60,3%	-\$ 75.620.614	-55,0%
TOTAL	21,73	\$ 3.605.273.666	-\$1.092.183.463	-34,06%	-\$ 759.048.096	-25,32%

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados nuevamente validan la importancia de implementar además estrategias que permitan aumentar y mantener el nivel del hato a través del tiempo, pues únicamente con aumentar los ingresos del sistema no es posible alcanzar índices de rentabilidad positivos estables en el tiempo.

De acuerdo con esto, teniendo en cuenta que la producción promedio anual por animal de la finca San Pedro es de 5.859 litros de leche, si se implementan las estrategias de mejora correspondientes a la desparasitación individual, la adición de un cuarto procedimiento de inseminación y la compra programada, y el precio de venta del litro de leche se mantiene en \$1.122, la rentabilidad del negocio podría aumentar significativamente. Tal como indican los resultados mostrados en la Tabla 34, únicamente los ingresos producidos por la venta de leche, sin considerar aquellos debidos a la venta de animales en pie (machos y hembras en descarte), afectarían positivamente la rentabilidad del negocio, la cual presentaría un incremento promedio del 16% aproximadamente al aumentar y mantener el precio de venta del litro de leche en \$1.122.

Tabla 34. Rentabilidad obtenida por venta de leche a un valor promedio de \$1.122 por litro.

Año	Nivel del hato promedio (vacas lactantes)	Utilidad anual	Costo total anual	Rentabilidad	Ingreso anual promedio por venta de leche	Rentabilidad por venta de leche*
1	45,66	-\$ 12.250.145	\$ 349.685.336	-3,50%	\$ 300.159.617	-14,16%
2	57,99	\$ -	\$ 305.587.290	0,00%	\$ 381.214.546	24,75%
3	58,82	\$ -	\$ 307.461.810	0,00%	\$ 386.670.798	25,76%
4	57,58	\$ -	\$ 307.332.323	0,00%	\$ 378.519.289	23,16%
5	58,52	\$ -	\$ 309.538.135	0,00%	\$ 384.698.659	24,28%
6	56,27	\$ 16.291.393	\$ 302.591.898	5,38%	\$ 369.907.613	22,25%
7	57,29	\$ 27.568.150	\$ 303.537.170	9,08%	\$ 376.612.887	24,07%
8	56,49	\$ 27.935.544	\$ 301.551.627	9,26%	\$ 371.353.849	23,15%
9	56,57	\$ 19.377.362	\$ 301.929.380	6,42%	\$ 371.879.753	23,17%
10	58,79	\$ 32.101.874	\$ 307.600.332	10,44%	\$ 386.473.584	25,64%
11	58,93	\$ 31.070.456	\$ 308.722.162	10,06%	\$ 387.393.916	25,48%
12	56,8	\$ 29.211.015	\$ 302.845.529	9,65%	\$ 373.391.726	23,29%
13	56,03	\$ 17.330.818	\$ 300.155.224	5,77%	\$ 368.329.902	22,71%
14	57,33	\$ 23.108.518	\$ 303.631.319	7,61%	\$ 376.875.839	24,12%
15	56,86	\$ 26.283.925	\$ 303.062.977	8,67%	\$ 373.786.154	23,34%
16	57,99	\$ 26.803.711	\$ 305.637.665	8,77%	\$ 381.214.546	24,73%

Año	Nivel del hato promedio (vacas lactantes)	Utilidad anual	Costo total anual	Rentabilidad	Ingreso anual promedio por venta de leche	Rentabilidad por venta de leche *
17	57,15	\$ 26.397.304	\$ 303.734.936	8,69%	\$ 375.692.556	23,69%
18	57,33	\$ 19.184.664	\$ 305.512.581	6,28%	\$ 376.875.839	23,36%
19	58,28	\$ 26.813.191	\$ 308.071.615	8,70%	\$ 383.120.947	24,36%
20	58,67	\$ 19.461.344	\$ 309.367.067	6,29%	\$ 385.684.729	24,67%
TOTAL	56,9675	\$ 356.689.124	\$6.147.556.375	5,88%	\$7.489.856.751	22,09%

Fuente: Elaboración propia.

*Esta rentabilidad no considera los pagos periódicos que se harían en los primeros años por la compra de nuevos animales.



PARTE DOS
DESARROLLO DEL MÉTODO INTEGRADOR
PARA LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN
LECHERA

8. El mapa de procesos de la producción de leche en su finca

Como inicio de la formulación de un programa de productividad orientado al mejoramiento de la rentabilidad vía costos y precios se propone identificar los procesos y organizar la finca a la luz de la norma ISO9000. En la Figura 42 se muestra el mapa de procesos propuesto para la finca lechera.

Los indicadores de desempeño de este proceso estarán relacionados con los indicadores a desarrollar en el cuadro de mando integral.

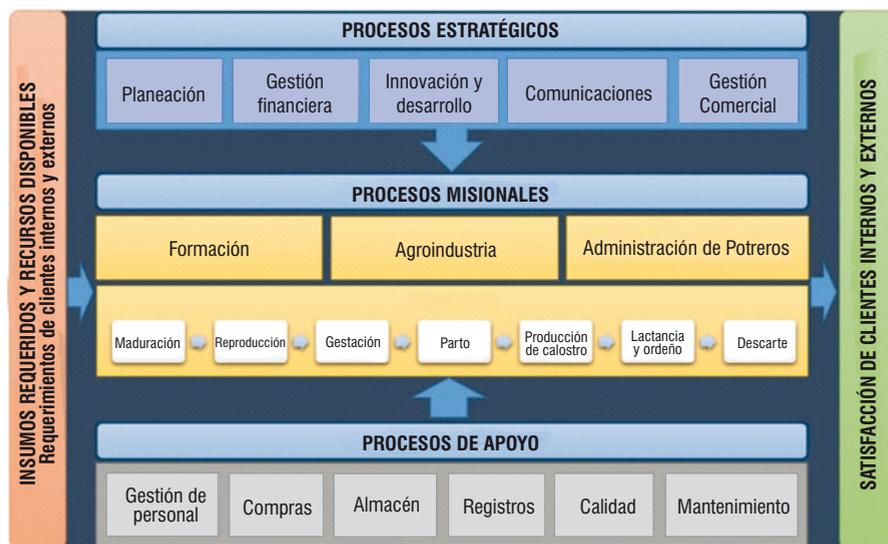


Figura 42. Mapa de procesos propuesto para la finca lechera.

Fuente: La presente investigación.

8.1. Identificación de variables de entrada, proceso y salida y variables de estado

8.1.1. Entradas

Las entradas son todos aquellos insumos y recursos que el sistema requiere para que el proceso de producción se pueda llevar a cabo. Las diferentes en-

tradas son empleadas y/o transformadas durante el proceso productivo para obtener el producto final y las demás salidas del sistema.

Las entradas identificadas del sistema de producción de lechería especializada son las siguientes:

Alimentación: la alimentación de los animales está compuesta básicamente de pasto, sales, concentrado y agua; la sal que se suministra a los animales es sal mineralizada, ya que esta ayuda a estimular la aparición o presencia de calor o celo en los mismos (Bojacá, 2016).

- **Salud preventiva:** comprende la vacunación y la desparasitación que debe hacerse a los animales, así como la fumigación que requieren los potreros, todo lo cual se lleva a cabo con el fin de evitar enfermedades del ganado.
- **Salud correctiva:** comprende los tratamientos de mastitis y de otras enfermedades que afectan el ganado. La mastitis (inflamación de la ubre) es una de las principales y la más común de las afecciones de vacas lecheras de acuerdo a los registros sanitarios de la finca San Pedro; esta afecta los niveles de producción debido al retiro de leche como consecuencia de la aplicación de tratamientos con medicamentos, los cuales, al ser insumos necesarios para recuperar la salud de los animales, generan entradas no deseadas al sistema.
- **Recursos humanos:** comprende todo el personal operativo, técnico, administrativo y de apoyo que requiere la finca para su correcta operación. Dicho personal está compuesto por: aprendices, trabajadores oficiales o de planta, instructores, médico veterinario y gerente.
- **Infraestructura:** hace referencia a los diferentes recursos físicos con los que debe contar la finca para que el proceso de producción se pueda llevar a cabo. Entre los recursos identificados se encuentran: agua, potreros, fertilizantes y abonos, electricidad, planta o máquina de ordeño y sistemas de información.

8.1.2. Procesos

El sistema bajo análisis corresponde a un ciclo de vida que comprende diferentes etapas o subprocesos: nacimiento, maduración, reproducción y muerte o salida, con repeticiones en la etapa de reproducción, en la que se obtiene el producto final del proceso productivo, es decir, la leche, y nacen las unidades animales que reemplazarán las salidas. Teniendo esto en cuenta, “este sistema se diferencia de otros en la transformación no solo de insumos sino también de

las unidades que albergan las operaciones de procesamiento del producto como tal. Es decir, el sistema biológico reproductivo bovino es la unidad encargada de la producción y generación de leche, transformando insumos (alimentación, inseminación, tratamientos veterinarios) y respondiendo a cambios hormonales por gestación y partos. Para que esto suceda el animal debe atravesar previamente su propio proceso de crecimiento, maduración y preñez, con lo cual la unidad de transformación es también producto del sistema” (Ospina Garzón, 2015).

De acuerdo con esto, las etapas que atraviesan las unidades animales y que componen el proceso de producción de lechería especializada son:

- **Maduración:** hace referencia al crecimiento del animal desde su nacimiento hasta llegar a su etapa reproductiva, para lo cual se deben cumplir con ciertas condiciones de peso corporal (entre 250 kg y 380 kg, según la raza del animal) y edad (entre 18 y 24 meses de edad. Preferiblemente, 24 meses).
- **Reproducción:** comprende los procesos de celo o calor (momento en el que las hembras con madurez reproductiva son receptivas sexualmente y dan lugar a la ovulación); inseminación artificial (o monta) y concepción, la cual puede entenderse como el éxito de la inseminación, lo que provoca la preñez del animal.
- **Gestación:** hace referencia al período comprendido entre la concepción y el parto o aborto.
- **Parto:** corresponde al nacimiento de la cría. Este evento puede generar una de las salidas del sistema, ya que si la cría que nace es hembra, esta dará comienzo a un nuevo ciclo de vida dentro del sistema entrando a la fase de maduración, pero si el recién nacido es macho, este es mantenido pocos días dentro de la finca para ser rápidamente vendido como ganado en pie. Por otro lado, el nacimiento de una cría no siempre es exitoso, por el contrario, pueden presentarse también mortinatos, es decir, animales que no sobreviven al parto o que nacen muertos. Sin embargo, un parto, sin importar su resultado (mortinato, hembra o macho), tiene como consecuencia el inicio de la etapa de lactancia de la vaca y por ende la obtención del producto final, es decir, la leche.
- **Producción de calostro:** período que va desde la expulsión de la cría hasta que esta tiene 8 días de edad, momento en el que es separada de su madre y comienza la producción de leche propiamente dicha.
- **Lactancia y ordeño:** hace referencia al período durante el cual la vaca es ordeñada diariamente con el fin de producir u obtener leche cruda. Teórica-

mente, dicho período dura alrededor de 10 meses o 305 días, tiempo que es dividido generalmente en 3 etapas, diferenciando la cantidad promedio diaria de litros de leche obtenidos por animal (Restrepo, 2016). Al respecto, es importante conocer en qué etapa de lactancia se encuentran cada uno de los animales que componen el hato, ya que los requerimientos alimenticios varían según dichas etapas; el mayor requerimiento alimenticio lo tienen las vacas en producción en primera fase de lactancia (Rojo, 2016).

- **Descarte:** corresponde al momento en el que la vaca culmina su etapa productiva y es extraída del ganado. Los animales en la finca son descartados por edad (10 años) o por deficiencia reproductiva (Ocampo, 2016)³.

8.1.3. Salidas

Las salidas corresponden a los diferentes productos o bienes que son obtenidos como resultado de la ejecución del proceso productivo.

De acuerdo con esto, las salidas identificadas del proceso de producción de lechería especializada desarrollado en la finca San Pedro son:

- **Leche:** corresponde al producto principal obtenido del proceso de producción. Una proporción de la leche obtenida es enviada al área de agroindustria del CBA del SENA para el procesamiento y posterior comercialización de derivados lácteos, mientras que el resto del producto es vendido a un precio variable, según la calidad del mismo, al único cliente con el que cuenta la finca, es decir, COLANTA4.
- **Ventas de ganado en pie:** el CBA no está autorizado para sacrificar ganado bovino, por lo que los animales que deben salir del sistema, ya sea terneros machos o vacas en descarte, son vendidos en pie (vivos).

