

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN PARA EL SECTOR DE MEDIANOS
PRODUCTORES DE LECHE CRUDA EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA

JEIMMY ALEJANDRA OSPINA GARZÓN 20091015088

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2015

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN PARA EL SECTOR DE MEDIANOS
PRODUCTORES DE LECHE CRUDA EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA

JEIMMY ALEJANDRA OSPINA GARZÓN 20091015088

Trabajo de grado en modalidad MONOGRAFÍA para optar el título de:
Ingeniera Industrial

Director
MSc. Ing. Feizar Javier Rueda Velasco

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.

2015

AGRADECIMENTOS

Expreso mis afectivos agradecimientos a:

Mis padres y mi hermana por ser el pilar que mueve todas mis acciones, sueños y metas, por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, y por cada uno de los aportes que ellos me brindaron para la realización de este trabajo.

A todo el personal de Ganadería del CBA, en especial a la Médica Veterinaria Tatiana Ocampo por brindarme la oportunidad y el placer de aprender sobre su trabajo, por su disposición para conmigo y por el conocimiento transferido. Al Docente Feizar Rueda por su asesoría oportuna y disponibilidad durante este proceso.

Especial agradecimiento a cada uno de mis compañeros y amigos que hicieron parte tanto del proceso académico como del personal en la Universidad, por darme momentos de valioso aprendizaje para la mente y el espíritu.

Por último agradecimientos a la Universidad Distrital Francisco José, institución que me ha ofrecido experiencias memorables y magníficas en todos los aspectos de mi vida.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1. ASPECTOS GENERALES | 14 |
| 1.1 TÍTULO..... | 14 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 14 |
| 1.3 HIPÓTESIS | 15 |
| 1.4 ANTECEDENTES..... | 16 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN | 26 |
| 1.6 OBJETIVOS | 27 |
| 1.6.1 Objetivo General | 27 |
| 1.6.2 Objetivos específicos | 27 |
| 2. MARCO REFERENCIAL..... | 28 |
| 2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN UNA FINCA DE GANADO LECHERO | 28 |
| 2.2 DINÁMICA DE SISTEMAS..... | 32 |
| 3. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 37 |
| 3.1 GENERALIDADES | 37 |
| 3.1.1 Población | 37 |
| 3.1.2 Caso de estudio | 37 |
| 3.1.3 Horizonte temporal..... | 37 |
| 3.1.4 Variables de desempeño | 38 |
| 3.1.5 Fuentes de información | 38 |
| 3.1.6 Herramientas | 38 |
| 3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO | 39 |
| 3.2.1 Indagación y estructura preliminar | 41 |
| 3.2.2 Observación y definición de la estructura del sistema real | 41 |
| 3.2.3 Formulación y programación del modelo | 42 |
| 3.2.4 Análisis del comportamiento del sistema actual..... | 44 |
| 3.2.5 Planteamiento de mejoras | 44 |

| | |
|--|----|
| 3.2.6 Análisis del sistema propuesto..... | 44 |
| 4. SISTEMA PRODUCTIVO DEL HATO DE MEDIANOS PRODUCTORES DE LECHE CRUDA EN CUNDINAMARCA: FINCA SAN PEDRO CBA | 45 |
| 4.1 TÉRMINOS | 45 |
| 4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FINCA | 45 |
| 4.3 ANALISIS DE DATOS DE ENTRADA | 48 |
| 4.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ACTUAL Y VARIABLES CLAVE | 52 |
| 4.4.1 Lactancia y ordeño (Proceso) | 52 |
| 4.4.2 Alimentación (Entrada) | 55 |
| 4.4.3 Salud preventiva (Entrada) | 56 |
| 4.4.4 Mastitis (Entrada)..... | 60 |
| 4.4.5 Vaca (Proceso) | 62 |
| 4.4.6 Leche (Producto - Salida) | 65 |
| 4.4.7 Ventas en pie (Salida)..... | 67 |
| 5. FORMULACIÓN DEL MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS QUE REPRESENTA EL SISTEMA ACTUAL..... | 68 |
| 5.1 DIAGRAMAS CAUSALES | 68 |
| 5.2 DIAGRAMAS DE FORRESTER | 70 |
| 5.2.1 Dinámica biológica de la unidad animal | 71 |
| 5.2.2 Dinámica del producto - leche producida | 78 |
| 5.2.3 Evaluación económica | 80 |
| 5.3 VALIDACIÓN DEL MODELO | 81 |
| 6. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL..... | 83 |
| 6.1 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES..... | 83 |
| 6.1.1 Nivel del hato | 83 |
| 6.1.2 Pérdidas..... | 84 |
| 6.1.3 Análisis de los indicadores de viabilidad económica..... | 85 |
| 6.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... | 87 |
| 6.2.1 Desempeño reproductivo | 88 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.2 Tasas de aborto y mortinatos | 89 |
| 7. ESTRATEGÍAS DE PRODUCCIÓN PROPUESTAS PARA EL SISTEMA PRODUCTIVO | 91 |
| 7.1 ESTRATEGÍA PARA LA ESTABILIDAD DEL NIVEL DEL HATO | 91 |
| 7.1.1 Planteamiento de la política de descarte por reproducción | 91 |
| 7.1.2 Resultados de la implementación de la política | 92 |
| 7.2 ESTRATEGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS | 93 |
| 7.2.1 Planteamiento de la programación de desparasitación individual | 94 |
| 7.2.2 Resultados de la implementación de la programación individual | 95 |
| 7.3 ESTRATEGIA AUMENTO NIVEL DEL HATO | 97 |
| 7.3.1 Planteamiento de la compra programada | 98 |
| 7.3.2 Resultados de la compra programada | 99 |
| 8. CONCLUSIONES | 104 |
| 8.1 DINÁMICA DE SISTEMAS Y SU APLICACIÓN A LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE HATOS LECHEROS | 104 |
| 8.2 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL | 104 |
| 8.3 ESTRATEGÍAS DE PRODUCCIÓN | 105 |
| 8.4 IMPACTO DE LAS ESTRATEGÍAS DE PRODUCCIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO FINANCIERO | 106 |
| 9. RECOMENDACIONES | 107 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA | 108 |
| 11. ANEXOS | 112 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Antecedentes | 19 |
| Tabla 2. Segmentación de las explotaciones ganaderas por tamaño del hato | 37 |
| Tabla 3. Herramientas de Software | 39 |
| Tabla 4. Inventario animal | 46 |
| Tabla 5. Razas | 47 |
| Tabla 6. Etapas de lactancia y parámetros | 49 |
| Tabla 7. Mastitis y parámetros | 49 |
| Tabla 8. Concepción y parámetros. | 50 |
| Tabla 9. Aborto y parámetros | 50 |
| Tabla 10. Supervivencia del neonato y parámetros. | 50 |
| Tabla 11. Sexo de la cría y parámetros | 51 |
| Tabla 12. Precio del litro de leche y parámetros. | 51 |
| Tabla 13. Costo de limpieza del equipo de ordeño | 54 |
| Tabla 14. Cuadro de alimentación para el ganado | 55 |
| Tabla 15. Precios unitarios de concentrados y sal | 56 |
| Tabla 16. Vacunación y dosis | 57 |
| Tabla 17. Precios vacunas | 57 |
| Tabla 18. Dosis y frecuencia de desparasitantes | 58 |
| Tabla 19. Precio de desparasitantes | 59 |
| Tabla 20. Pesticidas, cantidad y frecuencia | 60 |
| Tabla 21. Precio de pesticidas | 60 |
| Tabla 22. Honorarios del personal. | 67 |
| Tabla 23. Validación - errores porcentuales | 82 |
| Tabla 24. Rentabilidad proyectada. | 87 |
| Tabla 25. Estructura del cronograma individual desparasitación hato. | 94 |
| Tabla 26. Etapa de lactancia y retiros con la programación individual | 95 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 27. Reducción de pérdidas con programación individual. | 97 |
| Tabla 28. Rentabilidad - política propuesta de descarte y programación individual de desparasitación..... | 98 |
| Tabla 29. Rentabilidad - compra programada..... | 101 |
| Tabla 30. Financiación compra de novillas | 101 |
| Tabla 31. Rentabilidad - compra programada y financiación. | 102 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Proceso finca lechera. | 28 |
| Figura 2. Diagrama de Forrester ejemplo | 34 |
| Figura 3. Diagrama causal ejemplo | 34 |
| Figura 4. Bucle de retroalimentación positiva. | 35 |
| Figura 5. Bucle de retroalimentación negativa. | 36 |
| Figura 6. Estructura metodológica general | 40 |
| Figura 7. Observación y definición de la estructura del sistema. | 41 |
| Figura 8. Estructura de la formulación del modelo. | 43 |
| Figura 9. Estructura del proceso productivo..... | 52 |
| Figura 10. Diagrama causal de la estructura productiva de leche. | 69 |
| Figura 11. Diagrama causal financiero. | 70 |
| Figura 12. Diagrama de Forrester parto y nacimiento..... | 71 |
| Figura 13. Diagrama de Forrester maduración. | 72 |
| Figura 14. Diagrama de Forrester primera reproducción. | 73 |
| Figura 15. Diagrama de Forrester gestación..... | 74 |
| Figura 16. Diagrama de Forrester horro..... | 74 |
| Figura 17. Diagrama de Forrester manga. | 75 |
| Figura 18. Diagrama de Forrester lactancia..... | 76 |
| Figura 19. Diagrama de Forrester reproducción post-lactancia | 77 |
| Figura 20. Diagrama de Forrester leche producida..... | 79 |
| Figura 21. Diagrama de Forrester evaluación económica. | 80 |
| Figura 22. Diagrama de Forrester ingreso por venta de leche..... | 81 |
| Figura 23. Resultados prueba t para validación | 82 |
| Figura 24. Comportamiento nivel del hato. | 83 |
| Figura 25. Pérdidas anuales de leche..... | 85 |
| Figura 26. Costos anuales. | 86 |

| | |
|--|-----|
| Figura 27. Análisis de sensibilidad desempeño reproductivo..... | 88 |
| Figura 28. Análisis de sensibilidad probabilidad de aborto | 89 |
| Figura 29. Análisis de sensibilidad probabilidad de mortinato..... | 90 |
| Figura 30. Nivel del hato con la nueva política de descarte | 93 |
| Figura 31. Estructura de la programación actual de desparasitación hato. * | 94 |
| Figura 32. Comparación pérdida por desparasitación. | 96 |
| Figura 33. Nivel del hato - compra programada..... | 100 |

LISTADO DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Análisis de datos de entrada..... | 112 |
|--|-----|

INTRODUCCIÓN

La producción de leche cruda es uno de los sectores de mayor participación en el ámbito agropecuario del país, originando más de 500 mil empleos, superando incluso los generados por la industria dedicada al procesamiento de productos lácteos, destacándose el Altiplano Cundiboyacense entre las regiones con mayor número de productores especializados en sector agroindustrial (Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, 2013).

A pesar de ser una actividad productiva relevante en la economía nacional y regional, las dificultades relacionadas con la ausencia de ganancias, precios bajos y altos costos de producción que no son contrarrestados por los ingresos, 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 de leche importada (Valenzuela, 2014), ya que industrias extranjeras mantienen una estructura de producción con niveles de costo por unidad inferiores al precio que puede producir una finca local.

Mantener rentable una finca de ganado lechero, puede iniciar 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, son animales cuyo comportamiento está ligado a condiciones biológicas, pero aún así sigue procesos de entrada de insumos (alimentos, medicinas), transformación (concepción, gestación, lactancia, crecimiento) y salidas (nacimientos, leche, descarte). Si se sigue la premisa anterior, mejorar esta estructura implicaría también mejores niveles de producción y costos adecuados para los ingresos a obtener.

El presente trabajo plantea la construcción de un modelo de simulación por medio de dinámica de sistemas representando el comportamiento del sistema actual de producción de leche cruda de medianos productores en Cundinamarca a través de las condiciones y prácticas observadas en el área de Ganadería de Finca San Pedro perteneciente al Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA con ubicación en el municipio de Mosquera. El objetivo de la representación es analizar variables de producción y viabilidad económica para posteriormente

determinar las mejoras desde la perspectiva de planeación y programación de la producción, y evaluar el impacto del nuevo sistema propuesto.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 TÍTULO

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN PARA EL SECTOR DE MEDIANOS PRODUCTORES DE LECHE CRUDA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo al Departamento de Planeación Nacional en su Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano de 2010, uno de los principales desafíos que debe enfrentar este sector está relacionado con bajar los altos costos de producción en finca y mejorar la competitividad frente a los mercados internacionales (Conpes, 2010). Problemas en las metodologías de producción generan el bajo margen de ganancia que se obtiene por litro vendido a industrias lácteas, lo cual es la principal inconformidad de los productores de leche cruda en el país.

Los más afectados por los bajos precios y las brechas de competitividad productiva del mercado son pequeños y medianos productores, quienes representan la mayoría de los ganaderos de leche del país (Sánchez, 2014). A razón de estas dificultades los productores lecheros se unieron al paro agrario que tuvo lugar en el 2013, a causa principalmente de la caída de los precios de la leche (Valenzuela, 2014).

Campesinos de municipios cundinamarqueses como Ubaté (Capital lechera de Colombia), se enfrentan a una crisis económica por la inviabilidad financiera de su actividad y muchos de ellos han quebrado por la relación negativa entre precio de venta y costos de producción (Valenzuela, 2014).

Como apoyo para los productores, Fedegan ha publicado cartillas para la planeación de forrajes (Solarte, Gonzalez, Manzano, Murgueitio, & Uribe, 2013) y guías de sistemas de soporte de decisiones para implementar programas de

monta (Ospina, Camacho, Jiménez, & Bernal, 2012). Dentro de las publicaciones académicas que buscan mejorar los sistemas de productivos a través del desarrollo de modelos encaminados a generar estrategias de producción de leche cruda se abordan temas como pronósticos de demanda y producción (Schmit & Kaiser, 2006), alimentación del hato, cultivos de pasto y forrajes (Doole & Romera, 2013), dinámica biológica dentro de procesos de gestación, lactancia y enfermedades (Cha et al., 2014), y políticas de reemplazo (Delorenzo & Thomas, 1996).

Sin embargo, tanto las guías de Fedegan como los artículos científicos, abordan los temas de la producción aisladamente o con un relacionamiento parcial lo cual no permite desarrollar el análisis del sistema productivo en su totalidad. No existe una integración completa de todos los componentes para articular una estrategia de planeación y producción que vincule además una evaluación económica y financiera de la producción de leche cruda.

1.3 HIPÓTESIS

Mediante estrategias basadas en la planeación y programación de la producción, se podrá mejorar el rendimiento financiero del sistema productivo del hato lechero de medianos ganaderos en Cundinamarca, incrementando y manteniendo la estabilidad de la producción y el inventario animal.

1.4 ANTECEDENTES

Estrategias de producción de la leche cruda de vaca han sido abordadas desde la alimentación del ganado hasta la gestión del estiércol, a continuación se enuncian publicaciones relacionadas de acuerdo al segmento productivo tratado y el modelo matemático propuesto. La revisión de antecedentes se puede visualizar en la Tabla 1.

Alimentación del hato

La Minimización de costos de alimentación es abordada en la investigación realizada por Henry et al. (1995) sobre estrategias de gestión de los nutrientes óptimos para fincas productoras de leche. Utilizando programación lineal los autores determinan decisiones sobre la cantidad de cada tipo de alimento a suministrar en un periodo de tiempo definido, en consecuencia el área asignada para cada tipo de cultivo responsable del abastecimiento de alimentos depende de las necesidades de nutrientes y de los costos asociados.

Coléno y Duru (1999) proponen un modelo de asignación del área de cultivo de acuerdo a cada periodo de pastoreo, incluyendo las necesidades de alimentación del ganado y el comportamiento del crecimiento del pasto a través de simulaciones basadas en condiciones climáticas de primavera.

La alimentación descrita como un sistema se evidencia en el trabajo de Modin-Edman, Öborn y Sverdrup (2007). Los autores utilizan dinámica de sistemas para describir y comparar los modelos de nutrición orgánico y convencional, midiendo el impacto de cada uno en las concentraciones de fósforo, todo lo anterior teniendo en cuenta la cantidad y composición nutricional necesaria para el ganado de acuerdo a la curva de lactancia, producción de leche y peso vivo del animal, junto con la medición de densidad poblacional a través del tiempo con parámetros de tasa de nacimiento, reemplazo y venta de novillas.

Para Doole y Romera (2013) el balance de energía demandada en contraposición con la energía a suministrar es el factor clave para minimizar los costos de alimentación. Por medio de programación no lineal y datos determinísticos de ingesta potencias, factores de digestibilidad y demanda de energía metabolizable,

se determinan las políticas de pastoreo referente a áreas y corte para ensilaje, incluyendo además decisión sobre los niveles residuales de biomasa.

Dinámica biológica del hato (reproducción, reemplazo y salud)

La programación dinámica es empleada por varios autores para la toma de decisiones respecto a la reproducción y reemplazo del hato. DeLorenzo, Spren, Bryan, Beede y Van Arendonk (1992) construyeron un modelo de programación dinámica estocástica cuyo objetivo es maximizar el valor presente neto de lo esperado en cada estado posible de cada vaca, cuyas posibles decisiones sobre el animal es mantener, mantener e inseminar o reemplazar, todo de acuerdo al estado en el cual se encuentre (paridad, nivel de producción, mes de parto, mes de lactancia o días abiertos); las probabilidades de concepción, de cambio de nivel de producción y de supervivencia en los meses de lactancia son parámetros fundamentales del modelo. La maximización de los ingresos actuales netos de las vacas es la meta del modelo estocástico de Kalantari, Mehrabani-Yeganeh, Moradi, Sanders y De Vries (2010), a través de la programación dinámica tomando decisión sobre el estado de cada animal, pero incluyendo además la rentabilidad futura y el costo de una novilla de reemplazo.

Groenendaal, Galligan y Mulder (2004) también hacen uso de la programación dinámica, pero en este caso maximizar el valor de retorno del reemplazo de las vacas es su foco objetivo, el modelo determina el tiempo óptimo de sustitución cuando se presenta el primer periodo de tiempo en el cual el valor de la anualidad de la vaca cae por debajo del valor de la anualidad máxima del animal de reemplazo.

Modelos de dinámica de sistemas sobre la dinámica biológica fueron desarrollados por Guimarães, Tedeschi y Rodrigues (2009) y Stephens et al. (2012). Los primeros realizaron el modelo en base a la biología de cabras lecheras, analizando la cantidad de animales que se deben encontrar en gestación, lactancia o en proceso de reemplazo en un periodo de tiempo determinado aumentando los niveles de ingreso producto de la venta (directa o a industrias) de leche y de animales; datos de tiempo de madurez, gestación y lactancia, ratios de producción de leche, fertilidad, mortalidad en nacimientos y ración de nutrientes para la alimentación son parámetros necesarios para el desarrollo de este modelo matemático. Mientras que los autores nombrados en segunda instancia utilizan dinámica de sistemas para describir el comportamiento biológico del ganado, como lo es el seguimiento de la cantidad de animales, estados fisiológico,

productividad y sus necesidades de alimentación, además incluye en el análisis la dinámica del suelo y la gestión de residuos de la finca con el objetivo de observar el flujo de dinero.

La mastitis como principal afección de las vacas productoras de leche es un estado del animal determinante para Cha et al. (2014), por lo cual toma como objetivo de su modelo de programación dinámica la minimización de los costos de cada patógeno de mastitis para determinar estrategias de reemplazo e inseminación.

Sistema total

Por ahora se ha tratado el sistema productivo de leche cruda de manera segmentada (alimentación y dinámica biológica del hato), pero autores como Delorenzo y Thomas (1996) realizaron la compilación de modelos (simulación y programación dinámica en su mayoría) usados para la planeación económica y financiera de la producción lechera, teniendo en cuenta datos de producción de leche y de alimentos, comportamientos de reproducción y reemplazo, costos e ingresos provenientes del sistema productivo. Hart, Larcombe, Sherlock y Smith (1998) realizaron un algoritmo genético del sistema integrando aspectos como el estado de las vacas, la disponibilidad de pastos, la cantidad de energía consumida por alimentación, la producción de leche de las vacas junto con los cambios en la cantidad de grasa corporal de estas y el precio de la leche cruda en el mercado. La minimización de costos por medio de la programación lineal considerando niveles y precios de la producción, costos (mano de obra, insumos veterinarios y cultivos), políticas de reemplazo y raciones de alimentos es objeto de estudio del trabajo de Schmit, Boisvert, Enahoro y Chase (2009).

Tedeschi, Nicholson y Rich (2011), y Setianto, Cameron y Gaughan (2014) recurren a modelos de dinámica de sistemas para relacionar tanto alimentación como políticas de reemplazo y reproducción del ganado. Los primeros tienen como objetivo la medición del impacto del cambio tecnológico en la finca y de las políticas de subsidio, mientras que los segundos solo abordan el impacto de los subsidios estatales en el sistema productivo.

Por último, la decisión de inversión en tecnología para la producción de leche cruda es modelada con programación dinámica por Van Asseldonk, Huirne, Dijkhuizen y Beulens (1999) de acuerdo a costos de inversión y de mantenimiento.

Tabla 1. Antecedentes

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|---|-------------------------|-----------------------------|---|--|---|---|
| Forecasting Fluid Milk and Cheese Demands for the Next Decade | (Schmit & Kaiser, 2006) | Pronóstico demanda | Pronóstico de la demanda Pronóstico del precio en granja | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio de de toda la leche ▪ Precio por ración ▪ Demanda ▪ Precio masacre de la vaca ▪ Suministro rezagado por la rigidez en los ajustes de producción | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Regulaciones federales del precio de la leche ▪ Crecimiento demográfico | <p>Análisis demográfico</p> <p>Econometría</p> |
| Milk production estimates using feed forward artificial neural networks | (Sanzogni & Kerr, 2001) | Pronóstico de la producción | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Producción por finca al año | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Numero de vacas (promedio de vacas ordeñadas por día/año) ▪ Energía de los concentrados (Megajulios/grano) ▪ Nitrógeno, Potasio y Fósforo (Kg de fertilizante/año) ▪ Total heno y/o forraje (Kg/año) ▪ Área total de la finca (Hectáreas) | <p>Regresión lineal múltiple</p> <p>Redes neurales artificiales</p> |
| A model to find and test decision rules for turnout date and grazing area allocation for a dairy cow system in spring | (Coléno & Duru, 1999) | Alimentación-Pastoreo | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Área asignada a cada periodo de pastoreo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesidades de alimentación de las vacas ▪ Pasto disponible por área (g/m²) ▪ Crecimiento diario del pasto (g/m²) | Simulación |

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|---|--|-------------------------|---|--|--|--|
| Detailed description of grazing systems using nonlinear optimization methods: A model of a pasture-based New Zealand dairy farm | (Doole & Romera, 2013) | Alimentación-Pastoreo | Minimizar costos Balancear la energía demandada con la energía suministrada | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Numero de cada tipo de vaca (estado) ▪ Área de pastoreo ▪ Corte de área para la conservación del ensilaje ▪ Niveles residuales de biomasa asociada a cada una de estas decisiones | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Factor de convertir lo digestible en energía ▪ Ingesta potencial ▪ Demanda de energía metabolizable ▪ Peso vivo ▪ Tasa de concepción en cada período | Programación no lineal Sistema determinístico |
| Determining Optimal Nutrient Management Strategies for Dairy Farms | (Henry et al., 1995) | Alimentación-Pastoreo | Minimizar los costos de alimentación | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kilogramo de cada tipo de alimento en cada periodo ▪ Área cultivada de cada tipo de cultivo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de los cultivos ▪ Peso de nutrientes ▪ Calorías y otras características de los nutrientes | Programación lineal |
| FARMFLOW-A dynamic model for phosphorus mass flow, simulating conventional and organic management of a Swedish dairy farm | (Modin-Edman, Öborn, & Sverdrup, 2007) | Alimentación-Nutrientes | Comparación de un modelo orgánico con un modelo convencional y su impacto en las concentraciones de Fósforo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentración de Fósforo en alimentos y desechos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nacimientos ▪ Reemplazos ▪ Venta de novillas ▪ Regulación de densidad animal ▪ Composición alimentario de acuerdo a curva de lactancia, producción de leche y el peso vivo ▪ Promedio de producción de leche por vaca | Dinámica de sistemas |

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|---|--|---|--|--|--|-----------------------|
| Optimal insemination and replacement decisions to minimize the cost of pathogen-specific clinical mastitis in dairy cows. | (Cha et al., 2014) | Salud - Mastitis Reemplazo Reproducción | Minimizar el costo de cada patógeno específico de mastitis | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reemplazar, Mantener ▪ Estado de cada vaca (Incluye estado en la enfermedad) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo de mastitis | Programación dinámica |
| Development of a mathematical model to study the impacts of production and management policies on the herd dynamics and profitability of dairy goats | (Guimarães, Tedeschi, & Rodrigues, 2009) | Dinámica biológica de ganado— Gestación, lactancia Reemplazo (cabras) | <p>Ingresos por venta de leche y animales</p> <p>(Tanto venta directa como venta a la industria)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cantidad de animales en gestación y en lactancia en un periodo de tiempo ▪ Política de reemplazo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempo de gestación ▪ Tiempo de lactancia ▪ Ratio de producción de leche y fertilidad ▪ Tasa de mortalidad en nacimientos ▪ Ración de nutrientes en alimento | Dinámica de sistemas |
| Modeling the impact of natural resource-based poverty traps on food security in Kenya: The Crops, Livestock and Soils in Smallholder Economic Systems model | (Stephens et al., 2012) | Dinámica biológica del ganado Dinámica del suelo | Flujo de dinero | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dinámica de nutrientes del suelo ▪ La dinámica biológica del ganado (cantidad, estado fisiológico, productividad y alimentación) ▪ Producción de leche ▪ Residuos | | Dinámica de sistemas |

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|--|---|---------------------------|---|---|--|--|
| Optimizing Model: Insemination, Replacement, Seasonal Production, and Cash | (DeLorenzo, Spreen, Bryan, Beede, & Van Arendonk, 1992) | Reproducción Reemplazo | Maximizar el valor presente neto de lo esperado en cada estado | <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Variable de decisión:</u> Mantener-mantener e inseminar-reemplazar. ▪ <u>Variable de estado:</u> Estado de la vaca en un tiempo (paridad, nivel de producción; mes de parto; mes de lactancia; días abiertos) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probabilidad de concepción ▪ Probabilidad de cambio de nivel de producción ▪ Probabilidad de supervivencia después del parto en los meses de lactancia | Programación dinámica Sistema estocástico |
| Determining the optimum replacement policy for Holstein dairy herds in Iran. | (Kalantari, Mehrabani-Yeganeh, Moradi, Sanders, & De Vries, 2010) | Reemplazo | Maximización de los valores actuales de los ingresos netos de vacas | <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Variable de decisión:</u> Mantener, reemplazar ▪ <u>Variable de estado:</u> Estado de la vaca en un periodo de tiempo ▪ Rentabilidad futura ▪ Retención de amortización | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probabilidad de sacrificio involuntario ▪ Probabilidad de cambiar de estado ▪ Probabilidad de reemplazar una novilla en cierto estado de producción ▪ Costo de una novilla de reemplazo ▪ Probabilidad de concepción ▪ Probabilidad de supervivencia (1-probabilidad de sacrificio) | Programación dinámica Sistema estocástico |

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|---|---|----------------------------|--|--|--|---|
| An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. | (Groenendaal, Galligan, & Mulder, 2004) | Reemplazo | Valor de retorno del reemplazo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El tiempo óptimo de sustitución | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probabilidad de supervivencia ▪ Producción láctea ▪ Costo de alimentación | Programación dinámica |
| Dairy Records and Models for Economic and Financial Planning | (Delorenzo & Thomas, 1996) | Todo el sistema productivo | Compilación de modelos usados en la planeación económica y financiera de la producción lechera | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos de la producción de leche ▪ Producción de los alimentos ▪ Comportamientos de reproducción y reemplazo ▪ Costos de producción (alimentación, reemplazo y otros) ▪ Ingreso de producción | Artículo de revisión Simulación Programación dinámica |
| Optimisation techniques for a computer simulation of a pastoral dairy farm | (Hart et al., 1998) | Todo el sistema productivo | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Variable de decisión:</u> Número de vacas en cada estado ▪ Pasto disponible ▪ Cantidad de energía consumida por pastos y alimentos ▪ Producción de leche y los cambios en la condición de las vacas (cantidad de grasa corporal) ▪ Precio de la leche | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Curvas de crecimiento del pasto ▪ Digestibilidad del pasto consumido ▪ Energía utilizada por la vaca (mantenimiento, embarazo, crecimiento, producción de leche, condiciones corporales) | Algoritmo genético |

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|---|-------------------------|----------------------------|---|--|--|----------------------|
| Optimal dairy farm adjustments to increased utilization of corn distillers dried grains with solubles. | (Schmit et al., 2009) | Todo el sistema productivo | Minimizar los costos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nivel de producción ▪ Compra de insumos ▪ Política de reemplazo ▪ Raciones de los alimentos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio de la leche ▪ Precio de los ingredientes de los alimentos ▪ Costo de mano de obra, fertilizantes y combustibles ▪ Costos de reproducción, servicios veterinarios, servicios públicos ▪ Costo de cultivos(semillas, análisis de suelo, cal, reparación, mantenimiento, almacenamiento) | Programación lineal |
| Using System Dynamics modelling approach to develop management tools for animal production with emphasis on small ruminants | (Tedeschi et al., 2011) | Todo el sistema productivo | Impacto de cambio tecnológico y políticas de subsidio | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dinámica de la gestación, lactancia y reproducción ▪ Dinámicas del suelo y cultivos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Información de nutrición, producción, y de gestión del estiércol ▪ Precio de venta de leche ▪ Costos de producción | Dinámica de sistemas |

| TITULO | AUTOR | FASE | OBJETIVO | VARIABLES | PARÁMETROS | MODELO |
|---|------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|
| Identifying Archetypes of an Enhanced System Dynamics Causal Loop Diagram in Pursuit of Strategies to Improve Smallholder Beef Farming in Java, Indonesia | (Setianto et al., 2014) | Todo el sistema productivo | Impacto de política de subsidio | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alimentos disponibles ▪ Nacimientos ▪ Ingresos ▪ Política de Reemplazo ▪ Ganado importado ▪ Mejora en el ganado ▪ Gestión de residuos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Demanda ▪ Precios de alimentos ▪ Necesidades de la finca ▪ Créditos y subsidios | Dinámica de sistemas |
| Dynamic programming to determine optimum investments in information technology on dairy farms | (Van Asseldonk et al., 1999) | Inversión en tecnología | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No invertir, mantener la inversión, o reinvertir en determinado periodo de tiempo | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de inversión ▪ Costos de mantenimiento | Programación dinámica Sistema Determinístico |
| Transforming an agricultural trade organization: A system-dynamics-based intervention | (Weber & Schwaninger, 2002) | Distribución de la leche | Evaluación económica de estrategias de distribución | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intensidad productiva ▪ Suministros de insumos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de distribución ▪ Precios al consumidor ▪ Información del competidor ▪ Demandas ▪ Tiempos de entrega, empaque y transporte | Dinámica de sistemas |

Fuente: Elaboración propia.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El Ministerio de Agricultura a través de su informe Coyuntura Leche del primer trimestre de 2013, indica que el sector lácteo tuvo una participación del 0,9 % en el PIB del 2012, y el DANE estimó que aproximadamente 578.000 empleos dependen de la producción de leche cruda en el territorio nacional (Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, 2013). Adicionalmente, el consumo de leche per cápita en Colombia fue de 143 litros durante el 2014 y aunque este consumo se ha mantenido estable durante los dos últimos años con un aumento de un litro por año, desde la década de los 90 hasta la actualidad el aumento ha sido de 28 litros por persona aproximadamente (Contexto Ganadero, 2015).

A pesar de que el sector lácteo es relevante a nivel nacional solo se encuentra focalizado en determinadas regiones y tipos de productores. El Consejo Nacional Lácteo, en su Acuerdo de Competitividad del 2010 indica que en Colombia el eslabón primario especializado de la cadena láctea se concentra en las regiones de Nariño, el Suroriente Antioqueño y el Altiplano Cundiboyacense (Fedegan, 2010), siendo este último el primer productor con un 20% de la producción nacional (Consejo Nacional Lácteo, 2010). Además, la producción lechera en finca se caracteriza principalmente por la gran cantidad de medianos productores (Sánchez, 2014). Son ellos entonces los más afectados por los bajos precios y las brechas de competitividad productiva del mercado.

Por consiguiente el eslabón primario del sector lácteo (leche cruda) constituye una fuente importante productiva y económica del país, y como cualquier otro proceso productivo requiere la formulación de estrategias encaminadas a la eficiencia de las operaciones para con ello cumplir objetivos tanto económicos (costos e ingresos) como aquellos relacionados con la productividad. No es suficiente entonces tratar de resolver planteamientos de manera segmentada al aislar los componentes necesarios para la producción de leche, entendiendo que funciona como un sistema cuyos subprocesos están interrelacionados.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Generar estrategias encaminadas a la planeación y programación de producción del hato para el sector de medianos productores de leche cruda en el departamento de Cundinamarca por medio de dinámica de sistemas, con el fin de mejorar el rendimiento financiero del proceso productivo.

1.6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema actual de producción de medianos productores de leche cruda.
- Formular estrategias de producción basados en la planeación y programación del hato.
- Evaluar el impacto sobre el rendimiento financiero de las estrategias formuladas.

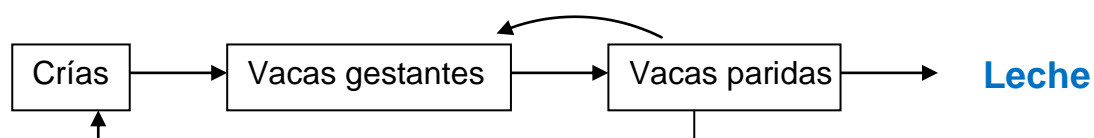
2. MARCO REFERENCIAL

MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN UNA FINCA DE GANADO LECHERO

El objetivo de una finca de ganado lechero es el de producir partos que generen tanto crías como el inicio de la lactancia (Subsecretaría de Desarrollo Rural, 2013) como lo ilustra la Figura 1, para obtener el producto **leche**. Por tanto la vaca debe pasar por ciclos de reproducción y de lactancia (Castro Ramírez, 2002) descritos a continuación.

Figura 1. Proceso finca lechera.



Fuente: Elaboración propia basado en (Subsecretaría de Desarrollo Rural, 2013).

Proceso reproductivo

- Ciclo estral

Es el periodo entre la aparición de los celos, entendiéndose este último término como el momento el cuál las hembras con madurez reproductiva son receptivas sexualmente y dan lugar a la ovulación. La frecuencia de presencia de celo es en promedio cada 21 días con una duración aproximada de 18 horas (La Torre, 2001).

Dentro del ciclo se identifican cuatro etapas (Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de 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 donde la pared rasgada del folículo que queda en la superficie del ovario desarrolla el cuerpo lúteo.

Etapa 4: Diestro

Dura de 12 a 15 días, aquí el cuerpo lúteo es grande y totalmente funcional.

- Monta e inseminación

Es la acción que permite la fecundación de la vaca para su preñez, para lo cual deben presentarse primero las siguientes condiciones (SENA, 1985):

Condiciones de edad

Se recomienda realizar las primeras inseminaciones o montas a los 18 y 24 meses de edad de la vaca.

Condición de peso corporal

Los órganos genitales estarán aptos para la preñez entre los 250 y los 380 kilos, según la raza.

Aunque en ganaderías de leche especializada no se recomienda criar machos por el costo de la crianza, es posible el uso de monta, que se refiere a la fertilización natural por el toro. Existen varios tipos de monta (SENA, 1985):

Monta natural

Se tiene el macho en el potrero con los demás animales, pero este proceso dificulta el control reproductivo y de fertilidad.

Monta controlada

Para este procedimiento se mantienen 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.

El proceso de monta esta dado por los siguientes pasos:

1. Detectar la vaca en celo
2. Trasladar la vaca al corral de monta
3. Preparar y sujetar bien al toro
4. Acercar el toro a la vaca
5. Dejar que el toro monte a la vaca hasta dos veces.

Además de la monta, se tiene la opción de realizar inseminación artificial. Este es el método más usado en fincas lecheras, ya que no es necesaria la cría de un toro y los costos disminuyen, además de las ventajas desde el punto de vista zootécnico y sanitario. Los siguientes son los pasos para realizar una inseminación artificial (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 determina su estado.
3. *Momento de la inseminación:* 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**

El tiempo de gestación de una vaca es en promedio de 279 a 290 días (La Torre, 2001). Durante este periodo las necesidades alimentarias son distintas y se debe tener un control veterinario periódico.

Proceso productivo

Este proceso comienza en el momento del inicio de la lactancia de la vaca recién parida y termina con el secado de la misma (Castro Ramírez, 2002).

- **Lactancia**

Una vaca puede lactar aproximadamente por 305 días luego de un parto (La Torre, 2001).

- **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 con el 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. 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, posteriormente esta 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).

Costos

- Costos variables

Los costos del proceso de producción de leche están asociados principalmente a materias primas como alimentos concentrados, sales, medicinas, mano de obra y servicios como agua y electricidad (Castro Ramírez, 2002).

- Costos fijos

Dentro de los costos fijos se incluyen aquellos relacionados con el terreno y mantenimiento de equipos (Castro Ramírez, 2002).

2.2 DINÁMICA DE SISTEMAS

Antes de definir que es dinámica de sistemas, se debe tener claro que es un sistema en este contexto.

Sistema

Es un ente conformado por un conjunto de partes con relaciones establecidas que las articula como una unidad, implicando cierta complejidad ya que está formado por partes en interacción, además de que es sujeto de ambientes cambiantes. Un sistema dinámico es entonces, en una definición formal, un conjunto de estados y reglas que describen como varían esos estados en el tiempo (Aracil & Gordillo, 1997).

Definición de dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es una herramienta basada y fundamentada en la teoría general de sistemas, su pionero es Jay W. Forrester (Fernández, 2005). 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 (Fernández, 2005).