3 Una razón adicional para efectuar descarte es la presencia de alguna enfermedad mortal o de una que no permita la movilidad propia del animal. Estas afecciones son poco probables de acuerdo con los registros de la Finca y no impactan significativamente la dinámica del sistema (Ospina Garzón, 2015).

4 La finca San Pedro cuenta con ventas a otros clientes, pero las cantidades no superan en su mayoría los 50 litros y su frecuencia es baja, por tanto no son incluidos en la estructura del proceso (Ospina Garzón, 2015).

9. Rotación de potreros: alimentando a su ganado de la mejor manera y al mejor precio posible

9.1. Planeación forrajera

Este apartado se fundamenta en el documento “Guía para realizar una planeación forrajera en predios ganaderos” (FEDEGAN, SENA, 2013^a, pag 43), en el cual se define la planeación forrajera (PF) como “una actividad que determina la producción de forraje de la finca para ajustarla a la carga animal, de manera tal que se garantice la adecuada alimentación de los bovinos”.

El objetivo de esta línea de investigación SENNOVA es de especial importancia porque las empresas ganaderas colombianas con menos de 55 ejemplares bovinos son el 82% de las fincas dedicadas a esta actividad.

Para mejorar la rentabilidad, ya sea para producción lechera, de carne o de doble propósito, el ganadero debe entender e implementar: a) los sistemas integrados de producción, b) dirigir el negocio de la mano de la agricultura, c) aprovechar los sistemas silvopastoriles, d) mantener los registros e información de actividades realizadas en las fincas y e) conocer, de primera mano, los costos de producción por unidad de área (leche y carne).

De la misma manera la industria lechera debe a) mejorar los parámetros de producción y la natalidad, b) aumentar la capacidad de carga de las fincas, c) bajar drásticamente la tasa de mortalidad, d) conseguir mejores ganancias de peso de los animales en cualquier fase de desarrollo y e) incrementar la producción de leche por unidad de área.

9.2. Antecedentes: El modelo de pastoreo racional de André Voisin

André Voisin (Dieppe, Francia, 1903 - La Habana, Cuba, 1964), fue un bioquímico y profesor de la Escuela Nacional Veterinaria de Maisons Alfort, en París, que a partir de los experimentos que realizó en su finca de 14,4 hectáreas en

Le Talou, desarrolló sus teorías sobre la utilización racional de los pastos. Estas teorías quedaron consignadas en cinco libros fundamentales: *Productividad de la hierba*; *Dinámica de los pastos*; *Suelo, hierba, cáncer*; *Tetanía de la hierba* y *Abonos: nuevas leyes científicas de su aplicación*, publicada en el original francés y traducido para 12 lenguas del mundo. Su libro “Productividad de la hierba” fue reeditado en francés por *France Agricole* (Sorio, 2006).

El pastoreo, de acuerdo con Voisin, es entendido como “el conjunto de acciones y procedimientos humanos inherentes al arte de guiar los rebaños a los pastos y las aguadas, es uno de los primeros procesos de perfeccionamiento de la domesticación y por supuesto, de la Zootecnia. La introducción planificada de especies para las pasturas se fundamenta en que “Las plantas componentes de las pasturas, denominadas por Voisin como “plantas pratenses”, especialmente gramíneas y leguminosas, presentan particularidades anatómicas y fisiológicas no encontradas en ningún otro grupo vegetal conocido, “Son capaces de rebrotar tras cada corte, varias veces” (Sorio, 2006, pag 26).

Cuatro leyes, casi no modificadas a pesar del paso del tiempo, determinan el modelo de pastoreo racional de Voisin (Pinheiro, 1973):

- La ley del descanso: “Para que una hierba cortada por el diente del animal pueda dar su máxima productividad, es necesario que, entre dos cortes sucesivos, haya pasado el tiempo suficiente que pueda permitir a la hierba: a) Almacenar en sus raíces las reservas necesarias para un comienzo de rebrote vigoroso y b) Realizar su ‘llamarada de crecimiento’ o gran producción diaria por hectárea”. Es necesario determinar experimentalmente el tiempo de reposo para la Sabana de Occidente pues “para las condiciones de temperatura, humedad, fertilidad del suelo y luminosidad del verano en Normandía, se verifica que el momento óptimo para que el ganado pueda volver al potrero es luego de 18 días de reposo”. (Pinheiro, 1973, pag 26)
- La ley de tiempo de ocupación de las parcelas: “El tiempo global de ocupación de una parcela debe ser lo suficientemente corto para que una hierba cortada a diente el primer día (o al principio) del tiempo de ocupación no sea cortada de nuevo por el diente de los animales antes que estos dejen la parcela”. (Pinheiro, 1973, pag 27)
- La ley de la ayuda: “Es necesario ayudar a los animales de exigencias más elevadas para que puedan cosechar la mayor cantidad de hierba y que ésta sea de la mejor calidad posible”. (Pinheiro, 1973, pag 27)
- La ley de los rendimientos regulares: “Para que un herbívoro pueda dar rendimientos regulares es preciso que no permanezca más de tres días en una

misma parcela. Los rendimientos serán máximos si el animal no permanece más de un día en una misma parcela”. (Pinheiro, 1973, pag 27)

Rúa Franco afirma que “rotar potreros no es hacer pastoreo racional”, señalando que antes del siglo XIX toda la finca era “un solo potrero” y que la “producción de pasto no se planificaba”. También explica el modelo de pastoreo alterno, el cual “consistía en tener la finca dividida en dos partes, de forma que todo el ganado estaba en una de estas partes”. Y finalmente menciona el origen del pastoreo rotacional a partir del pastoreo alterno del cual se fue transformando “cuando el predio dividido inicialmente fue sufriendo más divisiones de potreros, con el propósito de permitir un mayor descanso en cada potrero” (Rúa Franco, 2009).

Un objetivo de las fincas ganaderas es maximizar la cantidad de alimento en forma de pasto o forraje o silo producido en la finca, de acuerdo con los requerimientos de los animales, y minimizar la cantidad de costoso concentrado a las cantidades requeridas de acuerdo con las recomendaciones por raza o destino del animal.

9.3. La vaca, unidad de producción en el hato, es unidad de carga para los potreros

Para determinar la carga de una finca lechera se requiere convertir los animales “que deberán entrar en pastoreo a una unidad patrón, denominada Unidad de Ganado Mayor (UGM). Entiéndase UGM un animal que pesa 500 kg y tiene exigencias alimenticias del orden de 45 a 50 kg de pasto verde por día” (Pinheiro, 1973), especialmente cuando no hay homogeneidad en el hato. El principio generalmente aceptado en el CBA es que el animal come entre el 10% y 12% de su peso en pasto cada día (Bojacá, 2016); teóricamente, se considera que es del 10% al 15% cada día y para efectos prácticos se propone el 13% (FEDEGAN, SENA, 2013).

9.4. El modelo neozelandés

Nueva Zelanda es un país pequeño, de 269.000 km² (Central Intelligence Agency, 2016), que siempre había disfrutado de una excelente calidad de vida, dentro de un enfoque proteccionista de la economía. Sin embargo, su gran dependencia del Reino Unido en exportaciones hizo que, desde que este último ingresara a la Comunidad Europea, las autoridades neozelandesas reformularan completamente su economía hacia un modelo de libre de mercado y la libre competen-

cia con competitividad, basado en la eliminación de subsidios y la innovación tecnológica (La República, 2013).

En cuanto a la eficiencia de pasturas, el modelo neozelandés “está basado en un pastoreo por el número de hojas (fenología) cambiando el modelo de rotaciones precisas por número de días”. Gracias a este modelo, el pasto es más nutritivo, disminuyendo la necesidad de suplemento (la relación pasto suplemento, normalmente de 4:1, se puede bajar a 6:1, mientras que la relación en el CBA es 3:2); además, se incrementa la cantidad de leche por vaca al día y la leche obtenida tiene un mayor contenido de grasas y proteínas (FEDEGAN, 2016). En contraste, en Colombia se rota a muchos días sin tener en cuenta la calidad de la planta, lo que al final implica poca eficiencia. Todas estas ventajas del modelo expuesto van hacia la optimización de la rentabilidad de la finca lechera del CBA vía costo y precio, objetivos de nuestra línea de investigación.

9.4.1. Consideraciones acerca de la implementación del modelo neozelandés en Colombia

No todos los modelos internacionales son automáticamente aplicables en Colombia. Es necesario identificar las características de cada modelo y evaluar su aplicabilidad. Las siguientes condiciones son de especial consideración al momento de pensar en aplicar los principios neozelandeses para la producción de leche (Perú Láctea, 2016):

- En Nueva Zelanda, una vaca que no quede preñada en los periodos establecidos pasa inmediatamente a sacrificio porque daña el promedio de producción de leche o presenta problemas de fertilidad.
- Para los ganaderos de ese país, la mejor vaca es aquella que no ven, no conocen, menos problemas ocasiona y más produce.
- 800 vacas son manejadas en ese país por tres personas, ya que todos los sistemas de ordeño, alimentación y recolección de información son automatizados.
- El dueño de la granja es un trabajador más de la misma.
- Ellos prefieren animales pequeños, de poca carcasa, pero de alta producción; comen menos y producen más.
- Una vaca en ese país perfectamente puede caminar dos kilómetros en ir y venir al ordeño; de ahí que la rusticidad sea sustancial.
- Una unidad mínima de producción involucra 400 hectáreas para 1.200 animales; 200 hectáreas deben dedicarse a cultivos y las restantes a pasturas.

- Es conveniente hacer hincapié en la condición de que para los neozelandeses, antes de ser lechero se debe ser un gran agricultor. Ellos soportan las grandes producciones con excelentes forrajes y alto desarrollo genético. Sus vacas en pastoreo comen un manjar proteico compuesto por *rye grass*, trébol y kikuyo”.
- 40 años de selección genética tiene el hato de Nueva Zelanda. El banco de datos de cada animal abarca igual tiempo.
- 12 vacas por hectárea sostienen el sistema neozelandés (en Colombia la capacidad es de 0,64 Unidades Gran Ganado, UGG, que es de 450 kilos, según FEDEGÁN 2014).
- 3 años de investigación llevan los neozelandeses en Colombia, tras los cuales han determinado que en los Llanos Orientales de Colombia se puede producir leche a gran escala y en pastoreo.

Se puede comenzar por un modelo de pastoreo racional que incluya las cinco técnicas complementarias propuestas y una vez estandarizado y estabilizado este modelo, migrar al modelo neozelandés; o bien, iniciar el proceso hacia el modelo neozelandés directamente, asumiendo los supuestos explicados anteriormente y considerando que la extensión de la finca (55 Ha) es inferior al mínimo propuesto para la implementación del modelo neozelandés (400 Ha).

Bajo cualquiera de las dos expectativas anteriores, la finca debe migrar hacia un proceso de agricultura muy bien planeado, ojalá apoyado en otras áreas de conocimiento del CBA, pues la implementación de un modelo de rotación de potreros requiere una íntima relación con la producción agrícola y los objetivos estratégicos.

9.5. Propuesta de modelo de rotación de potreros

La técnica de pastoreo rotacional derivó de “ecuaciones matemáticas muy simples, con el fin de calcular el número de potreros, el tamaño de los mismos, los tiempos de ocupación y descanso, y la carga animal a soportar en una determinada pastura, con base en los tiempos requeridos por cada especie para alcanzar su punto de cosecha” (Rúa Franco, 2009, pag 57).

El pastoreo rotacional per se es una excelente solución, pero hay técnicas complementarias que mejoran su desempeño, entre ellas: 1) agricultura ecológica basada en la biocenosis del suelo; 2) reforestación o sistemas silvopastoriles que permitan vender maderables, forrajeras y proveer sombra para animales y suelo, refugio y movilización de nutrientes; 3) explotación optimizada de agua,

cosecha de aguas; 4) pequeños potreros que permitan cargas de por lo menos 200UGM/hectárea/día; y 5) un adecuado sistema de vías.

9.5.1. Cómo implementar el modelo de rotación de potreros en el CBA

La metodología propuesta en “Guía para realizar una planeación forrajera en predios ganaderos” (FEDEGAN, SENA, 2013), independientemente de si su orientación es de un solo propósito o de doble propósito, requiere previamente identificar los factores que afectan la planeación forrajera en la finca, a saber: a) nivel de actividad; b) clima y c) factor humano.