Elementos de la dinámica de sistemas

- Diagramas de Forrester

Los diagramas de Forrester (ver Figura 2) son representaciones de las variables y sus relaciones a través de los siguientes elementos (Fernández, 2005):

Nube: Fuente inagotable

Nivel: Acumulación de flujos

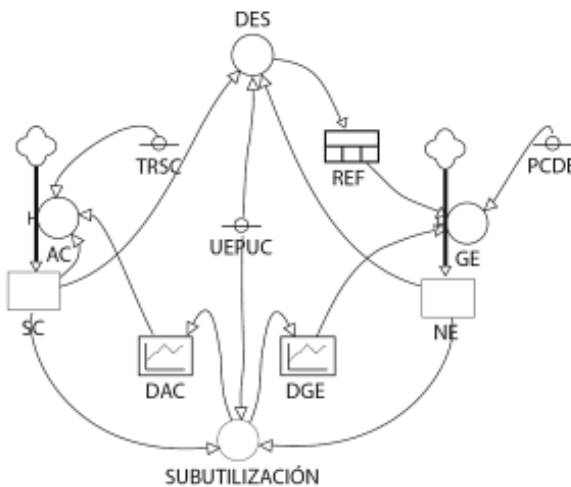
Flujo: entrada o salida que cambia el estado del sistema y varía el nivel

Parámetro: Valor constante

Variable auxiliar: Cantidad con significado físico

Demora: Simula los retrasos en el flujo de material o información

Figura 2. Diagrama de Forrester ejemplo

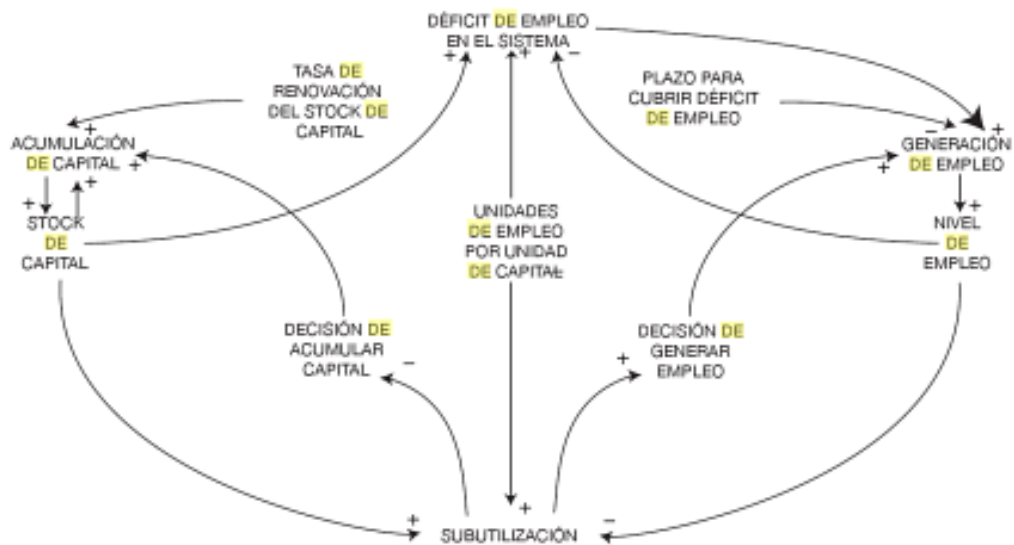


Fuente: Javier Fernández en “Sistemas organizacionales. Teoría y práctica”.

- Diagramas causales

Representan la estructura del sistema de acuerdo a sus variables y relaciones entre ellas (ver Figura 3).

Figura 3. Diagrama causal ejemplo



Fuente: Fuente: Javier Fernández en “Sistemas organizacionales. Teoría y práctica”.

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

Relación causal: Una variable determina a otra con relación causa a efecto.

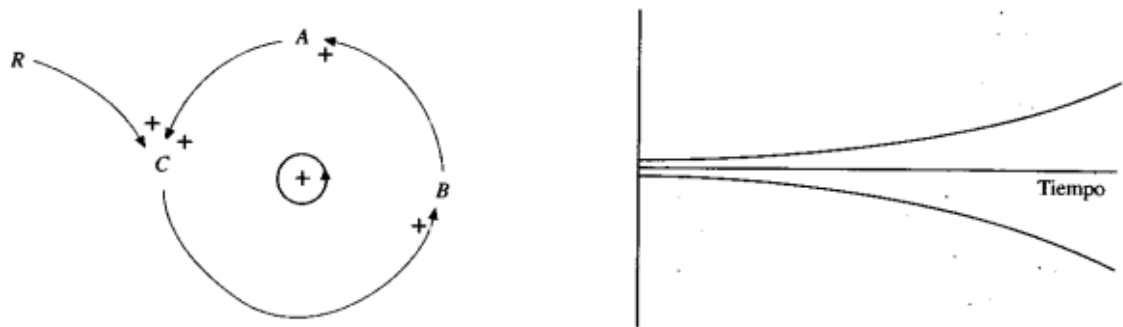
Relación correlativa: Correlación entre dos variables del sistema sin que exista una relación causa efecto.

- Bucles

Aracil los define como las “cadenas de influencias circulares cerradas, cuya presencia permite explicar determinadas formas del comportamiento, que son específicas a la propia de la estructura, es independiente de las sollicitaciones exteriores a las que se ve sometido el sistema”, en consecuencia, los bucles permiten la construcción base de un lenguaje sistémico (1997). Los siguientes son sus elementos básicos:

Bucle de retroalimentación positiva: La variación de un elemento se propaga reforzando la variación inicial (ver Figura 4).

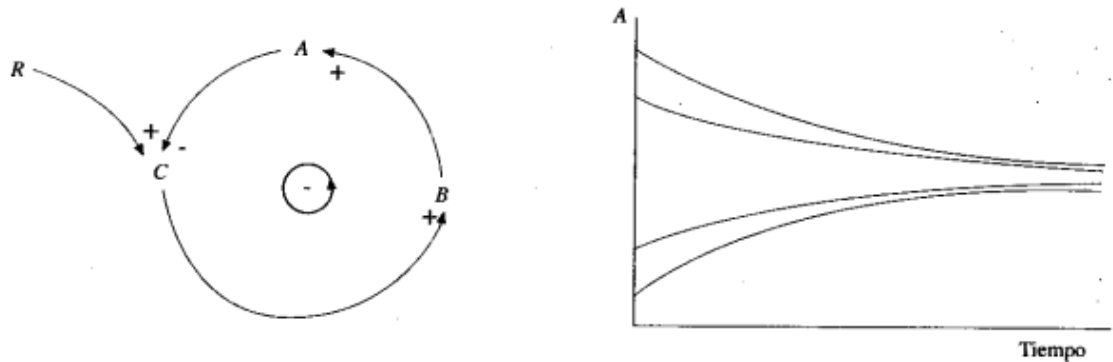
Figura 4. Bucle de retroalimentación positiva.



Fuente: Javier Aracil y Francisco Gordillo en “Dinámica de sistemas”.

Bucle de retroalimentación negativa: La variación de un elemento se propaga contrarrestando la variación inicial, para crear un equilibrio (Fernández, 2005).

Figura 5. Bucle de retroalimentación negativa.



Fuente: Javier Aracil y Francisco Gordillo en “Dinámica de sistemas”.

Aplicaciones y usos de la dinámica de sistemas

Aunque en sus inicios, la dinámica de sistemas fue una herramienta exclusiva para el análisis de comportamientos de sistemas industriales, a mediados de los años sesenta el campo de acción aumenta entrando en el estudio de la dinámica urbana, representando las interacciones de magnitudes socioeconómicas y permitiendo la visualización de la evolución de otras variables como densidad poblacional, para luego analizar los resultados y obtener una mejor planificación del área estudiada. Por este y otros campos como el análisis del cambio climático, la dinámica de sistemas es un método que se puede considerar como universal (Aracil & Gordillo, 1997).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Población

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

En la Tabla 2 se encuentra la segmentación por tamaño en la región del Altiplano Cundiboyacense de acuerdo al número de vacas productoras o lactantes (Fedegan & SENA, 2103).

Tabla 2. Segmentación de las explotaciones ganaderas por tamaño del hato

| Número de cabezas | Altiplano Cundiboyacense |
|-------------------|--------------------------|
| Pequeños | <12 |
| Medianos | 12 a 55 |
| Grandes | >55 |

Fuente: FEDEGAN

3.1.2 Caso de estudio

Para el análisis de datos y formulación del modelo se utilizará la información y 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 en promedio con aproximadamente 50 vacas especializadas en producción de leche en su hato.

3.1.3 Horizonte temporal

De acuerdo con los estándares utilizados por la Finca San Pedro, la edad media productiva 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)

iniciando. Por disponibilidad de datos y registros, se realizó la validación del modelo con el año comprendido entre Junio de 2014 y Mayo de 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, ya que este proceso se caracteriza por tener aspectos biológicos de periodos de tiempo casi anuales, con lo cual las decisiones tienen efecto años posteriores a la toma de estas.

3.1.4 Variables de desempeño

Los indicadores del desempeño del sistema productivo de una finca lechera están determinados (además de la rentabilidad económica) por el número de animales productivos en el hato y que son las unidades centrales de la producción, que a su vez son el factor determinante de la cantidad en litros de leche producida para venta (salida y objeto del proceso productivo).

3.1.5 Fuentes de información

La estructura de la producción y los datos introducidos en el modelo fueron tomados de la Finca San Pedro del CBA. Documentos de proveedores, registros históricos manuales y digitales, información otorgada por interrogación continua con la Veterinaria Tatiana Ocampo (responsable de ganadería) y datos extraídos del software implementado en la finca “Dairy Plan” son las principales fuentes de información.

3.1.6 Herramientas

En el presente trabajo se entiende como herramientas aquellos software utilizados para el procesamiento de datos, análisis y modelamiento del sistema.

Tabla 3. Herramientas de Software

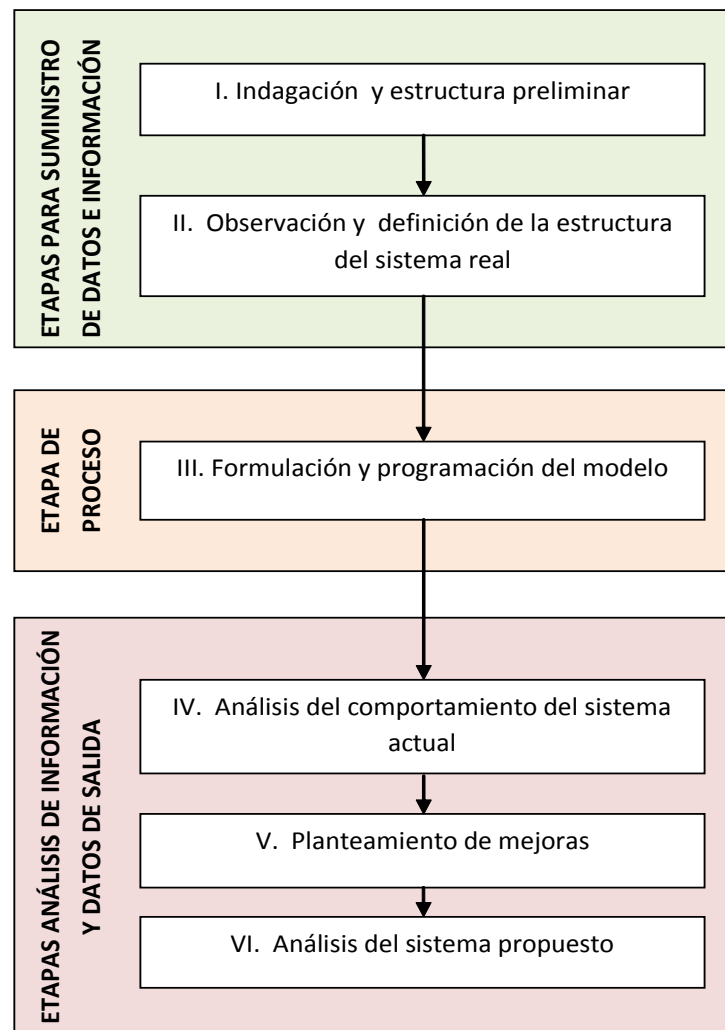
| Software | Uso |
|-----------------|---|
| SPSS | Análisis de datos de entrada Validación |
| Excel | Digitalización de datos y procesamiento de los mismos |
| Vensim PLE | Modelo de dinámica de sistemas del sistema actual Modelo de dinámica de sistemas del sistema propuesto |
| StatFit | Análisis de datos de entrada |

Fuente: Elaboración propia.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

El planteamiento de simulaciones en tiempo continuo por medio de dinámica de sistemas de este 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 6 se describen las etapas del desarrollo del modelo y el símil que se realiza con la estructura de un proceso (entradas, proceso, salidas).

Figura 6. Estructura metodológica general



Fuente: Elaboración propia.

Etapas para suministro de datos e información

Comprende las etapas que tienen como objetivo la recopilación y análisis de información que permita conceptualizar el sistema en un modelo y brinde además, los datos necesarios para definir los valores de parámetros. Se definieron en estas etapas también las variables, los parámetros clave y la estructura general del sistema.

3.2.1 Indagación y estructura preliminar

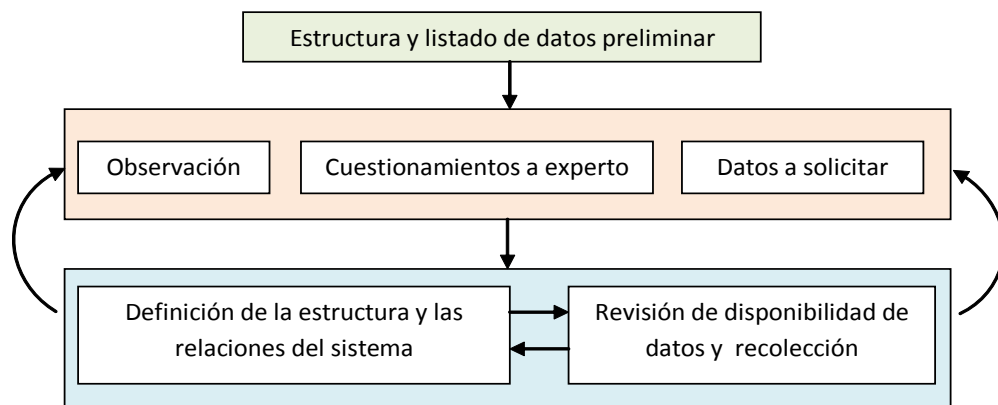
Se realizó una revisión bibliográfica de textos relacionados con la descripción del proceso productivo de leche cruda como análisis preliminar de la estructura de producción para identificar posibles variables, parámetros y relaciones, además de plantear preguntas para el experto del sistema. Las preguntas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

Respecto a referencias de modelos similares se determinaron relaciones que apliquen a este caso y pudieran ser adaptadas a las condiciones que se observaron.

3.2.2 Observación y definición de la estructura del sistema real

De acuerdo a Banks, en esta etapa se debe observar el sistema real, las relaciones entre sus componentes y recolectar los datos obtenidos de su comportamiento, destacando la importancia de las cuestiones al personal familiar con el sistema (Banks et al., 2009), contrastando y modificando los conceptos preliminares de la etapa anterior. En la Figura 7 se ilustra el procedimiento de esta etapa.

Figura 7. Observación y definición de la estructura del sistema.



Fuente: Adaptado de (Banks et al., 2009)

El objetivo fue 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 fue iterativo, iniciando con los conceptos adquiridos en la etapa anterior, seguido de las observaciones, los cuestionamientos y la solicitud de datos; las respuestas e información obtenida generan nuevas dudas que retroalimentan la definición del sistema.

Etapas de proceso

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

3.2.3 Formulación y programación del modelo

La Figura 8 muestra el procedimiento de la etapa de formulación y programación del modelo, donde los datos e información obtenida de la observación y cuestionamientos de la etapa precedente son las entradas para modelar el sistema y simular su comportamiento futuro.

- **Análisis de entrada**

Los datos obtenidos fueron analizados para determinar los valores de los parámetros definidos en la estructura del sistema, identificando su naturaleza (estocástica, determinística, serie de tiempo, etc.), además se definieron supuestos sobre los parámetros.

- **Diagramas causales y de Forrester**

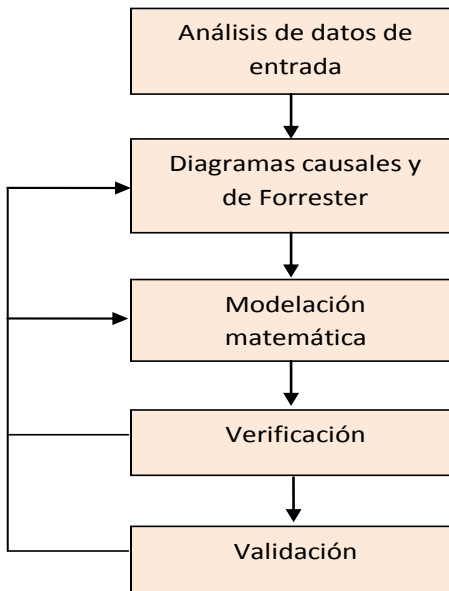
Con los supuestos y la estructura definida se realizaron los diagramas causales y de Forrester que representen las relaciones del sistema real. Esta diagramación se realizó modularmente, separando subprocesos para facilitar el seguimiento en la verificación y validación.

- **Modelación matemática**

Se estableció el sistema de ecuaciones que satisface el comportamiento de las variables y sus relaciones. Módulo a módulo se introdujeron las expresiones matemáticas, realizando una verificación constante con el método del rastro

(Banks et al., 2009), introduciendo valores iniciales fáciles de rastrear en su comportamiento para asegurar una abstracción correcta del sistema. Cuando las ecuaciones representaron el comportamiento real se ingresaron los valores reales y se procedió a simular.

Figura 8. Estructura de la formulación del modelo.



Fuente: Elaboración propia.

- Verificación

Se realizó continuamente durante la diagramación y el modelamiento matemático por cada módulo, cuando el resultado de la verificación concluyó que el modelo no es una abstracción correcta del comportamiento actual se realizó una búsqueda del error para ser corregido y de nuevo se verificó.

- Validación

Evaluar la validez del modelo, los supuestos y la confiabilidad de los datos junto con su correcto análisis se realizó con algo que Banks denomina “predecir el pasado” (Banks et al., 2009). Se tomaron valores históricos de una o más variables de desempeño y se compararon con los resultados obtenidos de la simulación verificada durante ese mismo periodo con los mismos datos de entrada; ya que las variables del proceso productivo del hato lechero cambian con el tiempo se analizó como una serie.

Cuando el proceso de esta etapa no ratificó la validez del modelo como una representación aceptable del sistema real, se realizó una búsqueda de errores de abstracción, supuestos o análisis de datos de entrada.

Etapas análisis de información y datos de salida

El comportamiento futuro y la información de este es el producto del modelamiento, se realizó entonces el análisis a estos datos y se propusieron modificaciones al sistema con el objetivo de mejorar los valores de los indicadores de desempeño.

3.2.4 Análisis del comportamiento del sistema actual

Con la información del comportamiento futuro del sistema proporcionada por la simulación se analizaron las tendencias de las variables de desempeño con las condiciones actuales, y posteriormente se realizaron análisis de sensibilidad con las posibles variables que tengan impacto (Guimarães et al., 2009), con el objetivo de elegir los focos de las políticas de mejora.

3.2.5 Planteamiento de mejoras

Se inició la propuesta de políticas de programación y planeación del hato directamente relacionadas con las variables identificadas en el análisis de sensibilidad. Las propuestas fueron formuladas en el modelo siguiendo la estructura de la Etapa III hasta obtener una verificación con concepto aceptable.

3.2.6 Análisis del sistema propuesto

Los datos de resultado de las variables de desempeño de la simulación del modelo propuesto fueron analizados en su comportamiento y tendencia futura, evaluando el impacto de las políticas sugeridas y la mejora brindada al sistema.

4. SISTEMA PRODUCTIVO DEL HATO DE MEDIANOS PRODUCTORES DE LECHE CRUDA EN CUNDINAMARCA: FINCA SAN PEDRO CBA

4.1 TÉRMINOS

Antes de describir el sistema actual se definen los siguientes términos que serán mencionados continuamente en el trabajo.

- Hato: Hace referencia al número de vacas en etapa de lactancia.
- Vaca seca: Siempre que se mencionen los términos secado y vaca seca se refiere al periodo en el cuál la etapa de lactancia ha finalizado, y por consecuente existe ausencia de producción de leche por parte del animal.
- Retiro: Acción de desechar la leche producida en los periodos así denominados, debido a que no es apta para la venta de consumo humano.
- Venta en pie: Venta de ganado vivo.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FINCA

El sistema productivo esta representado por la estructura establecida en La Finca San Pedro de Centro de Biotecnología Agropecuaria perteneciente a la infraestructura del SENA, por lo tanto su actividad tiene fines académicos, pero además cumple funciones productivas. 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 de su producción lechera.

- Ubicación

La finca se ubica en el kilómetro 7 vía Mosquera en el departamento de Cundinamarca.

- Potreros y grupos del ganado bovino

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

Machos: Crías machos hasta el tercer mes de edad.

Cría: Hembras desde el nacimiento hasta el tercer mes de edad.

Levante1: Terneras desde el tercer hasta el noveno mes de edad.

Levante2: Terneras desde el noveno mes de edad hasta preñez o descarte por deficiencia reproductiva.

Horro: Vacas preñadas y vacas secas.

Manga: Ocho días antes de la fecha prevista del parto la vaca es ingresada al grupo manga y sale ocho días después del alumbramiento.

- Inventario animal bovino por grupos:

En la Tabla 4 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 con el tiempo.

Tabla 4. Inventario animal

| Grupo o potrero | Número de animales |
|--------------------------------|--------------------|
| Machos | 0 |
| Crías | 9 |
| Hato | 56 |
| Horro | 27 |
| Levante1 | 14 |
| Levante2 | 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 como se observa en la Tabla 5 (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

Tabla 5. Razas

| 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 de “Análisis de Datos de Entrada” se concluye la homogeneidad de los datos sin hacer una separación por razas.

4.3 ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Recolección de datos

La recolección de datos cuantitativos para la determinación de los valores de parámetros y variables identificadas se realizó a través de registros de la finca e información contenida en la bases de datos del equipo de ordeño “Dairy Plan”, posteriormente fueron analizados aquellos datos que no fueran determinísticos.

Análisis de entrada

Los detalles de las pruebas de homogeneidad, independencia y bondad de ajuste se encuentran en el Anexo1. El nivel de confianza es del 95% y para el análisis de homogeneidad se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis en SPSS, ya que no se puede asumir normalidad de los datos, para bondad y ajuste se hizo uso de StatFit.

- 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 se supone que la tasa de producción depende de la etapa de lactancia de la vaca (DeLorenzo et al., 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 6 se muestran los parámetros y las distribuciones a las que se ajustan las etapas de lactancia.

Tabla 6. Etapas de lactancia y parámetros

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

Fuente: Elaboración propia.

- Presencia de Mastitis

Ya que esta enfermedad sólo 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 7).

Tabla 7. 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 8. Concepción y parámetros.

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Aborto y parámetros.

| Concepto | Distribución de probabilidad | Parámetros | |
|-----------------------|------------------------------|------------|-------|
| Parto (1), Aborto (0) | Binomial | n | 1 |
| | | 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 10. Supervivencia del neonato y parámetros.

| Concepto | Distribución de probabilidad | Parámetros | |
|----------------------------------|------------------------------|------------|-------|
| Superviviente (1), Mortinato (0) | Binomial | n | 1 |
| | | p | 0,976 |

Fuente: Elaboración propia.

- Sexo de la cría

En la Tabla 11 se observan los parámetros y la distribución a la cual se ajusta el sexo de los nacimientos.

Tabla 11. Sexo de la cría y parámetros

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

Fuente: Elaboración propia.

- Precio del litro de leche cruda

El precio por litro no es fijo, varía ya que está determinado por aspectos como la composición química de la leche (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). Los datos fueron suministrados por el área de producción del CBA, tomados de los registros de los precios pagados por Colanta semanalmente.

Tabla 12. Precio del litro de leche y parámetros.

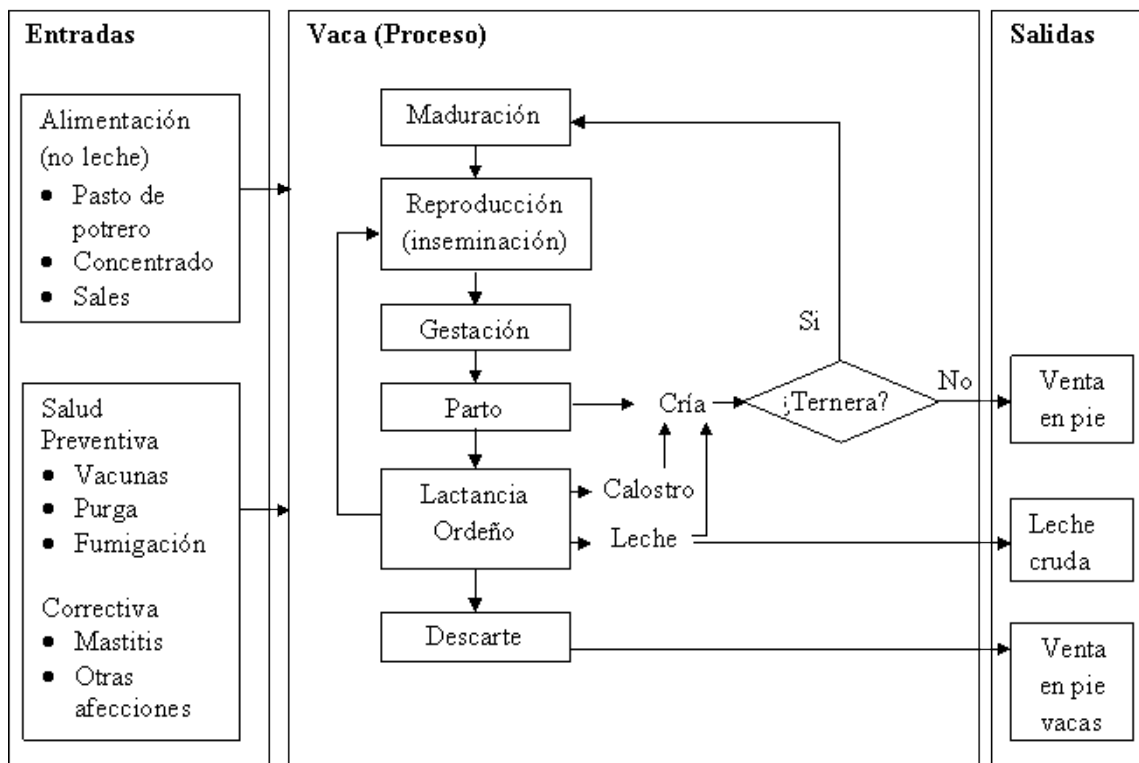
| Concepto | Distribución de probabilidad | Parámetros | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------|-----|
| | | min | 955 |
| Precio por litro de leche (\$/Lt) | Uniforme | máx. | 995 |
| | | | |

Fuente: Elaboración propia.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ACTUAL Y VARIABLES CLAVE

Para identificar las variables clave y conceptos a tener en cuenta en el sistema (Stermán, 2000) se realizó el siguiente diagrama de proceso de acuerdo a lo descrito y observado en la Finca.

Figura 9. Estructura del proceso productivo.



Fuente: Elaboración propia.

Modulando el sistema en subprocesos a partir del diagrama de la estructura de la producción se identificaron los parámetros, costos y variables claves, con sus respectivos valores:

4.4.1 Lactancia y ordeño (Proceso)

Ya que esta etapa hace referencia a la esencia de la producción será analizada en primera instancia para dar coherencia al resto de características y aspectos del sistema.

Parámetros

- Etapas de lactancia y su respectiva tasa de producción.

El hato no tiene una tasa de producción constante durante el periodo 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 de “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA”, allí 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 haber transcurrido el parto se inicia el ordeño con fines de producción, antes de estos 8 días la vaca produce calostro y leche que es necesaria para la formación y crecimiento de los terneros.

- Frecuencia de ordeño.

Se ordeña el hato **dos veces al día**, el primer turno alrededor de las 2 am y el segundo a las 2pm. El proceso se realiza automáticamente con la maquinaria de ordeño.

- Duración de la lactancia.

La lactancia dura como máximo **300 días** desde el inicio del ordeño. Si la vaca se encuentra en el tercer trimestre y su producción diaria (dos ordeños) es **inferior a 4 Lt** se procede a secar con medicamentos, y si la vaca se encuentra en estado de gestación se seca **60 días** antes de la fecha prevista del parto para la recuperación del animal.

Costos

Todos los costos y precios enunciados son tomados del año 2014, se mantienen constantes durante del horizonte de planeación considerando precios reales para el análisis, puesto que este 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 esta prendido un aproximado de 5 horas al día por lo tanto el

consumo diario seria de **\$ 2.017,557 pesos** de acuerdo a la información suministrada por el proveedor (Dimap Soluciones SAS, 2015).

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

- Costo de limpieza del equipo

La limpieza se realiza de acuerdo al procedimiento para el lavado del equipo de ordeño (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014b), el cuál contiene el ciclo de desinfección pre ordeño: agua fría por 60 litros por 120 ml de sanitizante clorado, y se debe realizar media hora antes del ordeño si el tanque esta vacío; y el ciclo de desinfección post ordeño: consiste en un ciclo de detergente alcalino clorado con agua por 60 litros y 180 ml del detergente y el ciclo detergente ácido con agua por 60 litros por 120 ml de detergente, esto se realiza luego del vaciado del tanque. En la Tabla 13 se encuentran los precios y costos asociados a esta actividad.

Tabla 13. Costo de limpieza del equipo de ordeño

| Descripción | Producto | Unidad (ml/limpieza) | Unidad de venta (ml) | Valor unitario (\$/ml) | Costo por limpieza |
|--|-----------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| Limpieza pre-ordeño | Agua | 60000 | | \$ 0,0019 | \$ 115,45 |
| | Sanitizante clorado | 120 | 18927 | \$ 3,22 | \$ 386,75 |
| Limpieza post-ordeño | Agua | 60000 | | \$ 0,0019 | \$ 115,45 |
| | Detergente alcalino clorado | 180 | 18927 | \$ 8,03 | \$ 1.445,17 |
| | Agua | 60000 | | \$ 0,0019 | \$ 115,45 |
| | Detergente ácido | 120 | 18927 | \$ 9,81 | \$ 1.176,73 |
| Costo total por vaciado de tanque | | | | | \$ 3.355,01 |

Fuente: Adaptado Costos Dimap Soluciones.

- Costo de mantenimiento del equipo de ordeño.

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

Variables

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

4.4.2 Alimentación (Entrada)

Costo 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 áreas del CBA especializadas, y el agua de riego proviene sin costo del Río Bogotá.

Concentrado y sales

Parametros

- Cantidad y tipo de concentrado o sal suministrado diariamente a cada unidad animal de acuerdo a su estado y edad.

La alimentación en base a concentrados y sales para el ganado se realiza de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 14. Cuadro de alimentación para el ganado

| Fase | Tipo de alimento | Cantidad | Unidad |
|---|--------------------------|----------|--------|
| Cría (0 a 3 meses de edad) | Concentrado Criaternera | 500 | gr/día |
| Cría (0 a 3 meses de edad) | Sal | 30 | gr/día |
| Cría (0 a 2 meses de edad) | Leche | 4 | Lt/día |
| Cría (3 meses de edad) | Leche | 2 | Lt/día |
| Levante 1 (3 a 9 meses) | Concentrado Supernovilla | 1 | Kg/día |
| Levante 1 (3 a 9 meses) | Sal | 50 | gr/día |
| Levante 2 (9 meses hasta preñez) | Concentrado Cremosa | 1 | Kg/día |
| Levante 2 (9 meses hasta preñez) | Sal | 100 | gr/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 | gr/día |

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Costos

- Costo de cada tipo de alimentación.

Para este costo se identifica el parámetro de precio por peso de cada tipo de concentrado o sal (costo variable) como lo ilustra la siguiente tabla.

Tabla 15. Precios unitarios de concentrados y sal.

| Descripción | Unidad | Valor Unit |
|--------------------------|---------------|------------|
| 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.

Variables

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

4.4.3 Salud preventiva (Entrada)

Vacunas

Parámetros

- Tipo de vacunas, cantidad y dosis necesarias por estado de vaca.

Se aplican solamente las vacunas de enfermedades de control oficial, Aftosa y Brucelosis (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). La vacunación se realiza de acuerdo al ciclo programado por el ICA para la zona como se visualiza en la siguiente tabla y ninguna de estas tiene retiro de leche.

Tabla 16. Vacunación y dosis

| Vacuna | Dosis | Estado de la Vaca | 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: Adaptado Fedegan.

Costos

- Costo por cada tipo de vacunación.

El parámetro asociado es el precio de cada tipo vacuna de acuerdo al ICA (“Breves Económicas,” 2014).

Tabla 17. Precios vacunas

| 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

Variables

- Número de vacas vacunadas (Antiaftosa y/o Brucelosis) en un determinado tiempo.

Desparasitación

Parámetros

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

De acuerdo al plan sanitario se deben desparasitar cada tres meses todas las vacas (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a). En la siguiente tabla se muestran el medicamento, las dosis y la frecuencia para este procedimiento.

Tabla 18. Dosis y frecuencia de desparasitantes

| Desparasitante | Cant | Und | Retiro de leche | Estado de la vaca | 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.

Costo

- Costo de purga.

El parámetro asociado es el precio unitario de cada desparasitante descrito en la Tabla 19 (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014a).

Tabla 19. Precio 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 a desparasitar en el tiempo destinado para esta actividad.
- Cantidad de leche en litros retirados por desparasitación en un tiempo determinado.

Fumigación y Pesticidas

Parámetros

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

De acuerdo al plan sanitario el control de mosca se realiza con Triatox y para otros controles de insectos se usan las caravanas insecticidas. Los parámetros se encuentran en la Tabla 20 (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a).

Tabla 20. Pesticidas, cantidad y frecuencia

| Concepto | Descripción | Cant | Unidad | Retiro de leche | Estado de la vaca | Frecuencia |
|------------------|------------------------|------|-----------|-----------------|-------------------|---------------------|
| Control de mosca | Triatox | 30 | ml/5vacas | 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.

Costos

- Costo de control de mosca y caravanas.

El parámetro asociado es el precio unitario de cada tipo de pesticida como se indica en la Tabla 21 (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014a).

Tabla 21. Precio de pesticidas

| Descripción | Unidad | Valor unitario |
|-----------------------|---------------|----------------|
| Triatox | Frasco 1 Lt | \$ 145.000 |
| Caravana insecticidas | Caja 100 unds | \$ 892.500 |

Fuente: Centro de Biotecnología Agropecuaria SENA.

Variables

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

4.4.4 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), afectando la producción debido al retiro de leche producto de la aplicación de tratamientos con medicamentos.

Parámetros

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

En base a 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 con respecto al 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 de “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA”, allí se encuentra el procedimiento que se utilizó 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” para identificar los animales afectados por la enfermedad. Esta prueba se lleva a cabo cada 21 días al hato completo (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013b).

Costos

- Costo de los medicamentos utilizados para el tratamiento de mastitis

Aquellas unidades 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. Por lo anterior 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.

4.4.5 Vaca (Proceso)

El animal como unidad productiva esta sujeto a varias etapas determinadas por el comportamiento biológico. El crecimiento, la maduración reproductiva y la terminación de su ciclo productivo estan referidos a continuación.

Maduración

El subproceso de maduración se refiere al crecimiento de la vaca hasta llegar a su etapa reproductiva.

Parámetros

- Tiempo necesario para alcanzar la fase reproductiva de las hembras.

La veterinaria de la Finca San Pedro considera la edad de **2 años** como apta para iniciar la fase reproductiva de las novillas.

- Tiempo de mantención de machos antes de su venta.

Según el plan sanitario, el destete es a partir de los **3 meses**, luego de este tiempo el ternero puede ser vendido (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2013a).

Reproducción

Tiene en cuenta procesos de celo, inseminación y concepción.

Parámetros

- Frecuencia del celo.

La veterinaria Tatiana Ocampo indica que los animales de la finca presentan celo cada **18 a 23 días** y con duración de un día. Para efectos de simplificación se toma un celo mensual.

- Aparición del celo luego de un parto.

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

- Tiempo de espera luego de la inseminación para confirmar preñez.

La veterinaria indica que se realiza la confirmación de preñez a los **60 días** posteriores a la inseminación.

- Probabilidad de concepción luego de inseminar.

Esta información se halló en la sección de “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA”, encontrando que para este caso la homogeneidad de los datos permiten suponer que la probabilidad en cada inseminación no varía en relación con el 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 para inseminar a las vacas, cuyo valor unitario es de **\$ 86.000** (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014a).

Variables

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

Gestación

Hace alusión al proceso que se inicia desde la confirmación de preñez hasta el parto o aborto.

Parámetros

- Tiempo de gestación

El tiempo de gestación es considerado una demora al formular el proceso productivo a través de dinámica de sistemas, por lo 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

En base al 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 halló en la sección de “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA”, allí se encuentra el procedimiento que se utilizó y los resultados.

Variables

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

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 halló en la sección de “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA” y allí se encuentra el procedimiento que se utilizó.

- Probabilidad de que la cría sea hembra

Esta información se halló en la sección de “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA”, allí 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.

Descarte

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

Parámetros

Las siguientes son las razones para llevar a descarte vacas de 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 es la presencia de una enfermedad mortal o una que no permita la libre movilidad del animal, pero estas afecciones son poco probables en las condiciones actuales de acuerdo a los registros de la finca y no impactan en 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.

4.4.6 Leche (Producto - Salida)

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 por pedido de las pasteurizadoras es de 72 horas en la finca (Dimap Soluciones SAS, 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). Ya que el objetivo 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 una vez aproximadamente día de por medio durante todo el año y realiza el pago semanalmente.

- 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 calidad sanitaria del proveedor y otras bonificaciones voluntarias. Ya que el precio unitario es variable por lo mencionado anteriormente, se realizó en el “ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA” el estudio de la variación del parámetro.

Costos

Son incluidos aquí los costos administrativos.

- Honorarios del personal.

El personal esta compuesto por un trabajador pecuario, quién designa 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 Tabla 22 se

encuentran los valores del salario mensual del personal de Ganadería de la Finca San Pedro (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

Tabla 22. Honorarios del personal.

| 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.

Variables

- Ingresos en dinero por venta de leche.

4.4.7 Ventas en pie (Salida)

El Centro de Biotecnología Agropecuario no esta autorizado para sacrificar ganado bovino, por lo cuál 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** 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** conforme a los registros de bajas de la finca (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c).

5. FORMULACIÓN DEL MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS QUE REPRESENTA EL SISTEMA ACTUAL

La estructura de producción del hato de medianos productores de leche cruda de Cundinamarca estará representado por el sistema productivo observado en la Finca San Pedro del CBA. En consecuencia con los objetivos del presente trabajo se conceptualiza el sistema mencionado a través de dinámica de sistemas para evaluar el comportamiento de las variables de desempeño de 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.

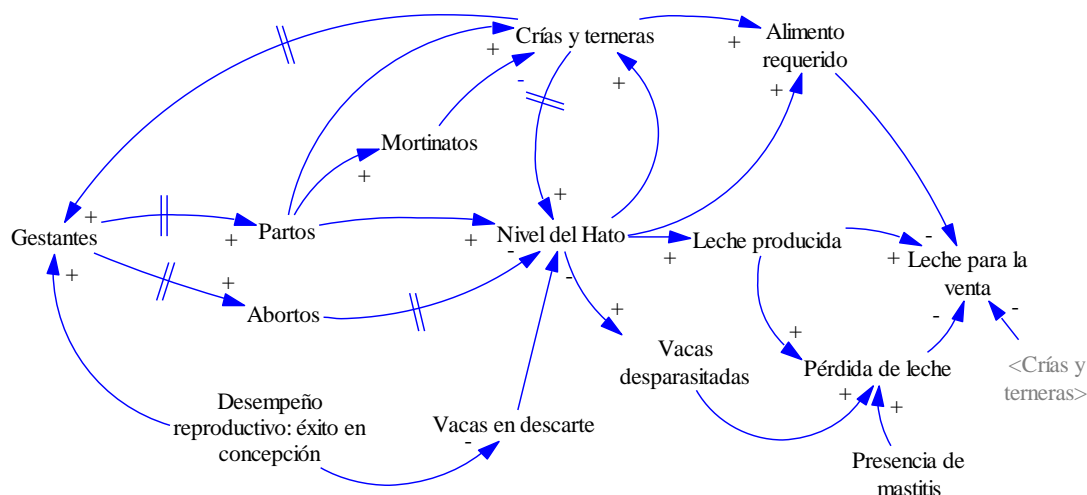
Las unidades de tiempo son meses y el intervalo de tiempo de simulación es 0,033 (diario) debido a la naturaleza diaria de la producción de leche y tiempos de crecimiento y reproducción mensuales de la unidad animal.