Posteriormente se deben desarrollar los siguientes pasos:

- 1) Recolectar información general del predio.
- 2) Establacer el área de la finca a evaluar para la planeación forrajera.
- 3) Realizar el inventario animal de la finca.
- 4) Establacer la carga animal.
- 5) Determinar las necesidades forrajeras en la finca.
- 6) Determinar la oferta forrajera por medio de aforos.
- 7) Calcular la cantidad de forraje por metro cuadrado (m^2) y en la franja.
- 8) Hallar para cada forraje la cantidad existente en kg/m^2 en la franja aforada.
- 9) Realizar ajustes para la leucaena asociada con maderables.
- 10) Calcular forraje disponible por sistema en la finca.

Una inadecuada intervención de los suelos en la actividad agraria relacionada con la producción de pastos puede degradar el suelo, elemento fundamental en la cadena de producción lechera. Las principales causas de degradación del suelo incluyen (SENA, FEDEGAN, 2011):

1. Deficiente manejo del pastoreo, que puede darse por sobrepastoreo o (alta carga animal y largos periodos de ocupación de las praderas), o por subpastoreo, que contribuye a la acumulación de forraje maduro de baja calidad.
2. Establecimiento de especies en suelos no aptos o asociaciones no compatibles.
3. Inadecuado manejo de fertilización.
4. Invasión de malezas. La amplia diversidad y agresividad e inadecuadas prácticas de manejo incrementan la propagación de malezas.

5. Compactación del suelo. Está asociada con la presencia de capas de alta densidad aparente y baja aireación y puede estar asociada con acumulación de arcillas o como resultado del manejo del suelo.

Para prevenir la degradación o comenzar una plantación con fines de alimentación de ganado es necesario conocer detalladamente cada lote y cada potrero o franja con el objetivo de determinar su estabilidad estructural, nivel de penetración del suelo, inclinación, acumulaciones de agua y composición. Lo anterior hace factible una adecuada planeación de la alimentación del hato, minimiza o elimina la necesidad de insumos agropecuarios y, en consecuencia, reporta un mayor beneficio económico.

9.5.2. Fundamentos para la elaboración de un modelo de rotación de potreros

La Figura 43, muestra fundamentalmente un plan de abastecimiento de alimentos a los animales de la finca. La demanda de alimentos, depende del tamaño y distribución del hato de acuerdo con las edades y destinos de los animales. La oferta es la capacidad de producción de forraje por la finca, el objetivo es tratar de que la producción de la finca iguale o esté muy cerca de la demanda de alimentos. Lo cual se logra a través de periodos de planeación de corto, mediano y largo plazo, planeación forrajera, que garantiza que la cantidad de pasto y los nutrientes aportados por el mimo se acerquen a las necesidades fisiológicas (balance nutricional) de los animales y minimizando el requerimiento de suplementos. Como se mencionó anteriormente, se dividen los potreros y lotes en franjas, las cuales se rotan para alimentar el ganado. Tanto el proceso de producción agropecuario de forraje como la suplementación requieren de un presupuesto económico y un monitoreo al desarrollo del plan. El fundamento inicial es de carácter estratégico también: ¿Cuál es el tamaño requerido del hato para cumplir con los objetivos de la unidad económica de producción lechera?

Es necesario dividir la finca en pequeñas franjas en las cuales la totalidad de los animales del hato permanezcan entre uno y seis días para alimentarse, antes de que surjan los rebrotes. De la misma manera, es necesario hacer un enriquecimiento planeado de las especies (kikuyina, rye grass, leucaena, tanzania, botón de oro y matarratón) y el control de especies no deseadas, el cual se apoya en la resiembra natural que surge de la distribución de las semillas en los excrementos de los animales complementado con la disponibilidad de agua para que el animal consuma de acuerdo con su necesidad.

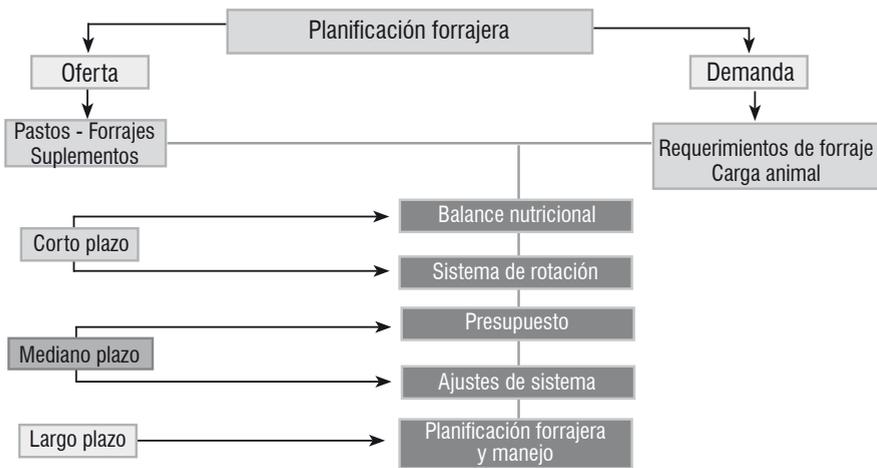


Figura 43. Planeación forrajera.

Fuente: "Guía para la planeación forrajera", (FEDEGAN. SENA 2013)

En la Figura 44, se muestran los dispositivos implementados en la finca San Pedro para consumo de agua y una zona con alta diversidad vegetal que aporta nutrientes importantes a los animales. Las condiciones de humedad, vientos y radiación son únicas para cada potrero y cada finca.



Figura 44. Bebederos y diversidad vegetal en un potrero de la finca San Pedro del CBA Mosquera del SENA.

Fuente: La presente investigación.

Como se mencionó anteriormente, el ganado consume cerca del 13% de su peso en pasto diariamente. Pero el peso del animal depende fundamentalmente de su raza y edad, así como de su buen estado nutricional, variables que se deben considerar en la planeación forrajera. FEDEGAN propone un valor de 450 Kg para una unidad de gran ganado (UGG), base de la planeación forrajera.

También es conveniente para cada potrero, determinar la carga animal, es decir la cantidad de animales que se puede alimentar por unidad de área del potrero.

Un simple ejercicio obtenido con esta técnica nos permite determinar que la Finca San Pedro debe producir cerca de 5,2 toneladas diarias de pasto para satisfacer la demanda de alimento por los animales del inventario (Ocampo, 2016), que representan 40200 kg y 89,4 UGG.

Tabla 35. Cálculo de la demanda diaria de alimento para la Finca San Pedro

Grupo o potrero	Número de animales	Peso promedio (Kg)	Peso por tipo	Consumo del 13%
Machos	0	450	0	0,0
Crías	9	85	765	99,5
Hato	56	340	19040	2475,2
Horro	27	380	10260	1333,8
Levante1	14	200	2800	364,0
Levante2	28	250	7000	910,0
Manga	1	350	350	45,5
Total	135		40215	5228,0

Fuente: La presente investigación. Inventario fuente Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA.

Igualmente, cada potrero debe ser monitoreado rutinariamente para determinar la cantidad de comida disponible (aforos), lo cual se hace mediante técnicas muy conocidas fundamentadas en la cantidad de material que queda dentro de un cuadrado de tubo de PVC (1m²) lanzado aleatoriamente hacia unos 20 o 25 lugares del potrero registrando el peso del material recogido. Para otras especies, el material se recoge por metros lineales. Lo anterior se hace con el objetivo de establecer curvas anuales de producción forrajera, es decir de oferta de alimentos, que orienten la actividad de pastoreo.

Con base en la producción de cada lote, se calcula el tamaño de la franja que se asignará para pastoreo, lo cual puede convertirse en una variable dinámica.

10. Desarrollo del modelo de control permanente o Cuadro de Mando Integral (CMI)

10.1. Antecedentes del Cuadro de Mando Integral (CMI)

El CMI es un concepto introducido en la administración estratégica moderna en el año 1990 por Kaplan y Norton, que, aunque permite gestionar una organización, también permite planificarla a corto, mediano y largo plazo. Es un conjunto de instrumentos que tiene como fin “verificar y controlar el desempeño de la organización hacia unos excelentes resultados futuros” (Kaplan & Norton, 2016), en un entorno complejo y competitivo. El CMI se enfoca en la conversión de la estrategia, la misión y la visión en objetivos e indicadores estratégicos, alineando así la visión con la estrategia.

El CMI mide la actuación de la organización desde cuatro perspectivas equilibradas: 1) perspectiva financiera; 2) perspectiva del cliente; 3) perspectiva del proceso interno, y 4) perspectiva de formación y crecimiento. Este documento se enfoca en la perspectiva del proceso interno y sus indicadores críticos de desempeño (KPI) con un enfoque de cadena de valor. “La cadena de valor está integrada por todas las actividades empresariales que generan valor agregado y por los márgenes que cada una de ellas aportan” (Porter, 2014).

Para lograr lo anterior se requiere: 1) determinar y diseñar la estrategia de la empresa; 2) adaptar la estructura organizacional y 3) diseñar e implementar el CMI.

Dentro de lo propuesto por Norton y Kaplan, las estrategias para mejorar la competitividad incluyen: 1) el crecimiento y diversificación de ingresos, entre otros a través de nuevos productos y una política de precios; 2) el mejoramiento de la productividad a través de la reducción de costos, entre otros reduciendo costos unitarios y de explotación; 3) la optimización del uso de activos; la medición de la satisfacción de los empleados; y 5) la medición de la productividad de los empleados.

Adicionalmente, el mejoramiento de la rentabilidad incluye “mecanismos de información que les permitan obtener, sobre la marcha, la información que

necesitan para ir controlando, día tras día, la consecución final de los objetivos establecidos y, en especial, el objetivo de beneficios” (Koenes, 1995). Koenes también propone una lista de indicadores relacionados con el área de producción/operaciones (Tabla 36).

Tabla 36. Lista de indicadores relacionados con el área de producción/operaciones.

INDICADORES RELACIONADOS CON EL ÁREA DE PRODUCCIÓN/OPERACIONES

- Niveles de producción.
- Costos de producción (fijos, variables, unitarios).
- Costos alternativos posibles (por ejemplo, subcontratación).
- Costos relacionados con el aprovisionamiento, la manipulación y el movimiento interno de materiales.
- Relación entre la mano de obra directa e indirecta por sección productiva u operativa.
- Niveles de productividad por empleado.
- Niveles de ausentismo.
- Tasas de inactividad de las máquinas (daños, paradas técnicas).
- Evolución prevista de los precios de las materias primas, productos intermedios, consumibles del área de operaciones, energía, combustibles, etcétera.
- Niveles de desperfectos, desechos o devoluciones por defectos o baja calidad.
- Período medio requerido para servir un pedido.
- Niveles de existencia en almacén.
- Número de agotados de inventarios y su impacto en las ventas (pedidos no servidos).
- Período mínimo de aprovisionamiento (período entre el pedido y la entrega).
- Agotados de inventarios de materias primas (pérdidas por inactividad).
- Índice de ocupación de la capacidad de producción.
- Evolución actual y prevista de las tecnologías de producción u operaciones.
- Otros indicadores relacionados con la producción o las operaciones que se consideren necesarios y convenientes.

Fuente: adaptado por los autores con base en (Koenes, 1995).

10.2. Aplicaciones del Cuadro de Mando Integral en ganadería y en producción de leche

Contrario a lo que podría pensarse, la producción lechera es un sector económico de rápida innovación tecnológica, que a pesar de seguir utilizando los mismos recursos de toda la historia (vacas, potreros, etc.), debe utilizar

“rápidamente la prestación de servicios” (Kaplan & Norton, 2016), entre las cuales está el CMI.

Quinodoz afirma que en “el marco en que se desempeña hoy la empresa agropecuaria exige una atención prioritaria a aspectos relacionados con la gestión económica” y propone también “desarrollar un tablero de control para empresas de producción, con indicadores rápidos de análisis del negocio, que permitan modelizar y evaluar sistemas de producción con criterios económicos, monitorear la marcha de los mismos y simular los resultados posibles de obtener ante cambios de escenarios probables y así poder adaptarse oportunamente, para mantener la competitividad”. Igualmente, recomienda “aplicar un análisis de sensibilidad de las tres variables externas más importantes de la empresa: precio de la leche, volumen de producción (como resultado de la variación climática) y precio del insumo considerado estratégico”. Entre otras cosas, concluye que:

- 1) “El Tablero de Control (TC) es una herramienta dinámica que permite evaluar distintas alternativas tecnológicas, productivas y económicas por su capacidad de simular sistemas y resultados”.
- 2) “El TC también permite diseñar estrategias de producción de bajo costo (y también de bajo riesgo) para mejorar la competitividad y sostenibilidad de la empresa”.
- 3) “El TC es una herramienta fundamental para ser utilizada como “medicina preventiva” en la gestión de empresas lecheras, a diferencia de la gestión tradicional que analiza los resultados económicos pasados, y que en ciertas ocasiones suele ser una muy buena “autopsia” para explicar por qué la empresa dejó de existir”.
- 4) “El TC permite priorizar algunos indicadores técnicos por su importancia en función de su relación en el resultado operativo” (Quinodoz, 2008).