5.1 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, pero 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.

Una vez definida la estructura productiva, los parámetros y las variables claves se identifican las relaciones causales principales entre las variables (Figura 10).

Figura 10. Diagrama causal de la estructura productiva de leche.

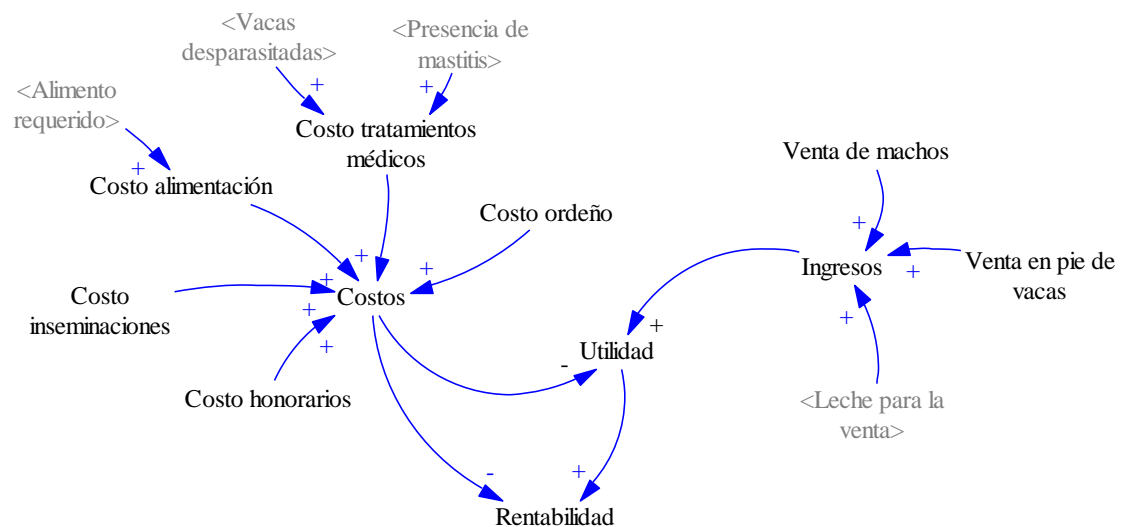


Fuente: Elaboración propia.

El diagrama causal anterior muestra las variables y las relaciones de la producción, donde se evidencia que los partos son producto de concepciones exitosas que obedecen al desempeño reproductivo, con lo cual un mejor desempeño significa mayor número de gestantes y más partos. Por otro lado el hato depende de los partos, por lo tanto a mayor número de partos y menores eventos de abortos serán más las vacas lactantes, que a su vez determinan la producción de leche. Los partos no solo traen consigo el inicio de la lactancia, también conducen al nacimiento de crías machos y hembras que retroalimentarán el hato al crecer ya que son vacas potencialmente gestantes y lactantes. Más nacimientos significan mayores necesidades de alimentación para el ganado y mayor cantidad de tratamientos veterinarios como desparasitaciones.

En consecuencia a lo anterior, las variables que afecten el proceso del animal se relacionarán también con la producción de leche, siendo el nivel del hato la variable que determina la capacidad productiva del sistema.

Figura 11. Diagrama causal financiero.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se observa el diagrama causal de subsistema financiero, donde los costos están determinados por la alimentación, el personal, la atención veterinaria y reproductiva, y el costo por concepto de ordeño. Los ingresos del sistema son factor de la venta de la leche producida, además de las ventas en pie de vacas y crías machos.

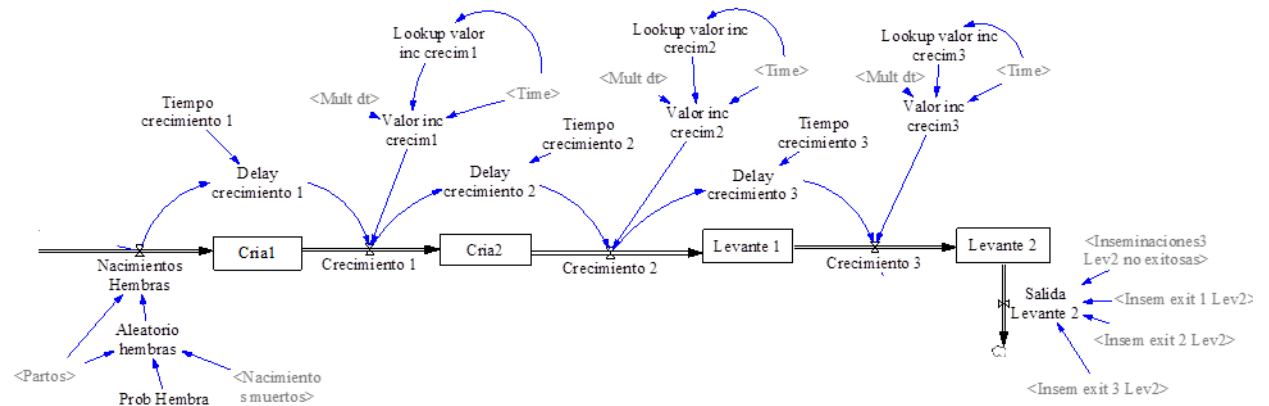
5.2 DIAGRAMAS DE FORRESTER

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.

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

y Cría 2, tercer mes de edad, a causa de las diferencias en la raciones de alimentos. La Figura 13 muestra el flujo del inventario de terneras.

Figura 13. Diagrama de Forrester maduración.



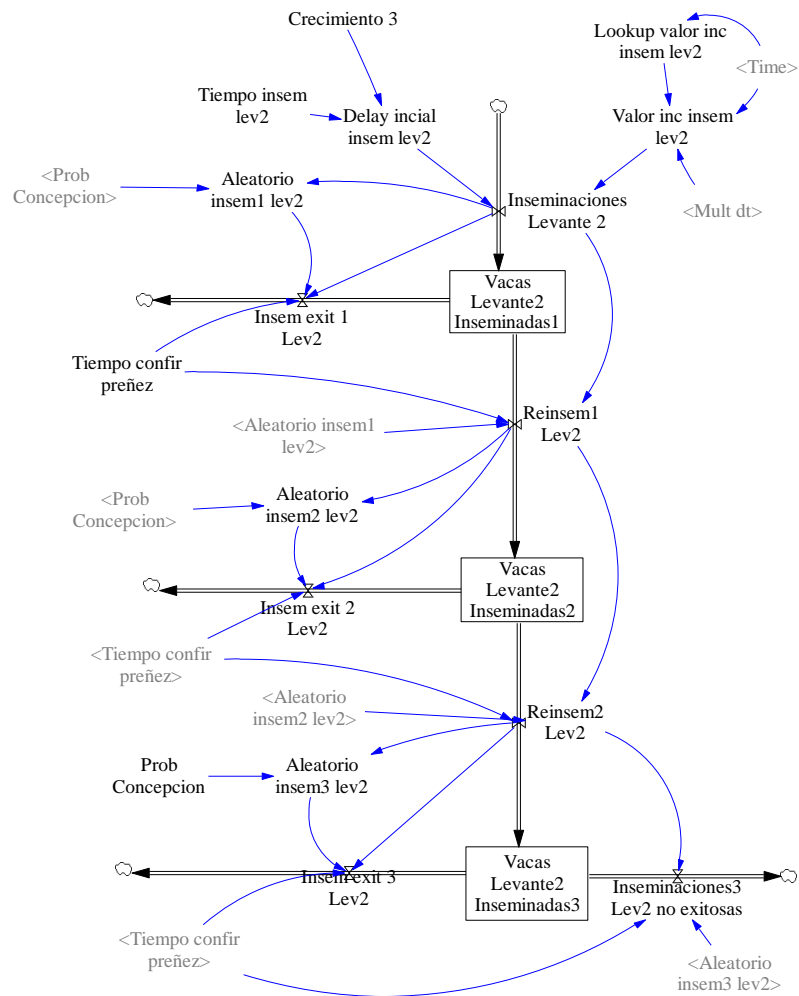
Fuente Elaboración propia.

5.2.1.3 Primera reproducción

Una vez la novilla alcanza la edad de madurez reproductiva es inseminada, pero este procedimiento tiene una tasa de éxito y de fracaso (Groenendaal et al., 2004), por lo cual se conforma un ciclo de inseminaciones hasta obtener una concepción exitosa (Guimarães et al., 2009) o una salida por descarte (Stephens et al., 2012) a causa de la deficiencia reproductiva.

En la formulación del presente trabajo se desglosa el ciclo de Guimarães, adicionanado 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 14).

Figura 14. Diagrama de Forrester primera reproducción.



Fuente: Elaboración propia.

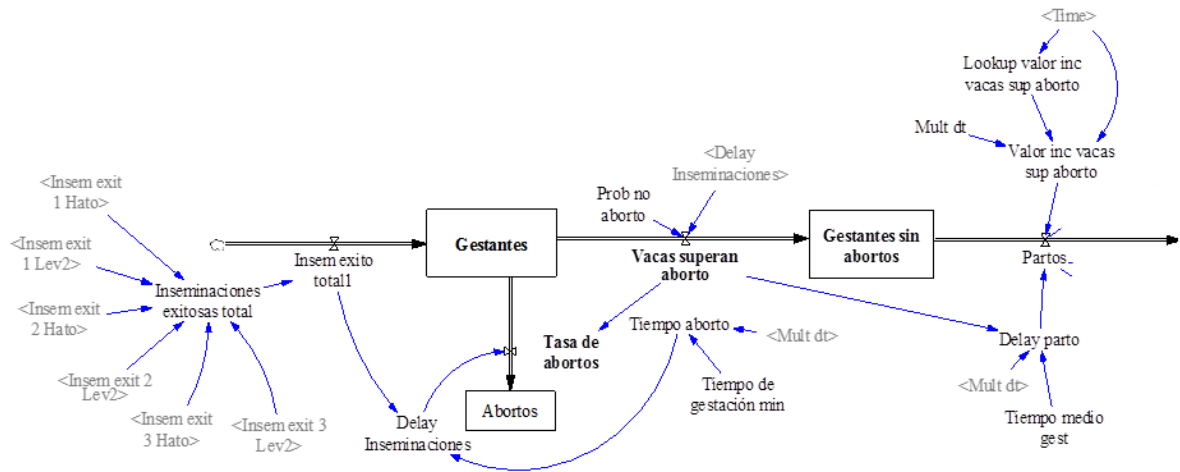
5.2.1.4 Gestación

Si el ciclo de inseminaciones finaliza a causa de una concepción exitosa, este flujo es la entrada al nivel de gestación (Guimarães et al., 2009), presentando una demora que representa el tiempo de gestación (Groenendaal et al., 2004).

Además del nivel propuesto por Guimarães se adiciona la salida del estado por tasa de abortos como se visualiza en la Figura 15, y se construyen los niveles de los grupos de “Manga” y “Horro”, para de esta manera separar los sub-estados de

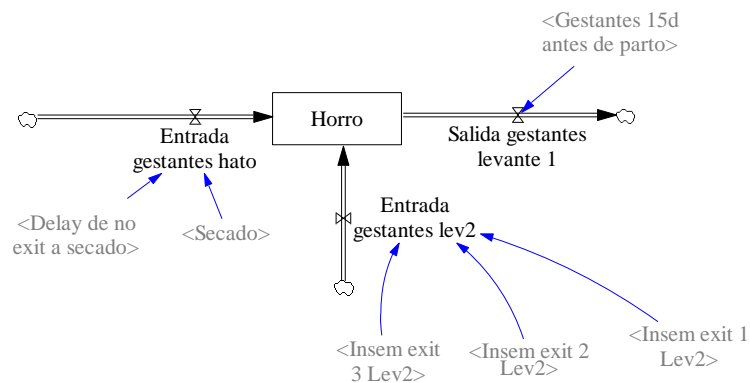
gestación a los largo de esta etapa a causa de sus diferentes necesidades alimentarias y agrupación en los potreros (Figura 16 y Figura 17).

Figura 15. Diagrama de Forrester gestación.



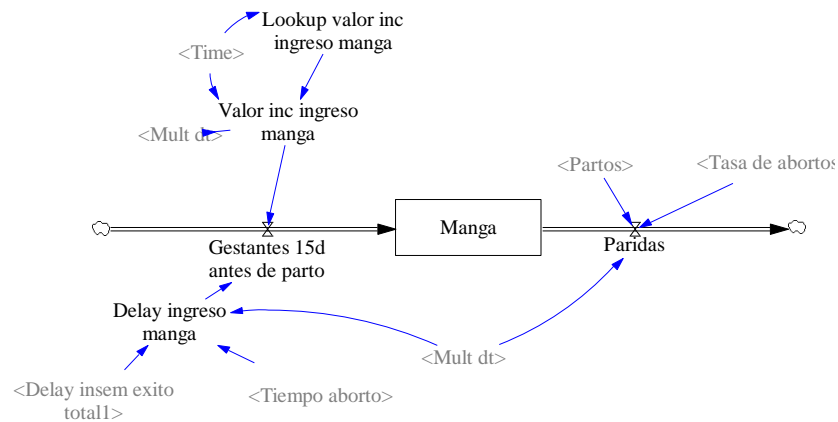
Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Diagrama de Forrester horro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Diagrama de Forrester manga.



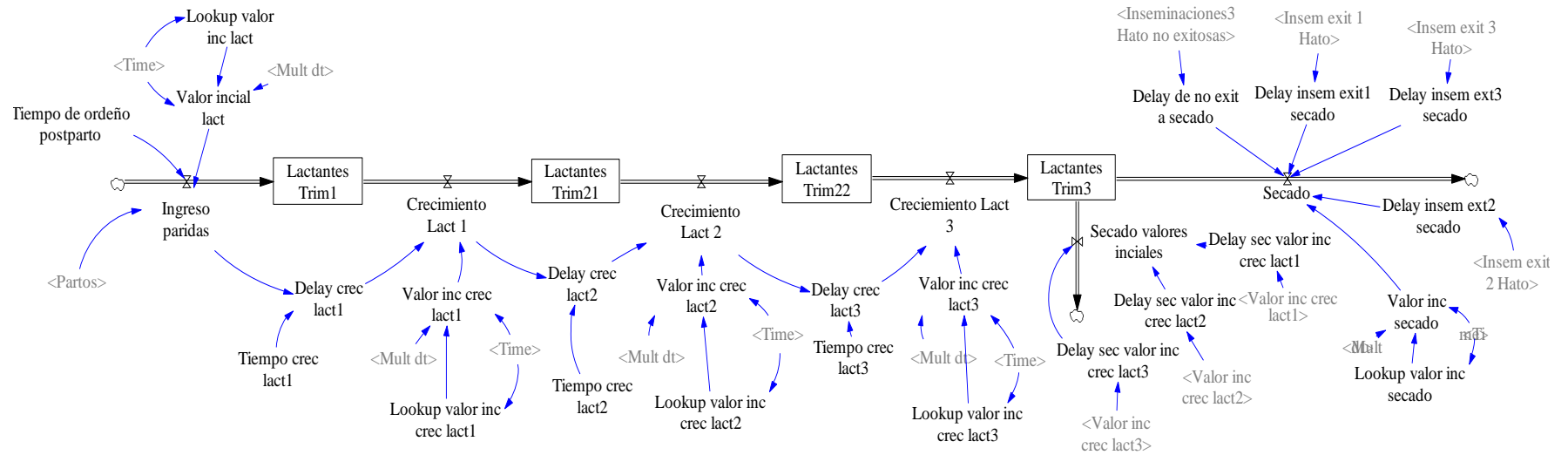
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.5 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: Leche.

En el diagrama de Guimarães, las vacas lactantes son incluidas en un único nivel cuya entrada son los partos (Guimarães et al., 2009) y la salida es el sacado del animal, pero no se diferencian los distintos niveles de producción de leche de acuerdo al tiempo de lactancia en que se encuentre la vaca (DeLorenzo et al., 1992). En consecuencia, esta formulación 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 17).

Figura 18. Diagrama de Forrester lactancia.

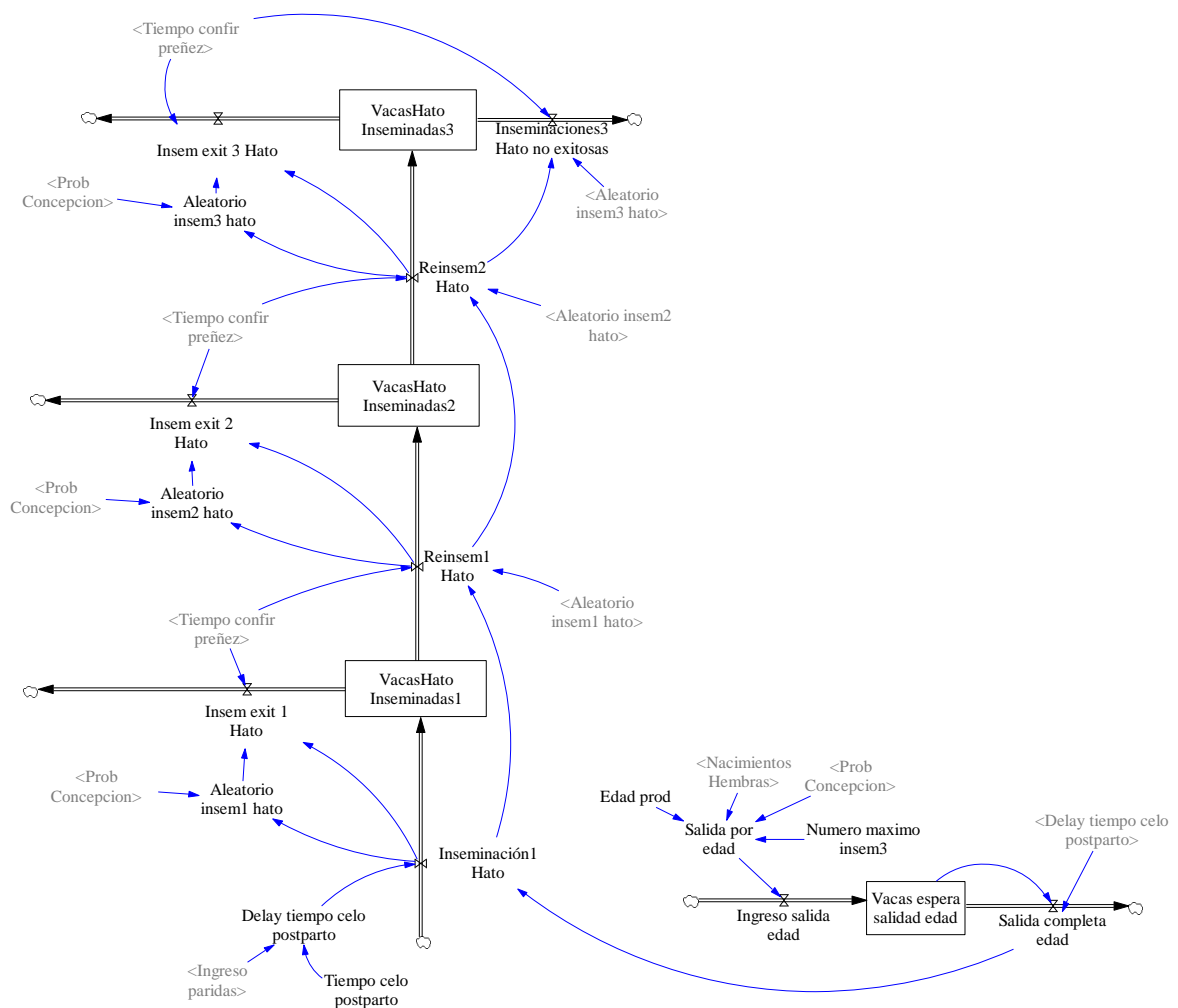


Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.6 Reproducción post-lactancia

Sesenta días después del parto, la vaca lactante es sometida nuevamente al ciclo de inseminaciones siguiendo la misma estructura del diagrama de primera reproducción. Aunque los ciclos de inseminaciones de novillas y del hato se comportan igual 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 19).