Félix Fares, en “El Tablero de Control para su Ganadería de Leche” (2016) expone que “en la empresa lechera, ya hay indicadores que suelen integrar el lenguaje común cuando se hace a la situación de las empresas. Muchas veces son indicadores de la parte física, tales como producción diaria individual en litros de leche por vaca en ordeño, la producción medida en litros de leche o en kilos de grasa butirosa por hectárea, por citar los más corrientes” y concluye que “no hay un sistema único de tablero de control, sino variantes según los objetivos de cada empresa, y las características del sistema de producción de cada una”. En el portal Primicias Rurales (“El tablero de control para su tambo”, 2011), Fares expone que además de los clásicos indicadores de producción se pueden incluir los siguientes: 1) la deuda, expresada en el equivalente de liquidaciones

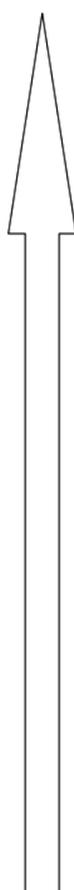
promedio mensual; 2) el porcentaje del cheque por venta de leche que se lleva, por ejemplo, el rubro alimentación; o 3) los “litros libres” que está su tambo en un determinado momento.

Richardson y Patterson establecen que la complejidad de las granjas hace difícil la tarea a los administradores de determinar cuáles serán las estrategias que le permitirán alcanzar sus objetivos; que cada finca es diferente y requiere indicadores diferentes, que cada finca tiene restricciones de costo, almacenamiento, capacidad, mano de obra, ambiente, mercado; también, la implementación del CMI ayuda a administrar los antagonismos entre las metas de producción y las otras perspectivas y definen planeación estratégica como “alcanzar la excelencia a largo plazo de manera sostenible para una finca y su ambiente” (Richardson & Patterson, 2007).

Shadbolt, por su parte, afirma que el CMI es una herramienta estratégica para gerenciar sus fincas, que ayuda a nivel operacional, táctico y estratégico a que los resultados de la finca no sean “sorpresas”, y que la gerencia estratégica es diferente de los otros niveles porque no es rutinaria, no es programable, es ambigua, incierta y compleja (Shadboldt, 2007).

Dunn y Etheredge definen cuatro criterios para medir el éxito de una finca: 1) usar estándares para medir el desempeño de una finca en cuanto a definiciones, metodologías y protocolos; 2) las medidas definidas deben ser comparadas con medidas similares de otros negocios; 3) se deben usar comparaciones en zonas geográficas similares; y 4) entender que lo grande, lo mejor, lo muy grande, pueden ser mejorados. En el contexto estadounidense se considera importante balancear la capacidad de los potreros con la capacidad de ensilaje, tomar decisiones con base en información, capacidad de producción de pastos, uso de las pasturas y apropiadas condiciones ecológicas. Recomiendan incluir evaluaciones de costo de producción, retorno sobre los activos y puntos de equilibrio, también se recomienda priorizar estrategias para maximizar el impacto. De la misma manera recomiendan conocer las expectativas del cliente para mejorar precios y beneficios (Dunn & Etheredge, 2005). La Figura 45 muestra el CMI propuesto por estos autores.

Finalmente, como definición encontramos también que “el CMI es una herramienta de administración estratégica que le suministra al gerente una clara y concisa fotografía de la salud y progreso del negocio para alcanzar los objetivos del rancharo. Este incluye medidas financieras que muestran los resultados de las medidas ya tomadas e incluyen medidas de satisfacción del cliente y acciones de mejoramiento innovativo que direccionarán el desempeño financiero”.



Perspectives with Strategic Objectives	Goal	Actual
People		
1. Healthy, happy family	Yes	
2. Sense of security	Yes	
3. Low stress	Yes	
Financial		
1. ROA	8%	
2. \$ Net Income	\$200,000	
3. Breakeven	\$0.75	
4. Current Ratio	2:1	
5. Long Term Ratio	5:1	
Customer		
1. Feedback good	Yes	
2. Repeat customer	Yes	
3. Customer inquiry	Yes	
Cattle		
1. Lbs Weaned/Cow Exposed	500	
2. Preg %	94	
3. Replacement Rate %	15	
4. Cow BCS at weaning	5+	
5. Days fed harvested feed	85	
6. % Calves born in 1 st 21 days	65	
7. \$ Vet/cwt. weaned calf	\$0.02	
8. Cattle ID	Yes	
Natural Resources		
1. Stocking Rate = Carrying Capacity	Yes	
2. Prescribed burn	Success	
3. Residual forage adequate	Yes	
4. Noxious weeds treated	Yes	
5. Precip. as a % normal	110	
6. Range Condition Score	Improving	
7. Photo Pts. Compared	Improving	
8. Grouse Count	Increasing	
Learning and Growth		
1. Attend RBCS	Yes	
2. Attend KRIRM Symposium	Yes	
3. Participate in Grazing School	Yes	

Figura 45. Cuadro de Mando Integral (CMI) propuesto por Dunn y Etheredge para una finca lechera.

Fuente: (Dunn, Gates, Davis, & Arzeno, 2006, Pag 52).

10.3. Propuesta de Cuadro de Mando Integral para la finca San Pedro del CBA Mosquera

Previamente SENNOVA definió un conjunto de indicadores de desempeño operacional fundamentado en una propuesta de mapa de procesos y el entendimiento de las variables de estado, entrada, proceso y salida (Mesa R., Silva, & Zuleta Bonilla, 2016).

En el Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019 (FEDEGAN, 2006), se considera “la Innovación como la introducción efectiva de tecnología al interior de los procesos productivos de las empresas ganaderas, lo cual se ha revelado

como una de las grandes carencias actuales de la ganadería. No existe una adecuada cultura de la innovación, aspecto en el cual resulta fundamental implementar estrategias que permitan alcanzar y mantener adecuados niveles de productividad y rentabilidad en el negocio”. El mismo documento precisa “que los avances logrados con el modelo tradicional de transferencia de tecnología, heredado de los años 70, han sido muy modestos” y propone “utilizar herramientas de Marketing y de Tecnologías de Información y Comunicación –TIC–, actualmente muy desarrolladas”.

Como se encontró en estudio previo, la finca San Pedro carece de indicadores de gestión, contabilidad de costos y un enfoque de gerencia estratégica de la producción lechera, por lo cual se propuso gerenciar la Unidad de negocio con un enfoque estratégico, se enumeraron una serie de oportunidades de mejoramiento y se llevó a cabo el establecimiento de un sistema de gestión de calidad con enfoque ISO9000 (Mesa R., Silva, & Zuleta Bonilla, 2016).

Dentro de la línea de investigación SENNOVA, previamente se había establecido el propósito de crear e implementar un CMI, el cual, por los motivos anteriormente señalados, se enfoca en la perspectiva del proceso interno (Niven), sin dejar de referenciar algunos indicadores claves de las otras perspectivas. En consideración ante la baja disponibilidad de datos y considerando la importancia de establecer un plan estratégico de mejoramiento del proceso de producción de leche, se propone inicialmente una sencilla versión de CMI para el negocio lechero del CBA Mosquera, lo cual se presenta en la Tabla 37.

Tabla 37. Cuadro de Mando Integral (CMI) propuesto para la finca San Pedro del CBA de Mosquera.

Perspectiva de procesos Internos				
	Unidad	Valor deseado	Atención	Peligro
Producción día	litros			
Producción promedio/ vaca / día	litros/vaca/día			
Número de vacas del Hato	unidades			
Número de vacas totales	unidades			
Kilogramos de Forraje consumidos	Kg			
Kilogramos de Concentrado consumidos	Kg			
Producción litros/ Hectáreas	litros/ Hectáreas			
Porcentaje Vacas Hato/Vacas Totales	%			

Porcentaje Concentrado/Forraje	%			
Vacas por Hectárea	vacas/Ha			
Partos vivos hembras	unidades			
Partos vivos totales	unidades			
Partos vivos hembras / Partos Totales	%			

Perspectiva financiera				
	Unidad	Valor deseado	Atención	Peligro
Precio de venta por litro	\$/lt			
Costo del litro	\$/lt			
Costos fijos	\$			
Costo de concentrado / Costo total	%			
Costo de forraje / Costo total	%			
Costo de personal / Costo total	%			

Perspectiva de formación y crecimiento				
	Unidad	Valor deseado	Atención	Peligro
Número de operarios	unidades			
Producción día/ Operarios	litros/operario			

Perspectiva del cliente				
	Unidad	Valor deseado	Atención	Peligro
Litros vendidos a COLANTA/litros totales	%			
Litros entregados a producción/ lts totales	%			

Fuente: Elaboración propia.

10.3.1 Perspectiva de procesos internos

Producción por día: corresponde a la cantidad total de litros de leche obtenida diariamente en la finca; su crecimiento es importante porque representa una mejora de la productividad al producir más con la misma infraestructura física. Cerca de 1.300 litros/día son actualmente obtenidos en la finca (Ocampo, 2016).

Producción promedio (litros/vaca-día): es el resultado de dividir la producción por día entre el número de vacas del hato. Indica el nivel de producción promedio de cada animal como reflejo de todos los esfuerzos de la administración. El nivel actual de la finca está cerca de los 13 litros/vaca-día (Ocampo, 2016), mientras que algunas vacas (de raza Holstein) en Colombia pueden ofrecer cerca de 45 litros diarios. Si bien estos no son valores necesariamente comparables, dan orientación acerca de valores de hatos con niveles de excelencia.

Producción litros/hectáreas: es el resultado de dividir la producción por día entre el número de hectáreas dedicadas al negocio. Permite determinar la productividad del área destinada al negocio de lechería.

Porcentaje vacas del hato/Vacas totales: resultado de dividir el número de vacas del hato entre el número de vacas totales. Indica la potencial capacidad de producción de la finca al considerar cada cabeza del hato como unidad de producción ganadera.

Kilogramos de forraje consumidos: es la cantidad de alimento cosechado y consumido por el centro para alimentar animales en un período de tiempo determinado.

Kilogramos de concentrado consumidos: es la cantidad de concentrado invertido por el centro para alimentar animales en un período de tiempo determinado.

Porcentaje concentrado/forraje: es resultado de dividir los kilogramos de concentrado consumidos entre los kilogramos de forraje consumidos. Además de reflejar una relación que debe ser controlada para evitar problemas de acidosis en los bovinos, indica el posible costo y/o los esfuerzos de producción de pastos que deban hacerse.

Vacas por hectárea: es el resultado de dividir el número de vacas totales entre la dimensión (en hectáreas) de la finca lechera para conocer la carga de la finca.

Partos vivos hembras: indica la capacidad de crecimiento y reemplazo de las unidades productivas de leche en un período de tiempo determinado.

Partos totales: indica la eficiencia del programa de reproducción y crecimiento general en un período de tiempo determinado.

Partos vivos hembras / Partos totales: indica la eficiencia del programa de reproducción y crecimiento general del hato lechero. La comparación con el 50% de machos y hembras que se suministraría por naturaleza, permite identificar la eficiencia de los programas de inseminación artificial versus la natural (monta) o la eficiencia obtenida con el uso de semen sexado.

10.3.2. Perspectiva financiera

Precio de venta/litro: indica la cantidad recibida por litro de leche; su seguimiento permite ver el mejoramiento de la calidad de los procesos.

Costo/litro: indica la cantidad gastada por litro de leche y su seguimiento permite ver el mejoramiento de la calidad de los procesos.

Costos fijos: indica el componente fijo de costos en la producción de leche.

Costo de concentrado/Costo total: porcentaje de participación del concentrado en el costo total de producción por litro de leche.

Costo de forraje/Costo total: porcentaje de participación del forraje en el costo total de producción por litro de leche.

Costo de personal/Costo total: porcentaje de participación del costo de mano de obra en el costo total de producción por litro de leche.

10.3.3. Perspectiva de formación y crecimiento

Número de operarios: número de personas involucradas en el proceso de producción.

Producción litros/Operarios: producción diaria promedio por operario.

10.3.4. Perspectiva del cliente

Litros vendidos a COLANTA/litros totales: proporción de venta de la leche como producto sin valor agregado.

Litros entregados a producción/litros totales: proporción de venta de la leche como producto con valor agregado.

La diferencia de precio obtenido al vender productos lácteos es significativa, aunque se invierten recursos para la producción de kumis, quesos y yogures, el precio de venta de estos productos es superior al de la leche (producto sin valor agregado), además de generar conocimiento en los aprendices.

10.4. Cómo implementar el concepto de Cuadro de Mando Integral en el CBA

La South Dakota State University publicó el manual “Usando el Tablero Balanceado de indicadores para la administración y planeación de la finca: Estableciendo la estrategia y midiendo el desempeño” (Dunn, Gates, Davis, & Arzeno, 2006).

En ella los autores, establecen una sencilla metodología de completa aplicabilidad y de manera novedosa proponen seis perspectivas (con una priorización diferente) para los indicadores del CMI. A continuación, describimos brevemente la metodología:

- Definir la visión. Comenzar con el fin en la mente. Para aplicar el CMI a la operación de la finca, identifique primero su visión respondiendo a las preguntas: ¿Cuál es mi negocio?; ¿qué es lo que quiero lograr? y ¿cómo lo voy a lograr?
- Evaluar desde múltiples perspectivas. Todas las perspectivas contribuyen a la viabilidad de la finca. Todas las perspectivas permiten dar una visión integral de la finca. El balance se alcanza cuando se ponderan las perspectivas.
- Perspectiva de aprendizaje y crecimiento: es definida como la capacidad de cambiar, mejorar y adaptar productos y procesos, así como la capacidad de desarrollar nuevos productos, servicios y relaciones.
- Perspectiva de los recursos naturales: en ella se trata de conocer los recursos disponibles, monitorearlos, no sobrecargarlos, asegurar la disponibilidad de ellos y ser flexible o adaptable a sus variaciones.
- Perspectiva de la producción agrícola y pecuaria: está más relacionada con el proceso interno y los indicadores propuestos.
- Perspectiva del cliente: se busca responder, entre otras, a las preguntas siguientes: ¿qué le importa a nuestros potenciales clientes de nuestros productos? y ¿cómo mi negocio o productos afectan a nuestros clientes?
- Perspectiva financiera: se enfoca en resultados financieros entre los que están el retorno sobre la inversión, los márgenes netos y brutos, ingresos netos de la finca, flujo de caja libre, etc.
- Perspectiva del estilo de vida de la finca: se enfoca en ofrecer a la familia del ganadero y a sus empleados seguridad, felicidad y bajos niveles de estrés.



PARTE TRES
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

Conclusiones

En este documento se caracterizó y representó el comportamiento actual de un sistema de producción lechera (caso específico del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en Mosquera, Cundinamarca) midiendo variables de producción y rentabilidad.

Se identificaron y diseñaron estrategias que facilitan una gestión y producción eficientes, acordes tanto a la realidad del sector agropecuario regional como a la calidad de vida, medios y recursos de la población campesina cundinamarquesa. Contando entre ellas un mapa de procesos, una propuesta de cuadro de mando integral y los fundamentos de un modelo de rotación de potreros.

Se evaluó el efecto de algunas de las estrategias planteadas sobre la rentabilidad, el costo total y la producción, a través de técnicas de simulación continua.

De acuerdo con todo ello, es fundamental para el negocio lechero asegurar la mayor cantidad de vacas en producción lechera, ya sea a través de procesos reproductivos o a través de la compra de vacas. Lo anterior considerando las restricciones económicas, de espacio, etc., con el objetivo de maximizar la capacidad de producción de la finca.

El registro detallado de los celos, fecundaciones y partos es crucial para la productividad del hato, para mantener su nivel, para determinar el momento de descartar una vaca problema y para planear el proceso productivo y reproductivo y los recursos humanos y económicos necesarios. Este registro confiable para cada animal permite determinar un plan dietario y ejecutarlo para cada individuo.

La recomendación de incluir semen sexado es altamente dependiente de las condiciones adecuadas de la finca, de los animales y de la pericia del inseminador, por lo cual se debe fortalecer ese proceso, con la consideración de que muchas de las prácticas de aprendizaje pueden afectar tanto la calidad y eficacia del proceso como la salud de las vacas.

Entre las características de la finca se destacan las siguientes:

- Existe dificultad para obtener información histórica a pesar de contar con dos sistemas de información.
- Puede incrementarse la productividad de la finca San Pedro, aplicando las estrategias recomendadas.
- La finca está ubicada estratégicamente en un corredor logístico.
- Se cuenta con un capital humano importante.
- No fue posible evidenciar un centro de costos contable propiamente dicho, y no se obtuvo información completa de costos de la finca; no hay claridad en los aportes o costos de mano de obra ni comida.
- A pesar de ser independientes, con toda seguridad la aplicación de todas las estrategias (en el marco de un modelo estratégico de producción) o de las más importantes, pueden sinergizar la rentabilidad.
- Como resultado de la revisión de una amplia bibliografía acerca del uso del CMI en ganadería y específicamente en lechería especializada, se propone un modelo de CMI y un mecanismo de implementación en el CBA aplicado al negocio de lechería de la finca San Pedro, replicable en cualquier finca lechera de la Sabana de occidente, área de influencia del CBA.
- Se requiere una definición estratégica del negocio de lechería y su cadena de valor, lo que significa convertir la finca lechera en una Unidad Estratégica de Negocio (UEN). Esto es, llevar a cabo el Análisis DOFA, de misión, visión, objetivos estratégicos, planeación a corto, mediano y largo plazo y destinar recursos para lograrlo (Álvarez T., 2003), antes de implementar el cuadro de mando integral.
- Posteriormente, se puede proceder a la implementación de la metodología del CMI. Kaplan y Norton (2016) proponen que unas dieciséis semanas es un término realista para la implementación de un CMI.
- Se sugiere implementar un CMI de manera conjunta con los actores relacionados y luego de una reformulación estratégica que incluya redefinir el manual de funciones y las funciones de los contratistas, y al tiempo con la implementación priorizada de las estrategias de mejora reportadas en estudios anteriores.
- La orientación de la administración de la finca hacia un Cuadro de Mando Integral es beneficiosa para el CBA aún si no se termina de implementar la iniciativa, y, además, ya ha sido explorada en fincas lecheras. Por otra parte,

la conexión del CMI con la simulación permite incorporar la incertidumbre al proceso de análisis y toma de decisiones.

- Por último, el concepto de CMI se puede ampliar a otras áreas estratégicas del CBA.

Recomendaciones

- Establecer un plan estratégico de mejora de la finca a la luz de las oportunidades citadas arriba, incluyendo la asignación de recursos apropiados y la priorización de objetivos. En dicho plan se recomienda involucrar los enfoques de un veterinario, un zootecnista y un ingeniero industrial.
- Es conveniente reorientar estratégicamente y formalizar la estructura de administración de la finca, asegurando la proveeduría de recursos para el proceso productivo. Los contratos de prestación de servicios relacionados deben estar alineados con las necesidades tanto de formación como de producción de la finca. Adicionalmente, debe implementarse un sistema de centros de costo.
- Complementar la propuesta de mapa de procesos a la luz de ISO9000 para formalizar la gestión de los procesos, sumando estos a los mínimos exigidos por la buenas prácticas ganaderas (ej. venta de ganado en pie) y generando todos los registros necesarios para la toma de decisiones. “Los registros proporcionan información para mostrar los puntos fuertes y débiles en la empresa lechera. Por supuesto, los registros tienen verdadero valor solo si se les estudia y analiza después que han sido resumidos (ICA, CORPOICA UDCA, 2007).
- Establecer dentro del CBA un plan estratégico de alimentación de las unidades de producción lechera en el cual se involucren aprendices de los programas agrícolas y un modelo de rotación de potreros con enfoque de sostenibilidad ambiental.
- Establecer una marca SENA y un plan de mercadeo de derivados lácteos que potencialice la producción e incremente el precio de la leche.
- Asegurar la participación de los trabajadores oficiales en el proceso de producción y el acompañamiento de instructores a aprendices en todas las actividades relacionadas con el proceso productivo (inseminación, ordeño, etc.) lo cual requerirá la actualización y/o aplicación de los manuales de procesos existentes.

- Mantener en óptimas condiciones la planta de ordeño, el entrenamiento de los aprendices y los procedimientos de mantenimiento y actualización de la infraestructura, equipos y software.
- Garantizar que los sistemas de información estén actualizados en versiones y datos disponibles, con reportes periódicos. Es requisito fundamental contar con información objetiva y completa obtenida a partir de la toma de datos tanto físicos, como los registrados en los sistemas de información Dairy Plan y Taurus. Además, es necesario realizar el análisis estadístico y la presentación de informes de las variables identificadas. En el momento no se cuenta con bases de datos confiables para estos análisis.
- Fortalecer la actualización del software y las bases de datos de los sistemas de información.
- Identificar la verdadera necesidad de dos sistemas de información.
- Implementar un enfoque de gerencia en la finca, que permita convertirla en una Unidad Estratégica de Negocio (con indicadores de gestión, contabilidad de costos, modelo de negocios, etc.), con base en las estrategias propuestas y fundamentado en un modelo de seguimiento soportado por el CMI propuesto.
- Integrar el proceso de agroindustria, formación y administración de potreros al de Producción de Lechería.
- Todos los alimentos cultivados en la granja durante el año, o las cantidades compradas durante el año y usadas en el negocio de la leche, deben ser cargadas a dicha producción como gastos” (ICA, CORPOICA, UDCA, 2007).
- Redefinir el manual de funciones y las funciones de los contratistas.
- Implementar el Cuadro de Mando Integral de manera colaborativa con funcionarios y contratista.
- Promover las visitas estructuradas a otras fincas con el objetivo de conocer las mejores prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aracil, J. (Marzo de 1995). *Dinámica de Sistemas*. Madrid, España: Isdefe.
- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Alianza.
- Banco Agrario de Colombia. (2015). *Tasas de interés*. Obtenido de <http://www.bancoagrario.gov.co/Documents/TasasBAC.pdf>
- Banks, J., Carson II, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2009). *Discrete-Event System Simulation* (5 ed.). Prentice Hall.
- Bojacá, L. (2 de Agosto de 2016). Visita guiada a la Finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en Mosquera, Cundinamarca. (P. A. Zuleta Bonilla, & J. A. Mesa Reyes, Entrevistadores)
- Bojacá, L. (2 de Agosto de 2016). Visita guiada a la Finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en Mosquera, Cundinamarca. (P. A. Zuleta Bonilla, & J. A. Mesa Reyes, Entrevistadores)
- Bojacá, L. (2 de Agosto de 2016). Visita guiada a la Finca San Pedro del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA en Mosquera, Cundinamarca. (P. A. Zuleta Bonilla, & J. A. Mesa Reyes, Entrevistadores)
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2013a). Plan Sanitario de Ganadería. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2013b). Programa para el control y prevención de mastitis. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2013). Plan Santario de Ganadería. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2014 (a)). Procedimiento para el lavado del equipo de ordeño. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2014 (b)). Contrato de Suministros Ganadería CBA. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2014 (c)). Registros Ganadería. Bogotá.
- Cha, E., Kristensen, A., Hertl, J., Schukken, Y., Tauer, L., Welcome, F., & Gröhn, Y. (Abril de 2014). Optimal insemination and replacement decisions to minimize