Figura 19. Diagrama de Forrester reproducción post-lactancia



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 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 19).

- 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 de 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 de “Descripción de las características del sistema actual y variables clave”.

Las pérdidas han sido incluídas en otros modelos, pero solo consideran los retiros por mastitis (Cha et al., 2014). Este modelo incluye la pérdida por suministro de desparasitantes ya que es un procedimiento veterinario que afecta también retiros del producto.

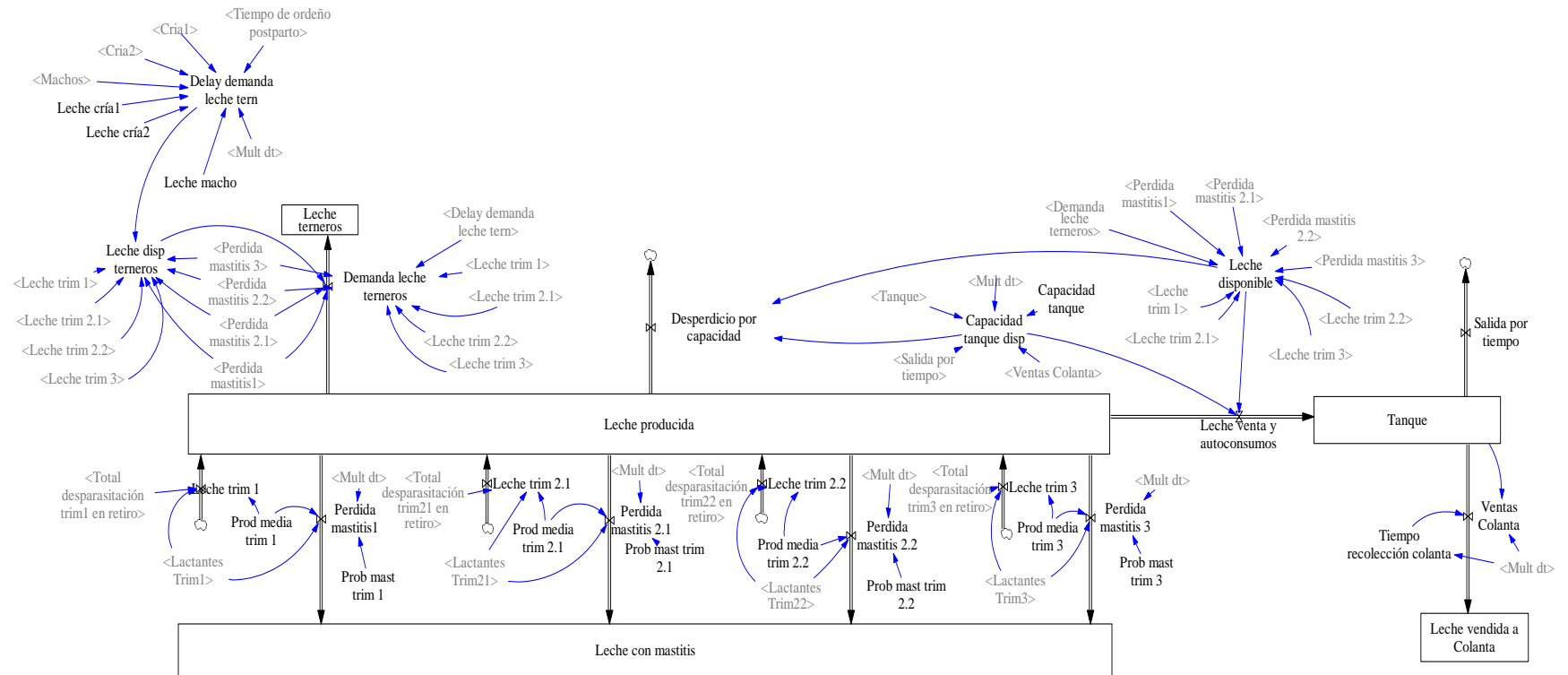
- Autoconsumo

Un parto conlleva un periodo de lactancia, ya que la cría necesita alimentarse de leche para su desarrollo y crecimiento, entonces parte de la leche producida debe ser suministrada como alimento a los terneros (Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2014c), esta porción del producto que será autoconsumido es necesario para mantener el sistema por lo que no se considera una pérdida. Las cantidades de leche a consumir por unidad animal se definen en la sección de “Descripción de las características del sistema actual y variables clave”.

- Almacenamiento y venta

Ninguno de los modelos de referencia consultados consideran niveles de almacenamiento pero en este sistema, 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 maximos de duración y capacidad establecida, por lo tanto se construye un nivel que represente esta situación.

Figura 20. Diagrama de Forrester leche producida

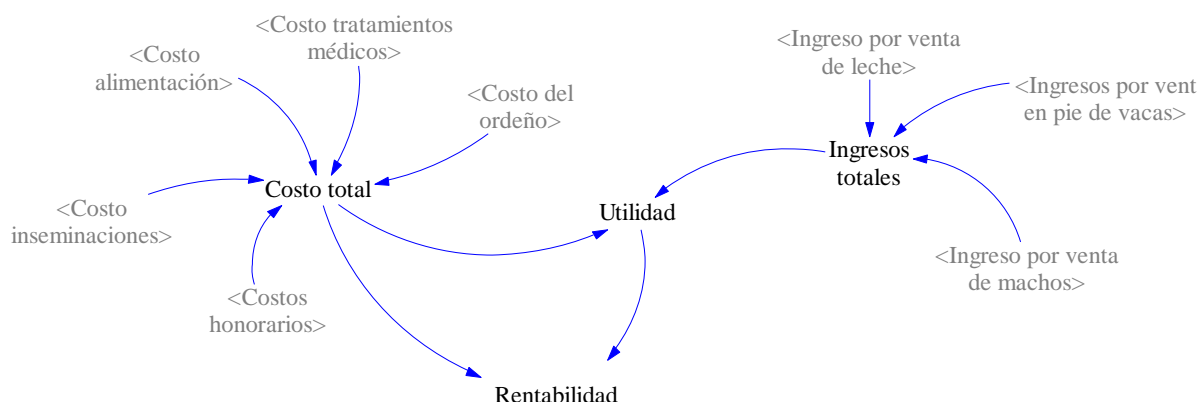


Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 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 et al., 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).

Figura 21. Diagrama de Forrester evaluación económica.



Fuente: Elaboración propia.

- Costos

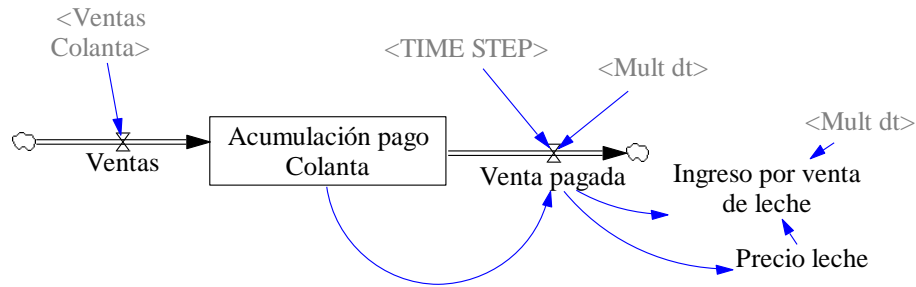
Se tienen en cuenta los costos generados por conceptos de alimentación, inseminaciones, tratamientos médicos (Groenendaal et al., 2004), adicionando los relacionados con el ordeño y honorarios de personal definidos en la sección “Descripción de las características del sistema actual y variables clave”.

- Ingresos

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

Para el calculo 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 a causa del pago mensual que realiza el cliente (Figura 22) .

Figura 22. Diagrama de Forrester ingreso por venta de leche.



Fuente: Elaboración propia.

5.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la validación del modelo se usa el método de transformaciones de entradas-salidas (Banks et al., 2009), utilizando el periodo junio de 2014 a mayo de 2015, comparando los errores porcentuales mes a mes de la cantidad en litros de leche destinada para la venta (ver Tabla 23).

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 un muestra (Banks et al., 2009) ya que se puede asumir normalidad de los datos por ser sumas de variables aleatorias independientes de acuerdo al Teorema del límite central. Esta prueba arrojó como resultado el no rechazo de la hipótesis nula (error porcentual medio igual a 0) con un nivel de confianza de 95% como se observa en la Figura 23 y por tanto considera el modelo como una buena representación del sistema real.

Tabla 23. Validación - errores porcentuales.

| Mes-año | Ventas del sistema real (Lt) | Ventas del sistema simulado (Lt) | Error o diferencia (Lt) | 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.

Figura 23. Resultados prueba t para validación

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 |

Fuente: Elaboración propia, SPSS.

6. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL

6.1 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES

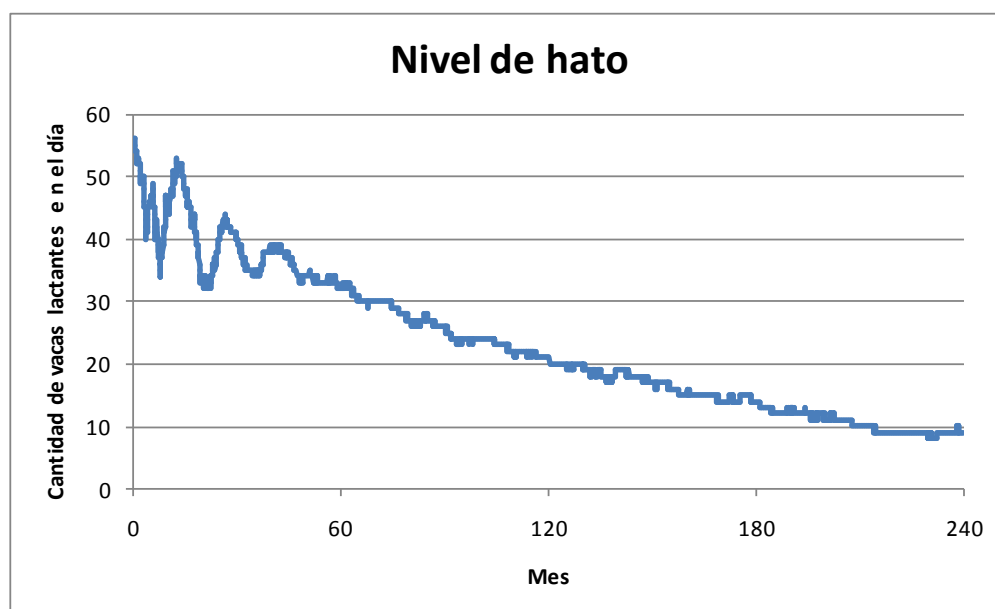
Los resultados de las variables están determinados por el promedio de sus valores en cada réplica, eliminando la aleatoriedad como causa del comportamiento observado.

6.1.1 Nivel del hato

Descripción

La capacidad de producción representada por la cantidad diaria de vacas lactantes se 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 el nivel durante este periodo de tiempo.

Figura 24. Comportamiento nivel del hato.



Fuente: Elaboración propia.

Se concluye entonces un proceso de extinción del hato con las condiciones actuales, lo que implica el mismo comportamiento descendente del nivel de producción de leche.

Posibles causas del comportamiento

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

La probabilidad de éxito en la concepción del 28% y la política de descarte por razones reproductivas puede estar generando un desequilibrio en el inventario, 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 en el cual una vaca es considerada útil para la producción.

- Desbalance de entradas (nacimientos) por abortos o mortinatos

La probabilidad de abortos o la probabilidad de mortinato 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.

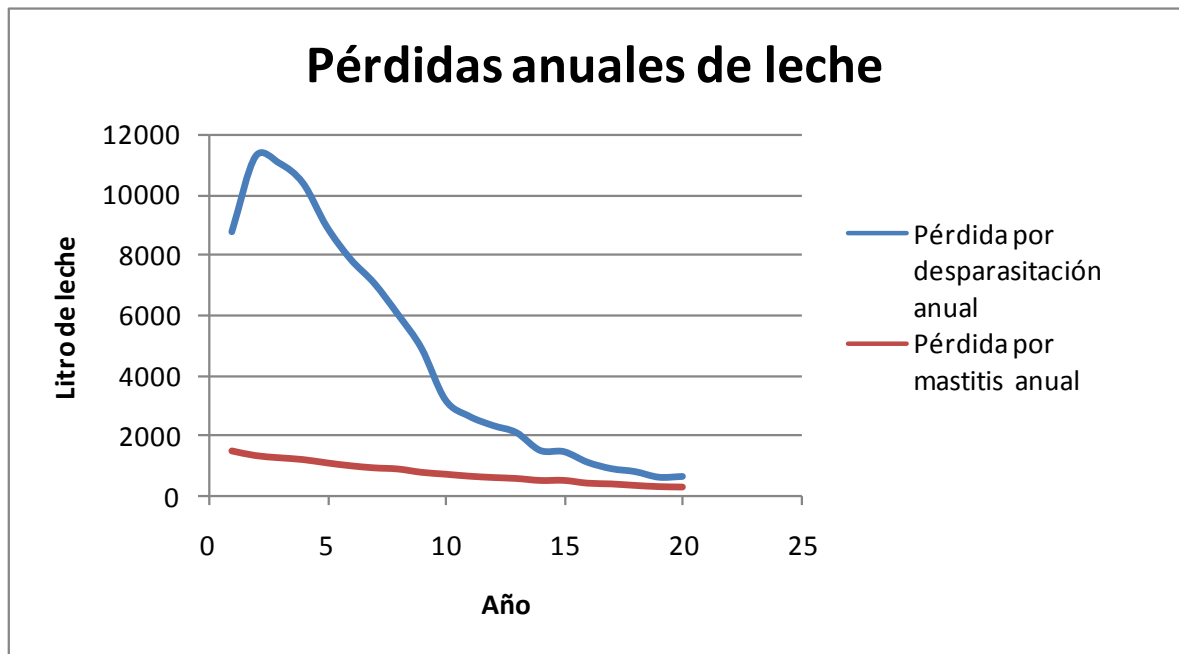
6.1.2 Pérdidas

Descripción

El nivel de producción es afectado también por el nivel de pérdidas que se generan. Y aunque no es una variable de desempeño se analiza su comportamiento anual para determinar la posibilidad de sugerir políticas relacionadas con la programación y planeación de actividades que reduzcan estas pérdidas.

Conforme a lo observado en la Figura 25 , la actual programación de la desparasitación de vacas lactantes genera pérdidas superiores en un 83% aproximadamente con respecto a la pérdida por presencia y tratamiento de mastitis.

Figura 25. Pérdidas anuales de leche.



Fuente: Elaboración propia

Posibles causas del comportamiento

- Programación de las jornadas de desparasitación del hato

Se plantea la hipótesis de la existencia de una programación de desparasitación de las vacas lactantes alterna a la actual que minimice las pérdidas por este concepto.

6.1.3 Análisis de los indicadores de viabilidad económica

- Costos del sistema

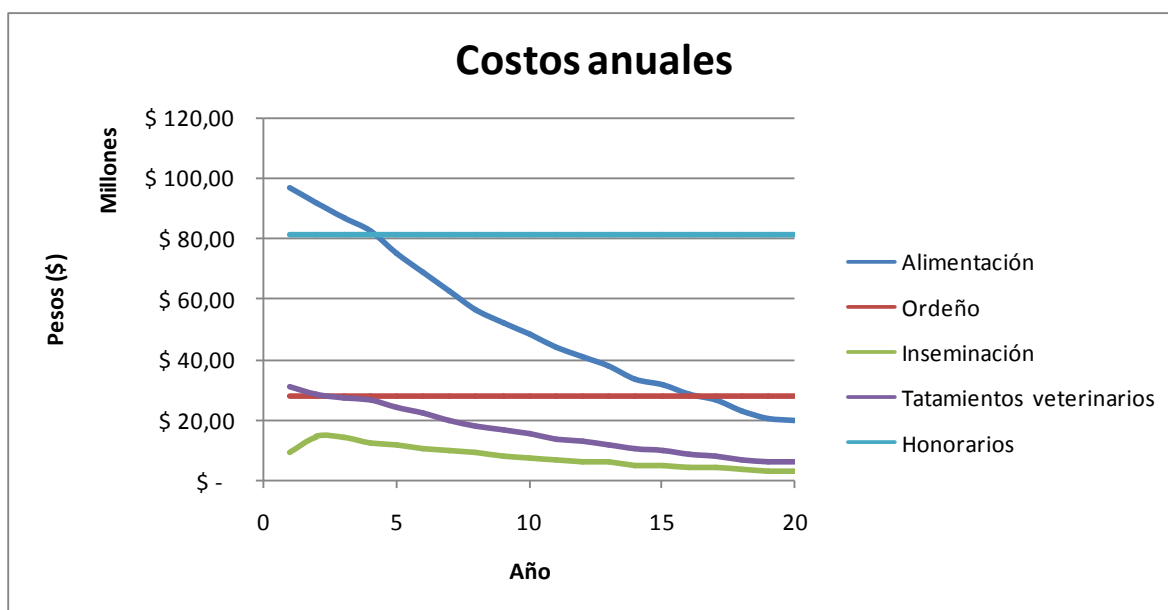
Se clasificaron los costos de acuerdo a los sub-procesos que los generan. Los costos fijos son aquellos vinculados con la máquina de ordeño y los honorarios,

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

Honorarios es el rubro de mayor valor luego del quinto año (Figura 26), superando significativamente los otros costos. Para este año el nivel promedio del hato es de 33,47 vacas lactantes, por lo cual en niveles inferiores con las condiciones actuales la capacidad brindada por la atención del ganado por parte del personal podría ser excesiva, dando lugar a utilidades negativas. Con niveles del hato promedio anual entre 40 y 45 vacas, los honorarios tienen una participación del 33% sobre el costo por vaca (ver Tabla 24).

Respecto a los costos variables, la alimentación se considera el costo principal del sistema, puesto que es el insumo de mayor importancia para el buen desempeño del animal.

Figura 26. Costos anuales.



Fuente: Elaboración propia.

- Rentabilidad

El sistema presenta pérdidas que van aumentando a medida que el tamaño del hato disminuye, por los altos costos fijos. Con niveles de 45 vacas lactantes diarias la causa estaría dada porque el número de animales en el hato no es suficiente para mantener el resto del ganado que no se encuentra en estado productivo.

Al observar la Tabla 24 se evidencia una dependencia de la rentabilidad con el nivel de vacas lactantes diarias, lo cual sugiere que aumentar este nivel generaría utilidades positivas y rentabilidades superiores a 0.

Tabla 24. Rentabilidad proyectada.

| Año | Nivel del hato promedio diario (vacas) | Utilidad anual | Costo total anual | Rentabilidad anual | Costo total por vaca del hato | Costo honorarios por vaca en hato | % Costo de honorarios por vaca en hato |
|-----|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 45,66 | \$ (3.210.755,14) | \$ 246.910.990,02 | -1,30% | \$ 5.407.361,51 | \$ 1.783.025,36 | 32,97% |
| 2 | 41,26 | \$ (3.993.246,48) | \$ 244.485.132,70 | -1,63% | \$ 5.926.061,78 | \$ 1.973.450,58 | 33,30% |
| 3 | 38,74 | \$ (12.322.451,92) | \$ 237.965.879,16 | -5,18% | \$ 6.142.366,99 | \$ 2.101.520,38 | 34,21% |
| 4 | 37,11 | \$ (16.216.636,09) | \$ 231.314.672,20 | -7,01% | \$ 6.232.417,52 | \$ 2.193.642,71 | 35,20% |
| 5 | 33,47 | \$ (22.193.828,52) | \$ 220.661.117,00 | -10,06% | \$ 6.593.608,93 | \$ 2.432.819,61 | 36,90% |
| 6 | 30,83 | \$ (32.342.381,35) | \$ 211.236.619,90 | -15,31% | \$ 6.850.730,38 | \$ 2.640.463,70 | 38,54% |
| 7 | 28,27 | \$ (35.818.596,57) | \$ 202.122.759,67 | -17,72% | \$ 7.148.731,45 | \$ 2.879.561,10 | 40,28% |
| 8 | 25,62 | \$ (39.441.705,15) | \$ 193.097.426,74 | -20,43% | \$ 7.536.829,74 | \$ 3.177.786,78 | 42,16% |
| 9 | 23,74 | \$ (47.302.154,47) | \$ 186.363.977,14 | -25,38% | \$ 7.849.192,11 | \$ 3.429.063,47 | 43,69% |
| 10 | 21,82 | \$ (50.280.970,87) | \$ 180.264.098,83 | -27,89% | \$ 8.262.521,31 | \$ 3.731.778,74 | 45,17% |
| 11 | 19,94 | \$ (56.616.717,52) | \$ 174.607.245,79 | -32,43% | \$ 8.755.299,65 | \$ 4.082.453,88 | 46,63% |
| 12 | 18,39 | \$ (59.711.807,88) | \$ 169.697.115,85 | -35,19% | \$ 9.227.222,57 | \$ 4.426.995,40 | 47,98% |
| 13 | 17,42 | \$ (61.798.229,26) | \$ 165.139.886,29 | -37,42% | \$ 9.479.436,87 | \$ 4.673.509,10 | 49,30% |
| 14 | 15,34 | \$ (67.367.373,91) | \$ 158.604.447,12 | -42,48% | \$ 10.336.138,60 | \$ 5.305.856,49 | 51,33% |
| 15 | 14,45 | \$ (68.385.509,33) | \$ 155.799.867,38 | -43,89% | \$ 10.780.111,02 | \$ 5.633.375,30 | 52,26% |
| 16 | 12,85 | \$ (74.552.457,26) | \$ 150.709.794,94 | -49,47% | \$ 11.728.502,23 | \$ 6.335.977,28 | 54,02% |
| 17 | 11,86 | \$ (75.208.697,31) | \$ 148.131.613,64 | -50,77% | \$ 12.495.181,06 | \$ 6.867.637,05 | 54,96% |
| 18 | 10,49 | \$ (79.259.053,11) | \$ 143.312.991,18 | -55,30% | \$ 13.658.024,25 | \$ 7.759.162,62 | 56,81% |
| 19 | 9,14 | \$ (83.776.208,21) | \$ 139.478.673,32 | -60,06% | \$ 15.259.266,04 | \$ 8.907.141,93 | 58,37% |
| 20 | 8,84 | \$ (86.638.899,94) | \$ 138.099.832,93 | -62,74% | \$ 15.621.552,54 | \$ 9.209.659,55 | 58,95% |

Fuente: Elaboración propia

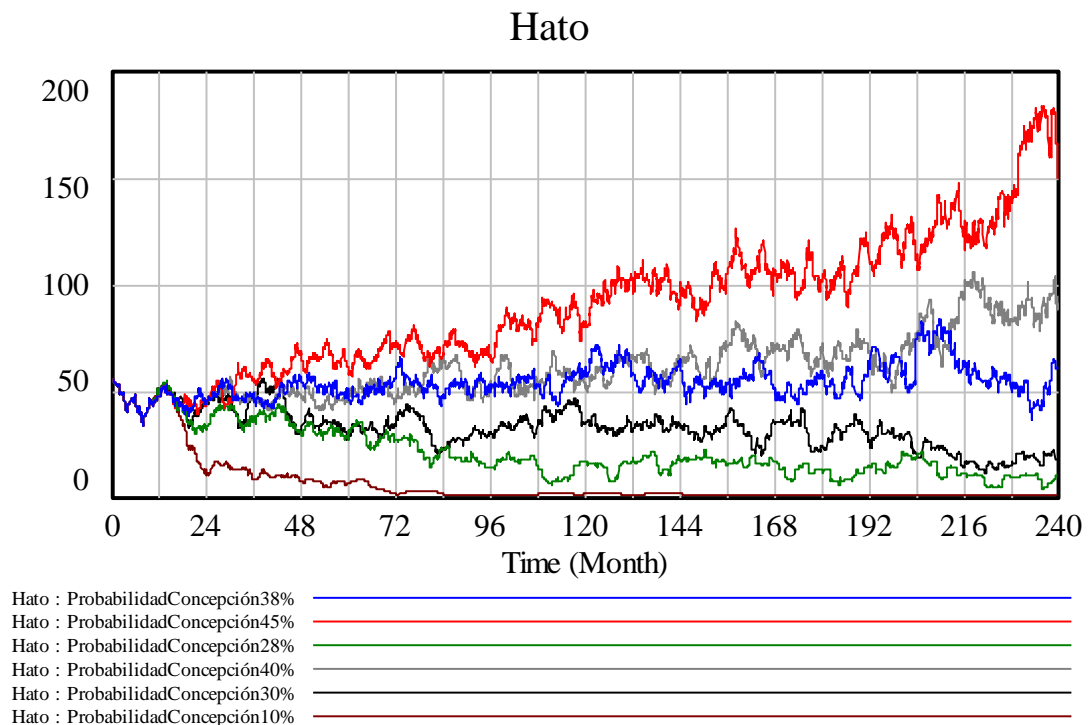
6.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Las hipótesis planteadas sobre la descripción del comportamiento del nivel del hato son sometidas a un análisis de sensibilidad (Guimarães et al., 2009), para verificar si estas contribuyen o no al decrecimiento de la población.

6.2.1 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, ya que este es el parámetro asociado al éxito o fracaso del proceso de reproducción e inseminación, y se procede a realizar la simulación para evaluar de nuevo el efecto en el comportamiento del inventario animal (Figura 27).

Figura 27. Análisis de sensibilidad desempeño reproductivo.



Fuente: Elaboración propia, Vensim PLE.

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

- Probabilidades de concepción inferiores al 38% conllevan a procesos de extinción del hato
- Probabilidades de concepción entre 38% y 40% logran el equilibrio entre entradas y salidas manteniendo del nivel del inventario animal.

- Probabilidades de concepción superiores al 40% producen crecimiento del hato progresivamente.

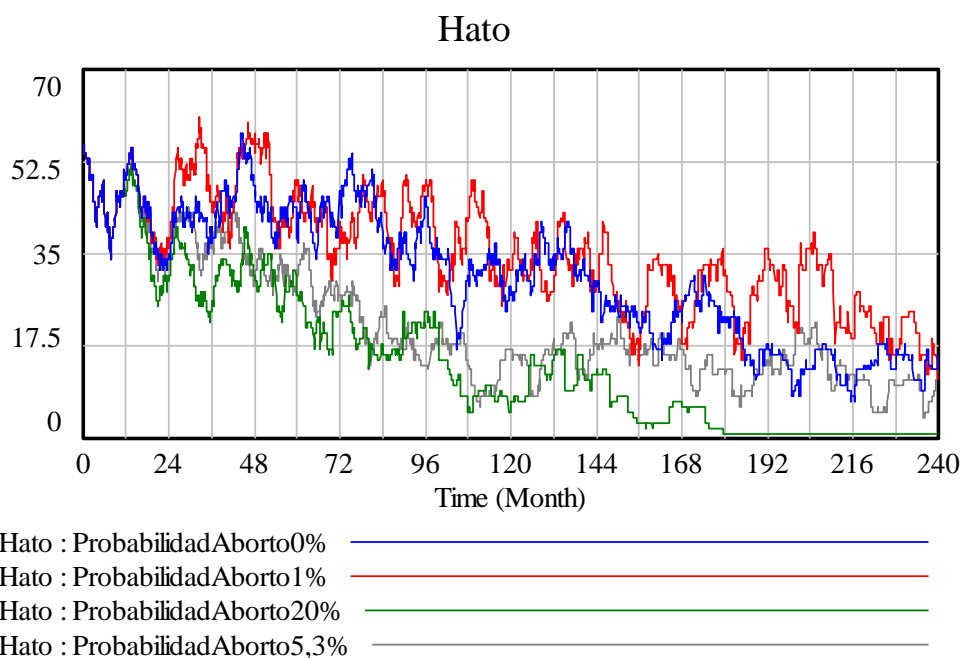
Por consiguiente modificaciones en políticas o variables relacionadas con el desempeño y descarte reproductivo que generen entradas y salidas similares al equivalente de tener una probabilidad de éxito de concepción igual o mayor al 38% mantendrán o aumentarán el nivel del hato en un mediano y largo plazo.

6.2.2 Tasas de aborto y mortinatos

Se alteraron los valores de la probabilidad de ocurrencia tanto de abortos (Figura 28) como de mortinatos (Figura 29), incluyendo la supervivencia total.

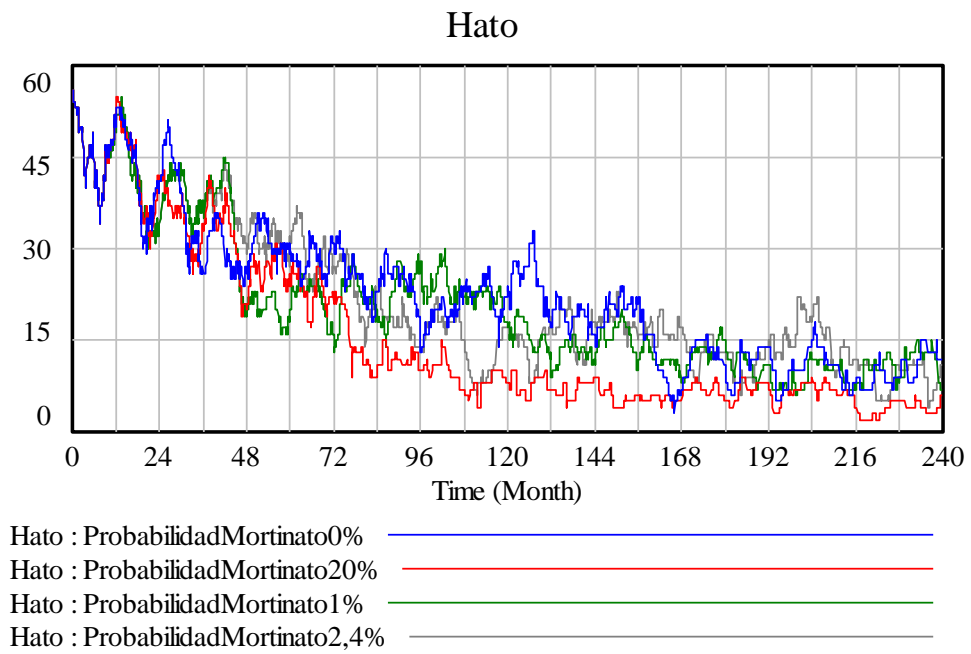
Manteniendo políticas y demás parámetros actuales, se concluye que las disminuciones de las tasas de aborto y de mortalidades de los neonatos, incluyendo mortalidad del 0%, no generan un cambio en la tendencia decreciente el nivel del hato. Por lo tanto las prácticas, políticas o esfuerzos encaminados a la minimizar las tasas actuales de abortos y mortinatos no impactarán la tendencia del comportamiento del inventario animal.

Figura 28. Análisis de sensibilidad probabilidad de aborto



Fuente: Elaboración propia, Vensim PLE.

Figura 29. Análisis de sensibilidad probabilidad de mortinato.



Fuente: Elaboración propia, Vensim PLE.

7. ESTRATEGÍAS DE PRODUCCIÓN PROPUESTAS PARA EL SISTEMA PRODUCTIVO

La identificación de estrategias de producción basadas en planeación y programación del hato para el sistema productivo de leche cruda de la finca San Pedro tiene como objetivos:

- Mantener el nivel del hato
- Aumentar el nivel de producción
- Viabilidad económica

7.1 ESTRATEGÍA PARA LA ESTABILIDAD DEL NIVEL DEL HATO

Las condiciones actuales del sistema están causando una disminución poblacional, afectando el nivel del hato que a su vez determina el nivel de producción, en consecuencia la estabilidad del inventario animal se traducirá en estabilidad de las cantidades producidas de leche. De acuerdo al análisis de sensibilidad, se identificó el bajo desempeño reproductivo como causal de la tendencia decreciente de nivel actual, por lo cual se decide focalizar la estrategia en esta variable.

7.1.1 Planteamiento de la 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 del parámetro implica 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 lo tanto al aumentar un cuarto proceso de inseminación antes de desechar el vacuno reducirá la probabilidad de que una vaca sea descartada por deficiencia reproductiva. En consecuencia una cuarta oportunidad de concepción comprende una tasa de salidas por este concepto menor y aumenta el número de concepciones exitosas.

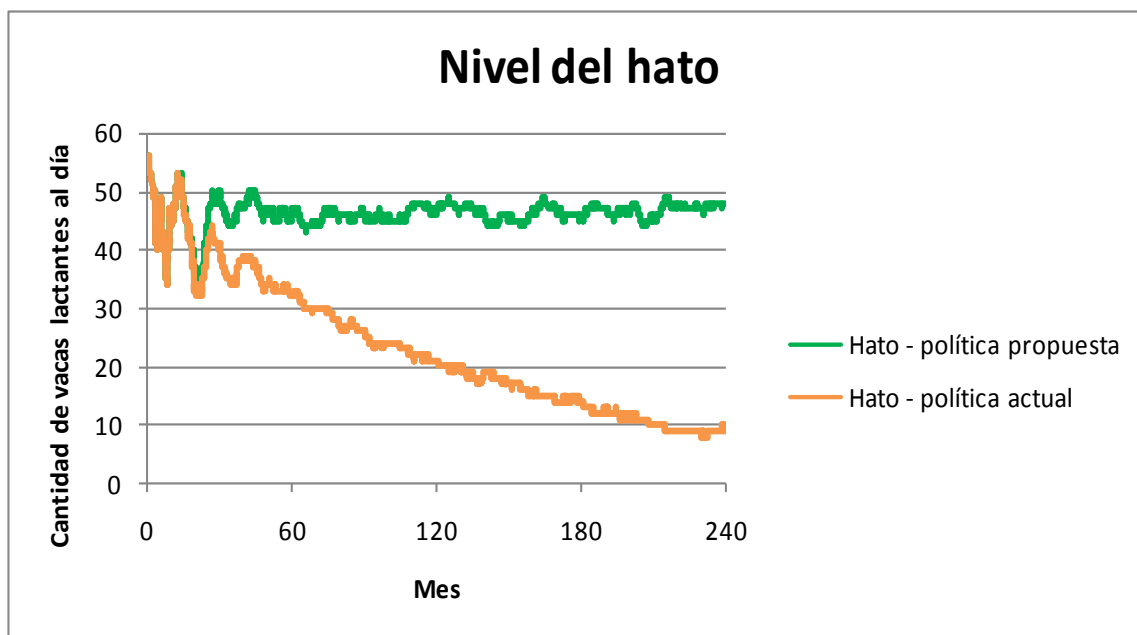
En ocasiones donde el valor genético y el nivel de producción de una vaca son altos pero no consigue tener concepciones exitosas luego de someterse a tres inseminaciones consecutivas, la veterinaria decide realizar una vez más el procedimiento, obteniendo en varios casos preñez. Lo anterior valida la política propuesta como estrategia.

7.1.2 Resultados de la implementación de la política

El cambio de la política de descarte por deficiencia reproductiva, al adicionar un ciclo de inseminación antes de desechar el vacuno, evita el inicio de un proceso de extinción del inventario animal como se observa en la Figura 30.

Las salidas por descarte reproductivo disminuyen dando lugar al aumento de concepciones exitosas, manteniendo el nivel constante en un intervalo de 43 a 50 vacas lactantes al día, conservando el inventario inicial sin tendencia de crecimiento o decrecimiento a los dos años de implementada la estrategia.

Figura 30. Nivel del hato con la nueva política de descarte



Fuente: Elaboración Propia.

7.2 ESTRATEGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

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 en seis grupos el hato de igual tamaño aproximadamente para ser purgados un grupo por semana hasta completar el tratamiento en todas las vacas lactantes cada tres meses, como se visualiza en la Figura 31. 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 color verde), además está eliminando 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.

Figura 31. Estructura de la programación actual de desparasitación hato. *

| 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 | G5D1R2 + G2D2R3 | G5D1R3 | | | | G3D2R1 |
| 6 | G6D1R1 + G3D2R2 | G6D1R2 + G3D2R3 | G6D1R3 | | | | G4D2R1 |
| 7 | G4D2R2 | G4D2R3 | | | | | G5D2R1 |
| 8 | G5D2R2 | G5D2R3 | | | | | G6D2R1 |
| 9 | G6D2R2 | G6D2R3 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia basada en el Cronograma de la Finca San Pedro.

* G1D1R1: Grupo1, Dosis1, Retiro día 1.

7.2.1 Planteamiento de la programación de desparasitación individual

La programación actual es 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 periodo de mayor producción de leche, llevando un cronograma por cada vaca que ingresa al hato como se observa en la Tabla 25.

Tabla 25. Estructura del cronograma individual desparasitación 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+ 91 días | Fecha dosis 1 + 21 días | Fecha dosis 1 + 90 días | Fecha dosis 2 + 21 días |

Fuente: Elaboración propia.

Las vacas días antes o en el momento del parto 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 26. 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 26. Etapa de lactancia y retiros con la programación individual.

| Etapa de Lactancia | Días de retiro por 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 |

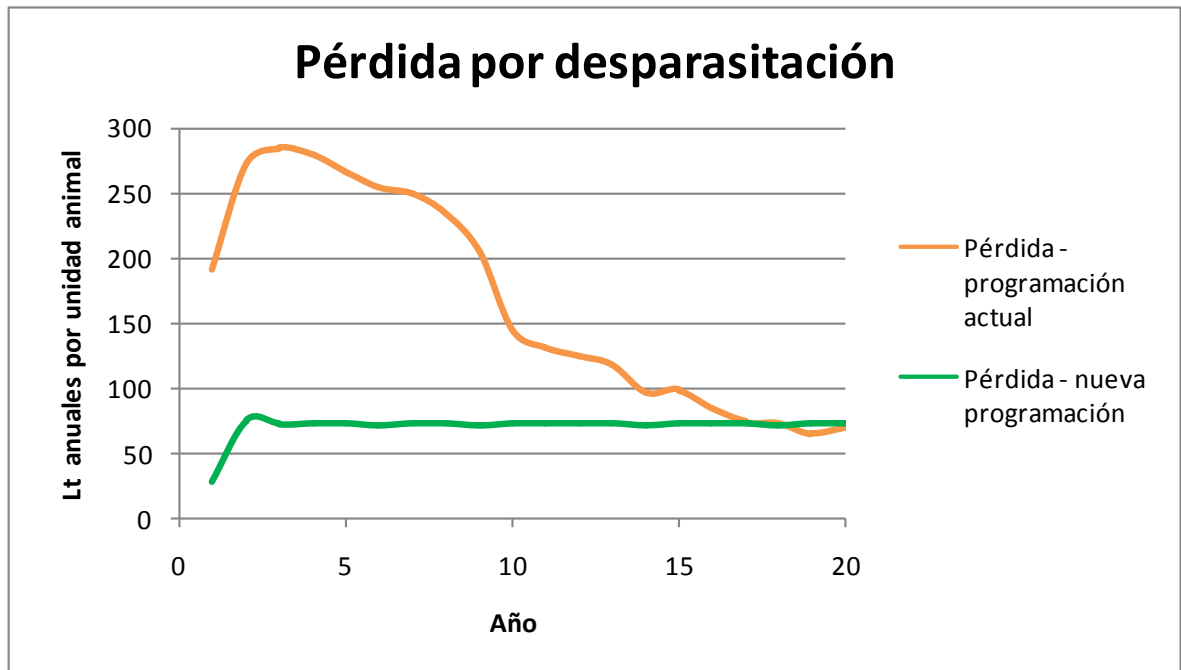
Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Resultados de la implementación de la programación 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 de hato que afecta las cantidades que se retirarán.

A medida que el nivel del hato se reduce, su pérdida por desparasitación por vaca se acerca 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, para evaluar la reducción.