- the cost of pathogen-specific clinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2101–2117. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7067>
- COLANTA. (2014). *Informe Anual 2014*.
 - CONtexto ganadero. (24 de Febrero de 2015). Semen sexado, práctica a la que Colombia le debe apostar. *CONtexto ganadero*.
 - DeLorenzo, M., Spreen, T., Bryan, G., Beede, D., & Van Arendonk, J. (Marzo de 1992). Optimizing Model: Insemination, Replacement, Seasonal Production, and Cash Flow. *Journal of Dairy Science*, 75(3), 885–896. Obtenido de [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77829-1](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77829-1)
 - Dimap Soluciones S.A.S. (2015). Especificaciones técnicas de máquina de ordeño y tanque. Bogotá.
 - El Diario del Otún. (2014). Breves económicas. *El Diario del Otún*.
 - Fares, F. (13 de 02 de 2015). El Tablero de Control para su Ganadería Lechera: <http://www.perulactea.com/2015/02/13/el-tablero-de-control-para-su-ganaderia-de-leche/>
 - Fares, F. (23 de 08 de 2011). El tablero de control para su tambo: <http://www.ruralprimicias.com.ar/noticia-el-tablero-de-control-para-su-tambo-11568.php>
 - FEDEGAN & SENA (2013). *Costos modales en ganadería de leche, trópico alto de Colombia: ventana a la competitividad ganadera*. Bogotá: Estratégica Comunicaciones.
 - Forero Medina, L. E. (10 de 08 de 2016). *Portal Lechero*. Obtenido de Colombia: Sector lácteo, vacas flacas y vacas gordas: <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/10371/1/innova.front/colombia:-sector-lacteo-vacas-flacas-y-vacas-gordas.html>
 - Groenendaal, H., Galligan, D., & Mulder, H. (Julio de 2004). An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 2146–2157. Obtenido de [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70034-X](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70034-X)
 - Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional para la Industria Lechera. (2001). Sistema reproductivo del ganado lechero. En *Guía técnica lechera*. Universidad de Wisconsin.
 - La Torre, W. (2001). Métodos de reducción de los días abiertos en bovinos lecheros. *Revista de investigaciones veterinarias del Porter*(2).
 - Lesur, L. (2008). *Manual del ganado bovino para leche: una guía paso a paso*. México: Trillas.
 - Mendenhall, W., & Sincich, T. (1997). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (4 ed.). México D.F.: Prentice Hall.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). Resolución 17 de 2012. Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2013). *Informe de conjuntura, leche*. Bogotá.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2015). *Implementación política para mejorar la competitividad del sector lácteo nacional*. Bogotá.
- Ocampo, T. (25 de Julio de 2016). (J. Mesa Reyes, Entrevistador)
- Ospina Garzón, J. (2015). Estrategias de producción para el sector de medianos productores de leche cruda en el departamento de Cundinamarca. Bogotá D.C.
- Pereira Guimarães , V., Orlando Tedeschi , L., & Teixeira Rodrigues, M. (Julio de 2009). Development of a mathematical model to study the impacts of production and management policies on the herd dynamics and profitability of dairy goats. *Agricultural Systems*, 101(3), 186–196. Obtenido de <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.007>
- Pinzón, J. (1989). Mastitis bovina: tipos, agentes causales y diagnósticos. *FONAIAP DIVULGA* (31).
- Restrepo, P. (26 de Julio de 2016). Visita guiada a la Hacienda la Montaña de la Universidad de Antioquia. (P. A. Zuleta Bonilla, Entrevistador)
- Rodríguez Hernández, T. (2001). *Reproducción Bovina*. Caracas, Venezuela: GIRARZ.
- Rojo, J. M. (21 de Julio de 2016). Entrevista a profesor de Leche y Pastos de la Universidad de Antioquia. (P. A. Zuleta Bonilla, Entrevistador)
- Rojo, J. M. (Julio de 2016). Entrevista a profesor de Leche y Pastos de la Universidad de Antioquia. (P. A. Bonilla, Entrevistador)
- SENA. (1985). *Apareamiento o monta*. Bogotá D.C.: CAMINA.
- SENA. (2015). *Plan Estratégico 2015 - 2018. Impactando el empleo decente, la productividad y la generación de ingresos*. Bogotá D.C.
- Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (s.f.). Prospectiva 2019 Centro de Biotecnología Agropecuaria. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.
- Stephens, E., Nicholson, C., Brown, D., Parsons, D., Barrett, C., Lehmann, J., . . . Riha, S. (2012). Modeling the impact of natural resource-based poverty traps on food security in Kenya: The Crops, Livestock and Soils in Smallholder Economic Systems (CLASSES) model. *Food Security*, 4(3), 423-439. Obtenido de <http://doi.org/10.1007/s12571-012-0176-1>
- SUGANADO.COM. (3 de Septiembre de 2015). *Holstein*. Obtenido de http://www.suganado.com/cat_lista_res.php?precio=&tipo_venta=&id_departa-

mento=&id_catalogo_categoria=7&id_ciudad=&criadero=&edad=24&sex-o=&input=Filtrar

- Urdaneta, R., & Olivares, R. (1985). Uso de la técnica de inseminación artificial en bovinos. *FONAIAP Divulga*, 17.
- Uribe, F., Zuluaga, A., Valencia, L., Murgueitio, E., & Ochoa, L. (2011). *Buenas Prácticas Ganaderas. Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. Bogotá.
- Valderama Salazar, P. A. (2010). *Mercado Nacional e Internacional de Leche y productos lácteos*. Bogotá: Universidad EAN.
- Valenzuela, S. (14 de Noviembre de 2014). Lecheros de Ubaté, olvidados. *El Espectador*. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/lecheros-de-ubate-olvidados-articulo-527549>.
- Desarrollo pecuario en finca (Sánchez, 2014).
- Mastitis (Subsecretaría de Desarrollo Rural, 2013)
- “La dinámica de sistemas en el sector de ganado lechero: políticas sobre la producción de leche de vaca pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso del suelo” (Atzori Tedeschi, & Cannas).
- “Modelos que incluyen vacas: el significado del pensamiento operacional” (Olaya)
- “Modelos de políticas para emisiones de gases de invernadero en el sector de ganado lechero: la importancia del mejoramiento de la producción de leche” (Atzori, David, Tedeschi, & Cannas).
- “Guía para realizar una planeación forrajera en predios ganaderos” (FEDEGAN, SENA, 2013),
- El modelo de pastoreo racional de Voisin (Pinheiro, 1973)
- Modelo NeoZelandes (La República, 2013). Agronegocios
- Principios neozelandeses para la producción de leche (Perú Láctea, 2016).
- Causas de degradación del suelo (SENA, FEDEGAN, 2013)
- “El desempeño de la organización hacia unos excelentes resultados futuros” (Kaplan & Norton, 2016, pag 76)
- “La cadena de valor” (Porter, 2014).
- “Mecanismos de información que les permitan obtener los objetivos establecidos” (Koenes, 1995, Pag 43).
- El tablero de control (Quinodoz, 2008).
- Cuadro de Mando Integral en producción agropecuaria (Richardson & Patterson, 2007).

- Cuadro de mando Integral en una finca lechera (Dunn & Etheredge , 2005)
- Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019 (FEDEGAN, 2006)
- Sistema de gestión de calidad con enfoque ISO9000 (Mesa R., Silva, & Zuleta Bonilla, 2016).
- Unidad estratégica en el Negocio Lechero (Álvarez T., 2003),
- Registros en la empresa Lechera (ICA, CORPOICA UDCA, 2007).
- *Productividad de la hierba; Dinámica de los pastos; Suelo, hierba, cáncer; Tetanía de la hierba y Abonos: nuevas leyes científicas de su aplicación*, André Voisin. causas de degradación del suelo incluyen (SENA, FEDEGAN, 2011
- “Productividad de la hierba” (Sorrio, 2006).

Anexo 1. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Tasa de producción: Trimestre 1

- Prueba de homogeneidad

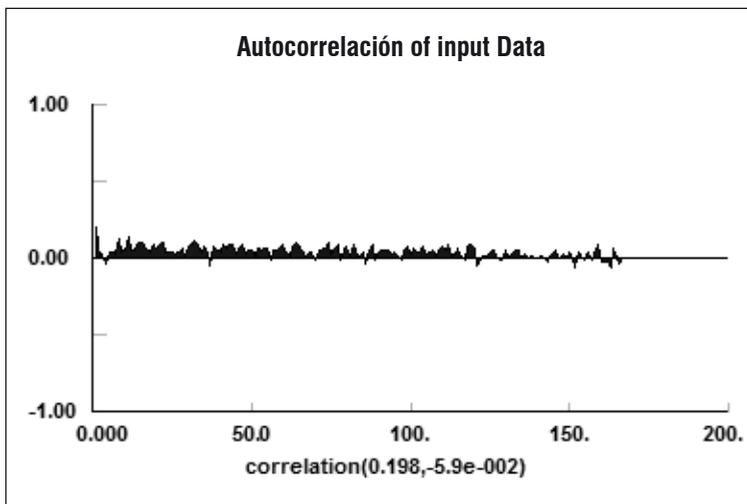
Estadísticos de prueba^{a,b}

	VAR00001
Chi-cuadrado	80,056
Gl	86
Sig. asintótica	,660

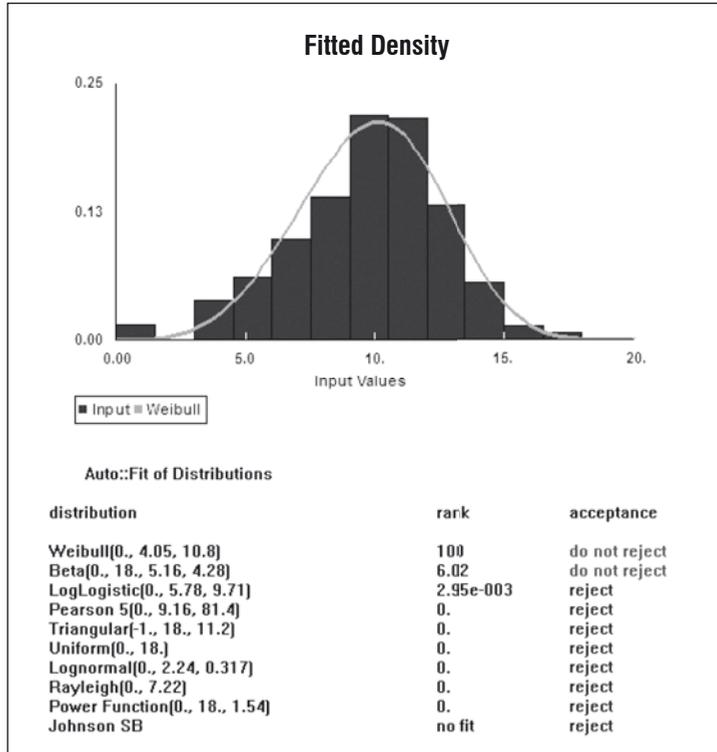
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: VAR00002

- Prueba de independencia.



- Prueba de bondad y ajuste



Tasa de producción: Trimestre 2.1

- Prueba de homogeneidad

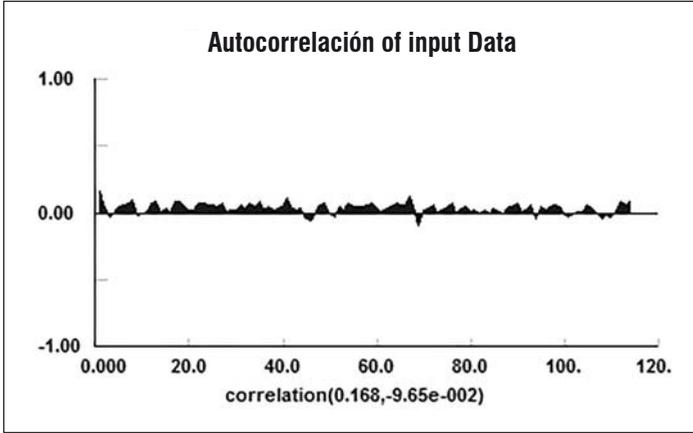
Estadísticos de prueba^{a,b}

	VAR00001
Chi-cuadrado	38,374
Gl	44
Sig. asintótica	,711

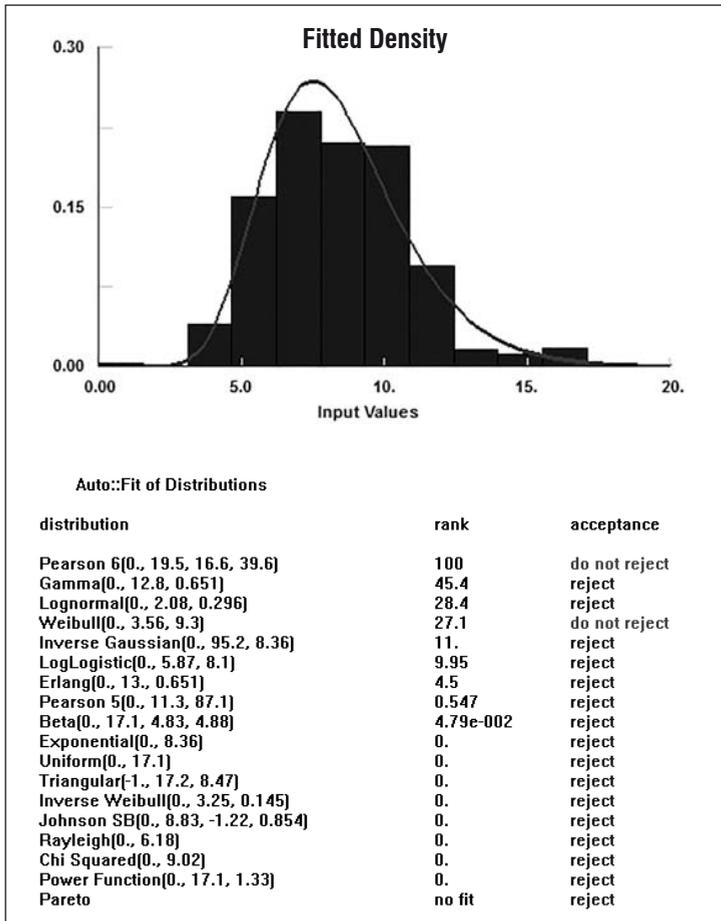
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: VAR00002

- Prueba de independencia



- Prueba de bondad y ajuste



Tasa de producción: Trimestre 2.2

- Prueba de homogeneidad

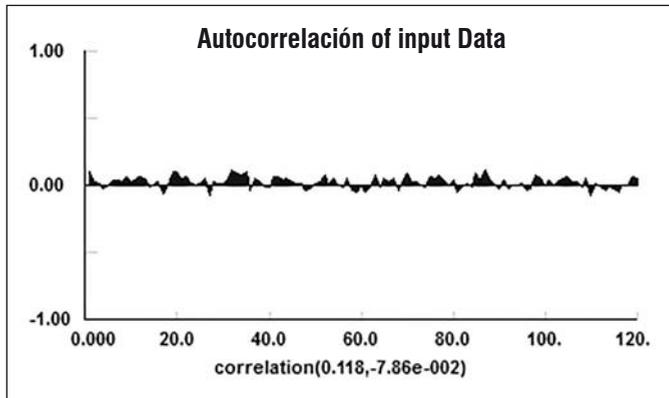
Estadísticos de prueba^{a,b}

	VAR00001
Chi-cuadrado	26.772
Gl	44
Sig. asintótica	,981

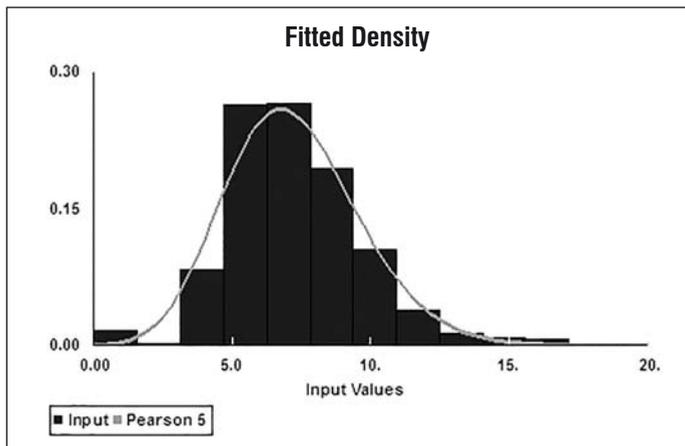
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: VAR00002

- Prueba de independenciam



- Prueba de bondad y ajuste



■ Input ■ Pearson 5		
Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Pearson 6(0., 18.2, 16., 40.6)	41.9	reject
Pearson 5[-17.7, 106, 2.62e+003]	41.	do not reject
LogLogistic[-19.1, 20.2, 26.2]	38.7	reject
Erlang[-8.29, 40., 0.388]	22.7	do not reject
Lognormal[-22.3, 3.38, 8.21e-002]	20.8	do not reject
Gamma[-8.29, 39.4, 0.394]	16.	reject
Logistic[7.08, 1.31]	2.17	reject
Inverse Gaussian[-23.8, 5.06e+003, 31.]	0.574	reject
Normal[7.23, 2.44]	2.51e-002	reject
Weibull[-1.3, 3.59, 9.41]	1.51e-002	reject
Exponential[0., 7.23]	0.	reject
Uniform[0., 17.1]	0.	reject
Beta[0., 17.1, 5.34, 7.]	0.	reject
Triangular[-0.352, 17.2, 6.28]	0.	reject
Power Function[0., 17.1, 1.12]	0.	reject
Extreme Value IA(6.06, 2.46)	0.	reject
Extreme Value IB(8.51, 2.92)	0.	reject
Chi Squared[0., 8.01]	0.	reject
Rayleigh[-5.46e+152, 3.86e+152]	0.	reject
Pareto	no fit	reject
Inverse Weibull	no fit	reject

Tasa de producción: Trimestre 3

- Prueba de homogeneidad

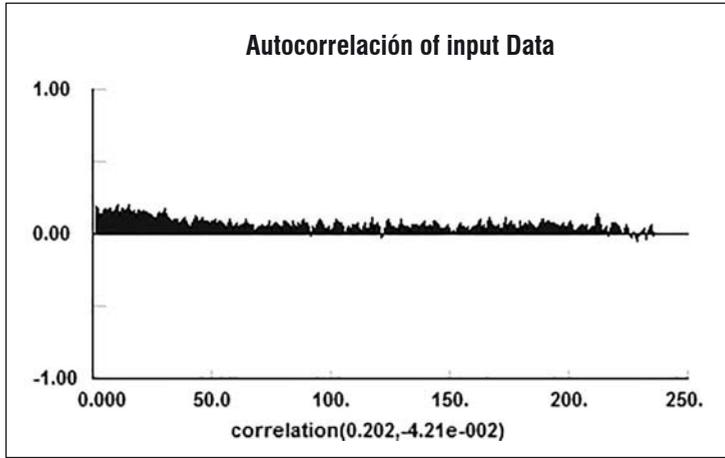
Estadísticos de prueba^{a,b}

	VAR00001
Chi-cuadrado	93.540
Gl	104
Sig. asintótica	,759

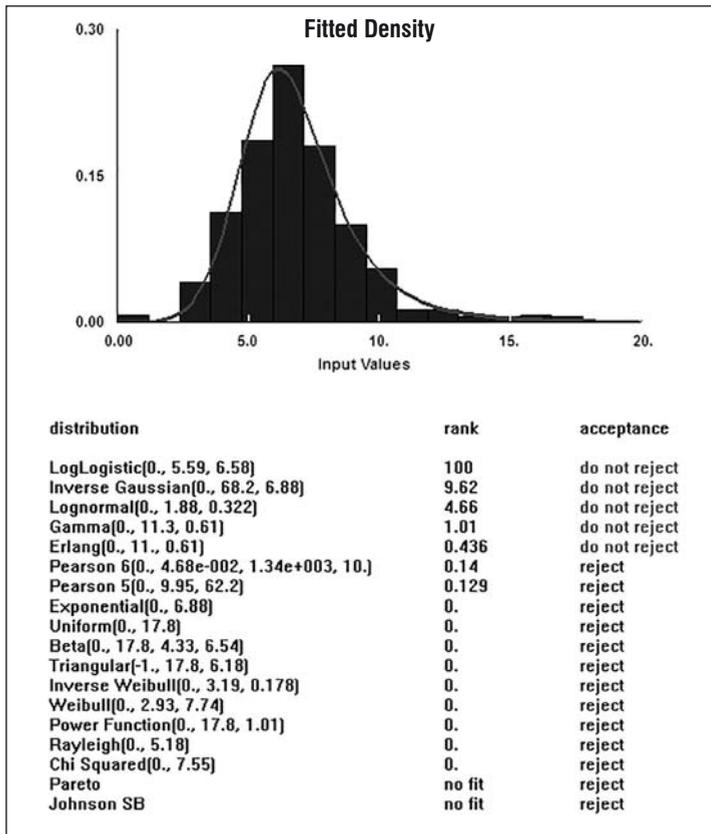
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DíasPostParto

- Prueba de independencia



- Prueba de bondad y ajuste



Presencia de mastitis: Trimestre 1

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	MastTrim1
Chi-cuadrado	11,009
gl	13
Sig. asintótica	,610

- a. Prueba de Kruskal Wallis
 b. Variable de agrupación: MuestraTrim1

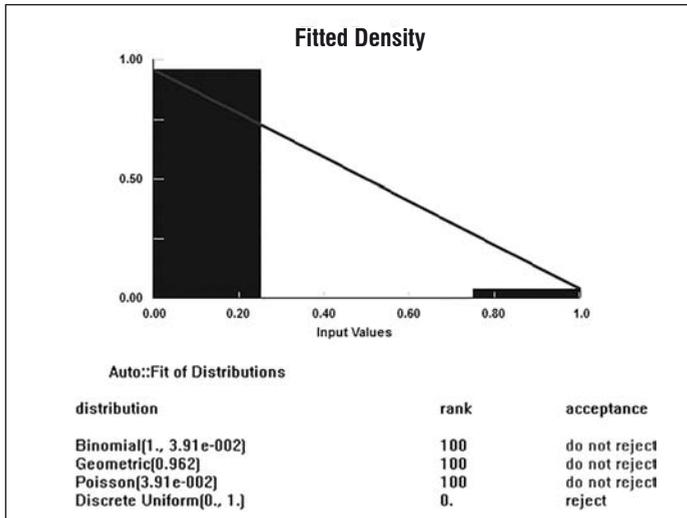
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por MastTrim 21 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.812	Conserva la hipótesis nula
2	La secuencia de valores definida por MastTrim 1 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.573	Conserva la hipótesis nula
3	La secuencia de valores definida por MastTrim 22 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.623	Conserva la hipótesis nula
4	La secuencia de valores definida por MastTrim 3 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.622	Conserva la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Presencia de mastitis: Trimestre 2.1

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	MastTrim21
Chi-cuadrado	12,420
gl	12
Sig. asintótica	,413

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: MuestraTrim21

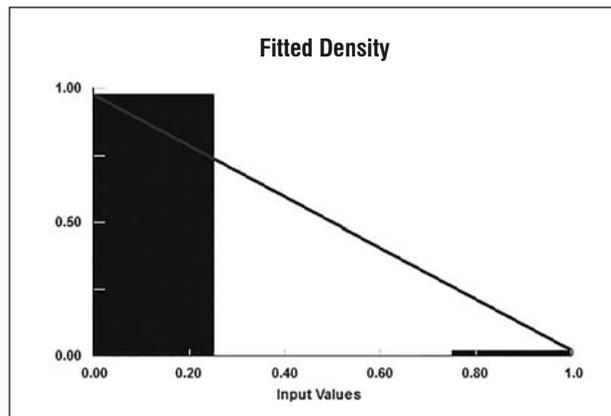
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por MastTrim 21 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.812	Conserva la hipótesis nula
2	La secuencia de valores definida por MastTrim 1 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.573	Conserve la hipótesis nula
3	La secuencia de valores definida por MastTrim 22 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.623	Conserve la hipótesis nula
4	La secuencia de valores definida por MastTrim 3 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.622	Conserve la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Binomial(1., 2.04e-002)	100	do not reject
Geometric(0.98)	100	do not reject
Poisson(2.04e-002)	100	do not reject
Discrete Uniform(0., 1.)	0.	reject

Presencia de mastitis: Trimestre 2.2

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	MastTrim22
Chi-cuadrado	18,626
gl	13
Sig. asintótica	,135

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: MuestraTrim22

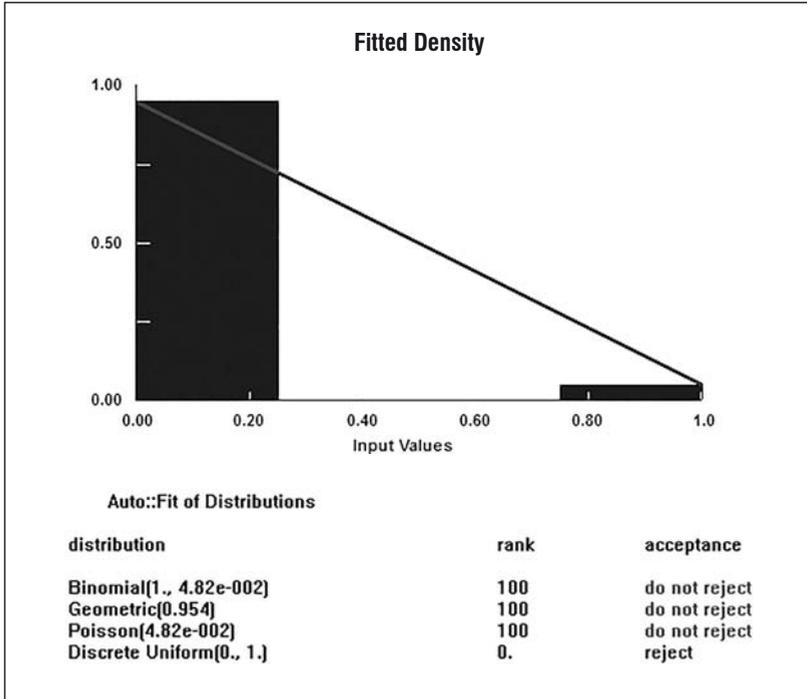
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por MastTrim 21 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.812	Conserve la hipótesis nula
2	La secuencia de valores definida por MastTrim 1 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.573	Conserve la hipótesis nula
3	La secuencia de valores definida por MastTrim 22 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.623	Conserve la hipótesis nula
4	La secuencia de valores definida por MastTrim 3 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.622	Conserve la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Presencia de mastitis: Trimestre 3

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	MastTrim3
Chi-cuadrado	16,369
gl	13
Sig. asintótica	,230

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variabl de agrupación: MuestraTrim3

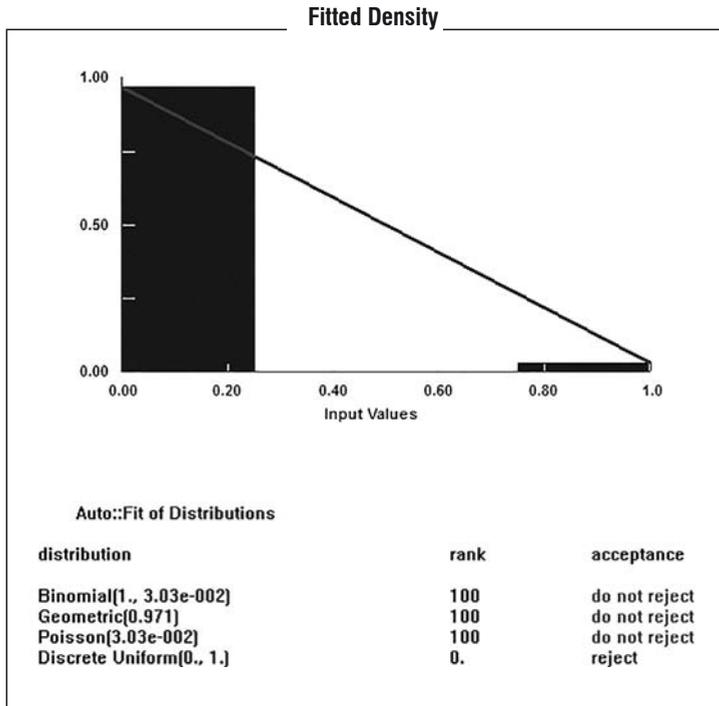
- Prueba de independencia.

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por MastTrim 21 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.812	Conserva la hipótesis nula
2	La secuencia de valores definida por MastTrim 1 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.573	Conserva la hipótesis nula
3	La secuencia de valores definida por MastTrim 22 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.623	Conserva la hipótesis nula
4	La secuencia de valores definida por MastTrim 3 = (0) y (1) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	.622	Conserva la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Probabilidad de concepción

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^a

		Concepción
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,139
	Positivo	,000
	Negativo	-,139
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,124
Sig. asintótica (bilateral)		,160

a. Variable de agrupación: Año Muestra

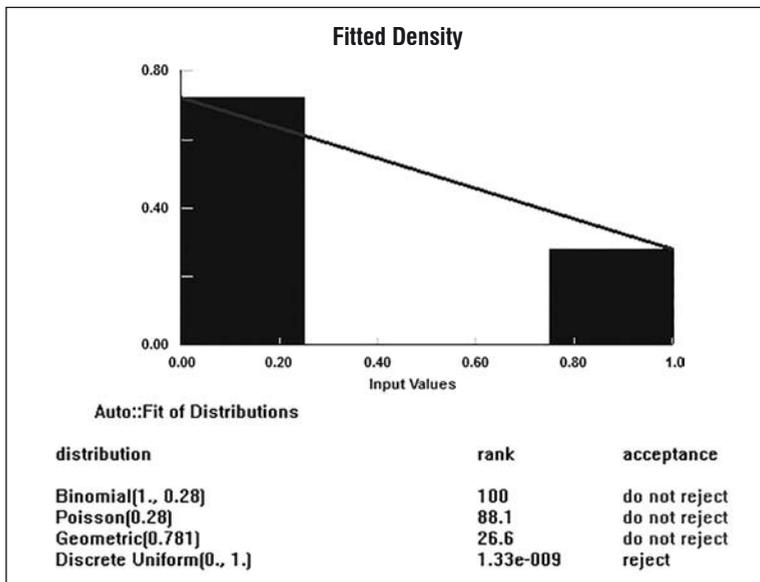
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por Concepción = (1) y (0) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	,858	Conserva la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad de ajuste.



Probabilidad de aborto

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	Aborto 0 Parto 1
Chi-cuadrado	2,397
gl	1
Sig. asintótica	,122

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: AñoMuestra

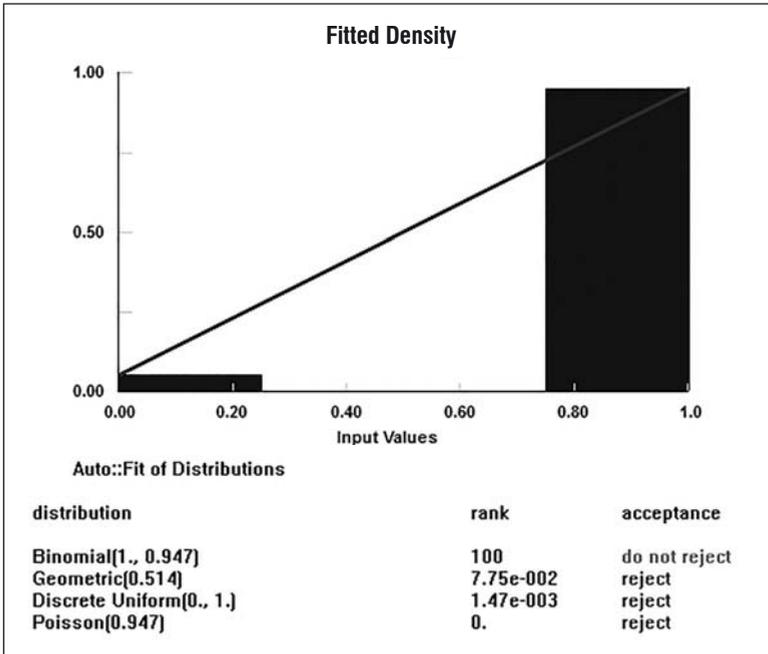
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por Aborto 0 Parto 1 $<= 1$ y > 1 es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	,606	Conserve la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad de ajuste



Probabilidad de mortinato

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	Parto1Mortinato0
Chi-cuadrado	,248
gl	1
Sig. asintótica	,618

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: AñoMuestra

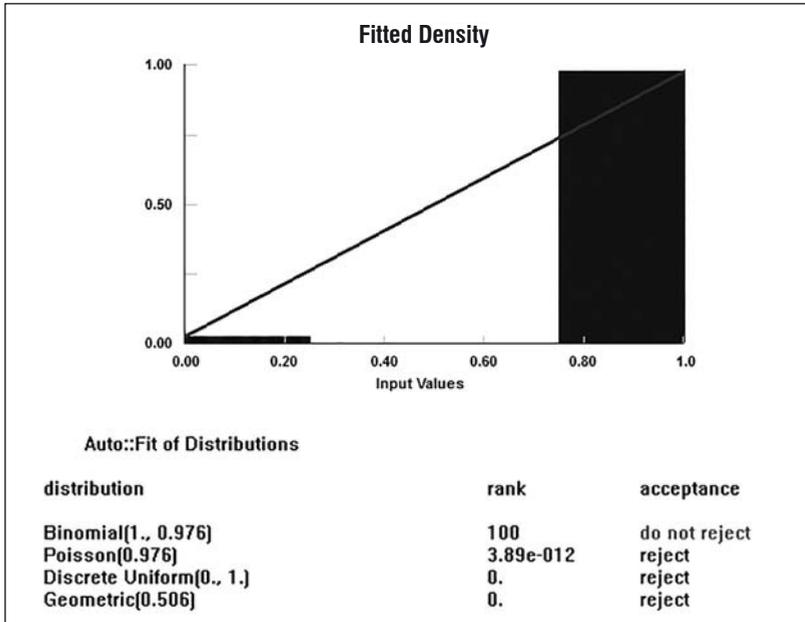
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por Parto 1 y Mortinato 0 = (1) y (0) es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	,763	Conserve la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Sexo del neonato

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	Sexo1Hembra0Macho
Chi-cuadrado	,086
gl	1
Sig. asintótica	,770

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: AñoMuestra

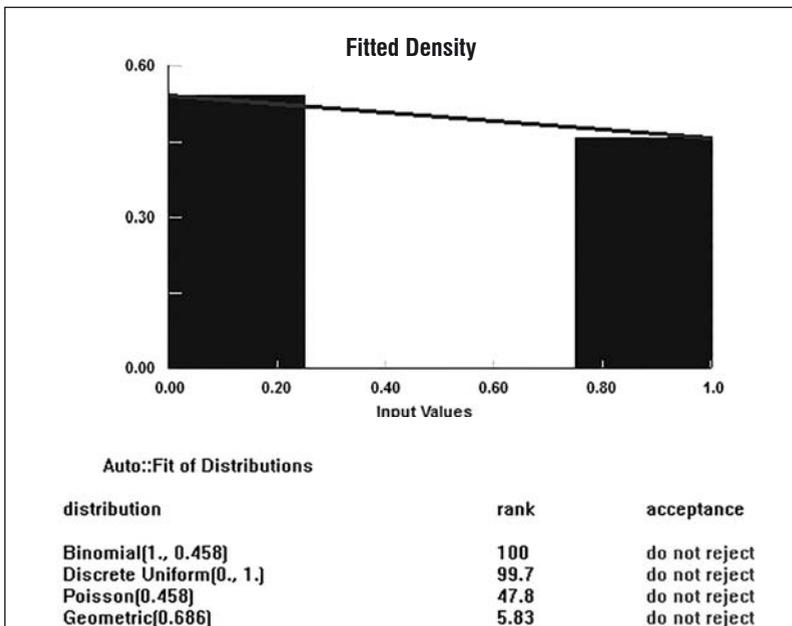
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por Sexo 1 Hembra 0 Macho ≤ 0 y > 0 es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	,964	Conserve la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Precio por litro de leche

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

	PrecioLt
Chi-cuadrado	11,000
gl	11
Sig. asintótica	,443

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Mes

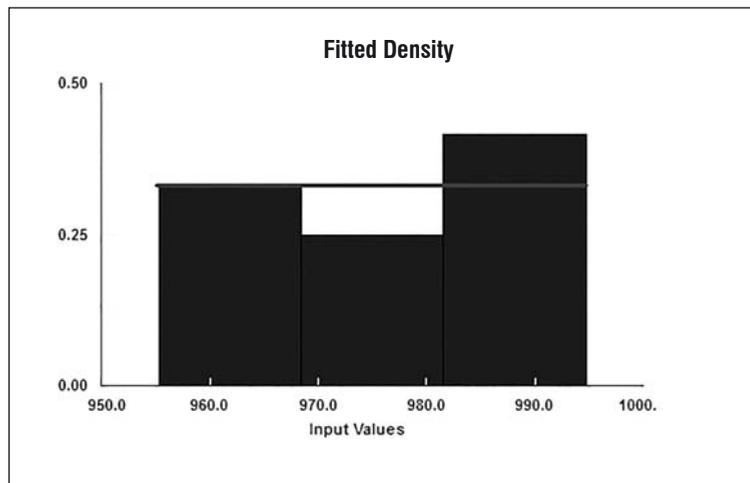
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La secuencia de valores definida por Precio Lt $\leq 985,00$ y $> 985,00$ es aleatoria	Prueba de rachas para una muestra	,051	Conserve la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

- Prueba de bondad y ajuste



Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Uniform(955. 995)	100	do not reject
Rayleigh(955.17.3)	87.3	do not reject
Power Function(955. 996. 0.852)	71.5	do not reject
Weibull(955.1.26. 22.1) Beta(955. 995. 0.775. 0.981)	50.2	do not reject
Loglogistic(955.1.44.16.8)	43.8	do not reject
Triangular(955.1.01e+003. 955)	38.9	do not reject
Lognormal1(955. 2.53. 1.42)	22.9	do not reject
Pearson 5(955. 0.417.1.09)	14.5	do not reject
Johnson SB	0.611	reject
	no fit	reject



SERVICIO NACIONAL
DE APRENDIZAJE

Centro de Biotecnología Agropecuaria - Mosquera

Regional Cundinamarca

Dirección: Km 7 Vía Bogotá - Mosquera

Teléfono: 57 (1) 546 23 23 Ext. 17963

Página web: <http://www.sena.edu.co/es-co/regionales/zonaAndina/Paginas/cundinamarca.aspx>

<http://senabiotecnologia.blogspot.com.co/>

Email: revistacbasiembra@sena.edu.co

ISBN 978-958-48-1528-6