Figura 32. Comparación pérdida por desparasitación.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 32 muestra la reducción de pérdidas con la estrategia propuesta. Hasta el décimo año se logra una reducción del promedio anual de litros/vaca perdidos por desparasitaciones del hato del **70,5%** (ver Tabla 27).

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

Tabla 27. Reducción de pérdidas con programación 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.

7.3 ESTRATEGIA AUMENTO NIVEL DEL HATO

Las estrategias anteriormente propuestas arrojan un nivel de rentabilidad entre 0 y 3% (Tabla 28) , 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% a comparación del sistema actual. En consecuencia, es posible que una compra externa programada pueda subir el hato y por tanto aumentar las utilidades.

Tabla 28. Rentabilidad - política propuesta de descarte y programación individual de desparasitación

| 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 Planteamiento de la compra programada

El mediano productor de Cundinamarca cuenta aproximadamente con 55 vacas lactantes (Fedegan & SENA, 2103), por lo cual este será el valor objetivo a aumentar en el nivel de hato, para evaluar si compras programadas lograrán valores cercanos al mencionado y rentabilidades mayores a 0%.

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

Para determinar el momento de la compra y la cantidad, se tiene en cuenta las probabilidades de concepción exitosa y los tiempos de espera de confirmación de preñez y gestación. Se necesitan entonces adicionar 25 vacas lactantes a este periodo para alcanzar un nivel cercano a 55 animales, teniendo como resultado a partir de la ecuación 1 un total de compra de 34 vacas en pie. Para asegurar preñez y un correcto cuidado en la gestación se comprarán novillas de aproximadamente 24 meses de edad (edad de maduración reproductiva), por consecuente se deben adquirir en el mes 4 como lo indica la ecuación 2.

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

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

$$\begin{aligned} &19 \text{ mes} - 7 \text{ meses de gestación restante} - 2 \text{ meses confirmar preñez insem1} - \\ &2 \text{ meses confirmar preñez insem2} - 2 \text{ meses confirmar preñez insem3} - \\ &2 \text{ meses confirmar preñez insem4} = \mathbf{4 \text{ mes}} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2}$$

El precio de adquisición por cada unidad animal (\$ **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 (“SU GANADO,” 2015).

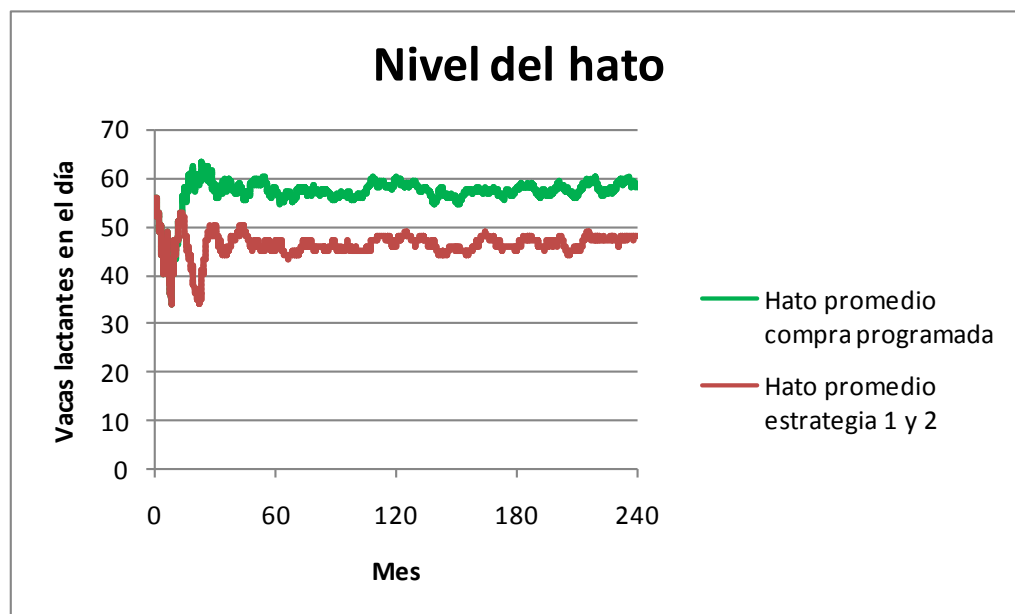
7.3.2 Resultados de la compra programada

Fue necesario realizar 116 réplicas para el análisis.

- Nivel del hato

La Figura 33 muestra como 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 33. Nivel del hato - compra programada.



Fuente: Elaboración propia.

- Rentabilidad

La inversión en el año 1 por compra de vacas es de \$ 85.000.000 pesos, para lo cual se debe definir la financiación y los pagos a realizar y luego determinar la rentabilidad producto de las estrategias. En la Tabla 29 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.

El Banco Agrario cuenta con programas de crédito para los medianos productores por concepto de compra de ganado. Para el mes de octubre de 2015 la tasa de interés de este crédito corresponde al 13,08% EA (Banco Agrario de Colombia, 2015). Al tomar este crédito es posible pagar la deuda en su totalidad con las utilidades generadas en los siguientes 5 años con pagos anuales como se observa en la Tabla 30.

Tabla 29. Rentabilidad - compra programada.

| 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% |
| 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 30. Financiación 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 31.

Tabla 31. Rentabilidad - compra programada y 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 periodo de tiempo. Se observa una rentabilidad negativa del 3,5% debido a 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 las dos primera estrategias propuestas 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.

8. CONCLUSIONES

8.1 DINÁMICA DE SISTEMAS Y SU APLICACIÓN A LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE HATOS LECHEROS

Los procesos y ciclos de vida a los que están sujetas las vacas especializadas en producción de leche, hacen complejo el sistema productivo. El flujo principal es el del inventario animal, donde las entradas se generan dentro del mismo proceso cuyo objetivo es reemplazar las salidas, con demoras determinadas por subprocesos biológicos como crecimientos y tiempos de gestación. En consecuencia la dinámica de sistemas fue una herramienta adecuada para el análisis del comportamiento y cambios en el sistema de producción ganadero de leche.

A través de este trabajo se realizó el modelo dinámico en detalle del proceso por el cual las vacas deben recorrer en el sistema, este puede ser adaptado para otro tipo de hatos u otros procesos productivos pecuarios. A diferencia de Guimarães (2009) no solamente se realizó un análisis de sensibilidad sobre cambios en los parámetros, también se propusieron estrategias de producción que fueron sometidas a una evaluación de rendimiento financiero. Mientras Tedeschi, Nicholson, Rich (2011) y Stephens (2012) se enfocan en aspectos como el impacto sobre los recursos naturales y decisiones logísticas, el enfoque en la producción en este sistema permitió el análisis de la dinámica en su totalidad de la unidad de transformación (la vaca) y asociarlo con decisiones administrativas.

8.2 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL

Se identificaron los puntos de apalancamiento del sistema, encontrando que bajo las políticas actuales de inseminación el hato no es auto-sostenible por la generación de desbalance en entradas - salidas.

Pérdidas en la producción pueden ser reducidas con programaciones individuales de los tratamientos veterinarios.

A través del modelo se observa el punto de equilibrio para la asignación del nivel del personal, encontrando para este sistema que el personal actual es adecuado para hatos por encima de 34 vacas.

8.3 ESTRATEGÍAS DE PRODUCCIÓN

Respecto a estrategias en el proceso de reproducción

Esfuerzos en políticas y mejora de las prácticas que aumenten el desempeño reproductivo del ganado lechero, repercutirán en el mantenimiento o crecimiento del hato. Manteniendo constantes las demás condiciones actuales del sistema productivo, aumentar la probabilidad de concepción de las inseminaciones al intervalo 38 a 40% conservará estable el número inicial de animales en un mediano y largo plazo, mientras que tasas superiores a las anteriores permitirán una expansión del inventario progresivamente.

En relación con políticas de reproducción, adicionar un ciclo de inseminación antes de descartar el animal equilibra el flujo de animales, ya que se disminuye la probabilidad de salida por problemas reproductivos, aumentando el tiempo de permanencia del animal como activo en el sistema y dando lugar a nuevos nacimientos que serán suficientes para mantener el nivel.

Respecto a estrategias que impacten la mortalidad

Planes y programas destinados a la disminución de las tasas de aborto y mortinatos no generarán un aumento o estabilidad en los niveles del inventario animal, las probabilidades actuales de ocurrencia de estos dos eventos son suficientes para que el fracaso en la supervivencia durante la gestación y el nacimiento no afecte el nivel del hato.

Respecto a estrategias para disminuir pérdidas en la producción

Una programación individual (vaca por vaca) del procedimiento veterinario de desparasitación reduce los actuales índices de pérdidas de leche en un 70,5%, debido a que somete a retiro por este concepto solamente a vacas que se

encuentren en los trimestres 2.1 y 3, evitando el suministro de purgantes a animales en su periodo de mayor producción de leche.

Respecto al ingreso animal externo al sistema

En el sistema presente no hay programaciones de compras externas de animales, es decir que la manera de reemplazar las salidas es únicamente por medio de la reproducción interna. La modificación a la política de descarte por deficiencia reproductiva logra mantener el nivel de lactantes presente en el año siguiente a su aplicación, por lo que una programación de compras externas de novillas en el inicio de su etapa reproductiva (considerando las probabilidades de concepción, los tiempos de confirmación de preñez y gestación) aumentarán el nivel del hato y este valor se mantendrá a largo plazo desde el segundo año de hacer efectiva la política de compras.

8.4 IMPACTO DE LAS ESTRATEGÍAS DE PRODUCCIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO FINANCIERO

La implementación conjunta de las estrategias de planeación y programación de producción como fue la reducción de pérdidas, políticas encaminadas al aumento de desempeño reproductivo y compras externas programadas aumentan el rendimiento financiero del sistema, por lo cual el modelo es una herramienta para evaluar el impacto económico de este tipo de estrategias.

9. RECOMENDACIONES

En el aspecto reproductivo se recomienda desarrollar un programa encaminado a la mejora de prácticas de inseminación que tenga como objetivo aumentar al menos la probabilidad de concepción al 38%, lo cual evitará una extinción del hato. Además se sugiere implementar una política de descarte por deficiencia reproductiva donde el animal sea desechado solo hasta el cuarto intento fallido de inseminación artificial consecutiva, de esta manera no se disminuirá el nivel del hato ni la vida útil de las vacas.

Respecto a la programación de purga y desparasitación de las vacas lactantes se propone una programación individual por cada animal, iniciando la primera dosis al día 91 posterior al inicio de la lactancia y continuando el tratamiento con los periodos de tiempo ya definidos (segunda dosis 21 días después y desparasitación trimestral), hasta completar dos purgas en lactancia ya que la tercera será cuándo la vaca se encuentre seca.

Los honorarios y el personal deben ser consecuentes con la cantidad de vacas en el hato, por lo tanto la capacidad del personal actual se justifica de acuerdo a los ingresos producto de un hato igual o mayor a 46 vacas, un nivel inferior supondría una reducción en mano de obra.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. (A. Editorial, Ed.). Madrid.
- Banco Agrario de Colombia. (2015). Tasas de interés. Bogotá. Retrieved from <http://www.bancoagrario.gov.co/Documents/TasasBAC.pdf>
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2009). *Discrete-Event System Simulation*. (Prentice Hall, Ed.) (Quinta edi).
- Breves Económicas. (2014, October 25). *El Diario Del Otún*. Pereira.
- Castro Ramírez, Á. (2002). *Ganadería de leche: enfoque empresarial*. (Universidad estatal a distancia de San José, Ed.) (Primera ed). San José.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2013a). Plan Santario de Ganadería. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2013b). Programa para el control y prevención de mastitis. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2014a). Contrato de suministros Ganadería CBA. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2014b). Procedimiento para el lavado del equipo de ordeño. Bogotá.
- Centro de Biotecnología Agropecuaria. (2014c). Registros Ganadería. Bogotá.
- Cha, E., Kristensen, a R., Hertl, J. a, Schukken, Y. H., Tauer, L. W., Welcome, F. L., & Gröhn, Y. T. (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. <http://doi.org/10.3168/jds.2013-7067>
- Coléno, F. C., & Duru, M. (1999). A model to find and test decision rules for turnout date and grazing area allocation for a dairy cow system in spring. *Agricultural Systems*, 61(3), 151–164. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00037-2](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00037-2)
- DeLorenzo, M. a, Spreen, T. H., Bryan, G. R., Beede, D. K., & Van Arendonk, J. a. (1992). Optimizing model: insemination, replacement, seasonal production, and cash flow. *Journal of Dairy Science*, 75(3), 885–896. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77829-1](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77829-1)

- Delorenzo, M. a., & Thomas, C. V. (1996). Dairy Records and Models for Economic and Financial Planning. *Journal of Dairy Science*, 79(2), 337–345. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76369-5](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76369-5)
- Dimap Soluciones SAS. (2015). Especificaciones técnicas de máquina de ordeño y tanque. Bogotá.
- Doole, G. J., & Romera, A. J. (2013). Detailed description of grazing systems using nonlinear optimisation methods: A model of a pasture-based New Zealand dairy farm. *Agricultural Systems*, 122, 33–41. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.08.001>
- Fedegan, & SENA. (2103). *Costos modales en ganadería de leche, Trópico alto de Colombia: Ventana a la competitividad ganadera*. (Estratégica Comunicaciones, Ed.) (Primera). Bogotá.
- Fernández, J. (2005). *Sistemas organizacionales. Teoría y práctica*. (E. U. C. de Colombia, Ed.) (Primera ed). Bogotá.
- Groenendaal, H., Galligan, D. T., & Mulder, H. a. (2004). An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 2146–2157. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70034-X](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70034-X)
- Guimarães, V. P., Tedeschi, L. O., & Rodrigues, M. T. (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. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.007>
- Hart, R. P. S., Larcombe, M. T., Sherlock, R. a., & Smith, L. a. (1998). Optimisation techniques for a computer simulation of a pastoral dairy farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 19(2), 129–153. [http://doi.org/10.1016/S0168-1699\(97\)00039-2](http://doi.org/10.1016/S0168-1699(97)00039-2)
- Henry, G. M., DeLorenzo, M. a., Beede, D. K., Van Horn, H. H., Moss, C. B., & Boggess, W. G. (1995). Determining Optimal Nutrient Management Strategies for Dairy Farms. *J. Dairy Sci.*, 78(3), 693–703. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76681-4](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76681-4)
- Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. (2001). Sistema reproductivo del ganado lechero. Madison: Universidad de Wisconsin.

- Kalantari, a S., Mehrabani-Yeganeh, H., Moradi, M., Sanders, a H., & De Vries, A. (2010). Determining the optimum replacement policy for Holstein dairy herds in Iran. *Journal of Dairy Science*, 93(5), 2262–2270.
<http://doi.org/10.3168/jds.2009-2765>
- La Torre, W. (2001). Métodos de reducción de los días abiertos en bovinos lecheros. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 2.
- Mendenhall, W., & Sincich, T. (1997). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. (P. Hall, Ed.) (Cuarta Edi). México D.F.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución 17 del 2012 (2012). Colombia.
- Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. (2013). *Informe de conyuntura, leche*. Bogotá.
- Modin-Edman, A. K., Öborn, I., & Sverdrup, H. (2007). FARMFLOW-A dynamic model for phosphorus mass flow, simulating conventional and organic management of a Swedish dairy farm. *Agricultural Systems*, 94(2), 431–444.
<http://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.11.007>
- Pinzón, J. (1989). Mastitis Bovina: Tipos, Agentes causales y Diagnósticos. *FONAIAP DIVULGA*, 31.
- Rodríguez Hernández, T. (2001). *Reproducción Bovina*. (GIRARZ, Ed.). Caracas.
- Sanzogni, L., & Kerr, D. (2001). Milk production estimates using feed forward artificial neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 32(1), 21–30. [http://doi.org/10.1016/S0168-1699\(01\)00151-X](http://doi.org/10.1016/S0168-1699(01)00151-X)
- Schmit, T. M., Boisvert, R. N., Enahoro, D., & Chase, L. E. (2009). Optimal dairy farm adjustments to increased utilization of corn distillers dried grains with solubles. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 6105–6115.
<http://doi.org/10.3168/jds.2009-2213>
- Schmit, T. M., & Kaiser, H. M. (2006). Forecasting fluid milk and cheese demands for the next decade. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4924–4936.
[http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72543-7](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72543-7)
- SENA. (1985). *APAREAMIENTO O MONTA*. (CAMINA, Ed.). Bogotá.
- Setianto, N. A., Cameron, D., & Gaughan, J. B. (2014). Identifying Archetypes of an Enhanced System Dynamics Causal Loop Diagram in Pursuit of Strategies

to Improve Smallholder Beef Farming in Java, Indonesia. *Systems Research and Behavioral Science*, 31(5), 642 – 654.

Stephens, E. C., Nicholson, C. F., Brown, D. R., Parsons, D., Barrett, C. B., Lehmann, J., ... Riha, S. J. (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. <http://doi.org/10.1007/s12571-012-0176-1>

Sterman, J. D. (2000). *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. (McGraw-Hill, Ed.). Boston.

SU GANADO. (2015). Retrieved January 1, 2015, from http://www.suganado.com/cat_lista_res.php?precio=&tipo_venta=&id_departamento=&id_catalogo_categoria=7&id_ciudad=&criadero=&edad=24&sexo=&input=Filtrar

Subsecretaría de Desarrollo Rural. (2013). *Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares*. (D. R. P. Y. A. D. M. SECRETARIA DE AGRICULTURA GANADERIA, Ed.). México D.F.

Tedeschi, L. O., Nicholson, C. F., & Rich, E. (2011). Using System Dynamics modelling approach to develop management tools for animal production with emphasis on small ruminants. *Small Ruminant Research*, 98(1-3), 102–110. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.026>

Urdaneta, R., & Olivares, R. (1985). Uso de la Técnica de Inseminación Artificial en Bovinos. *FONAIAP DIVULGA*, 17.

Valenzuela, S. (2014, November 14). Lecheros de Ubaté, olvidados. *El Espectador*. Bogotá.

Van Asseldonk, M. a P. M., Huirne, R. B. M., Dijkhuizen, a. a., & Beulens, a. J. M. (1999). Dynamic programming to determine optimum investments in information technology on dairy farms. *Agricultural Systems*, 62(1), 17–28. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00051-7](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00051-7)

Weber, M., & Schwaninger, M. (2002). Transforming an agricultural trade organization: A system-dynamics-based intervention. *System Dynamics Review*, 18(3), 381–401. <http://doi.org/10.1002/sdr.254>

11. ANEXOS

Anexo 1. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Tasa de producción: Trimestre 1

- Prueba de homogeneidad

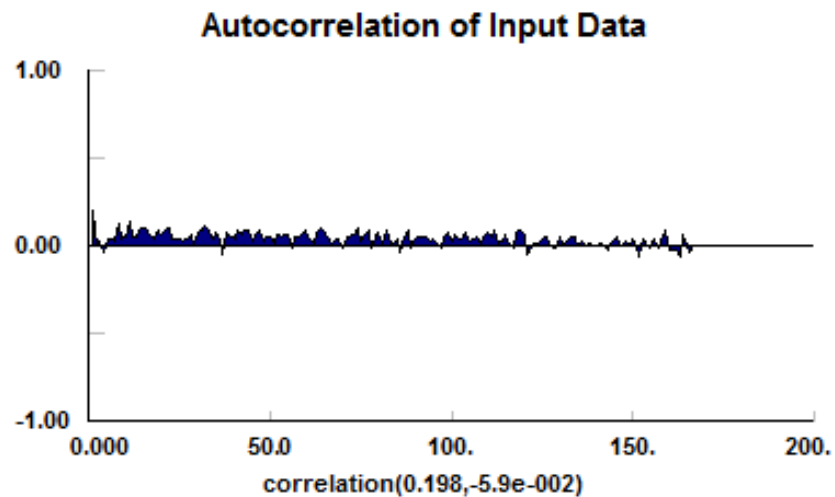
Estadísticos de prueba^{a,b}

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

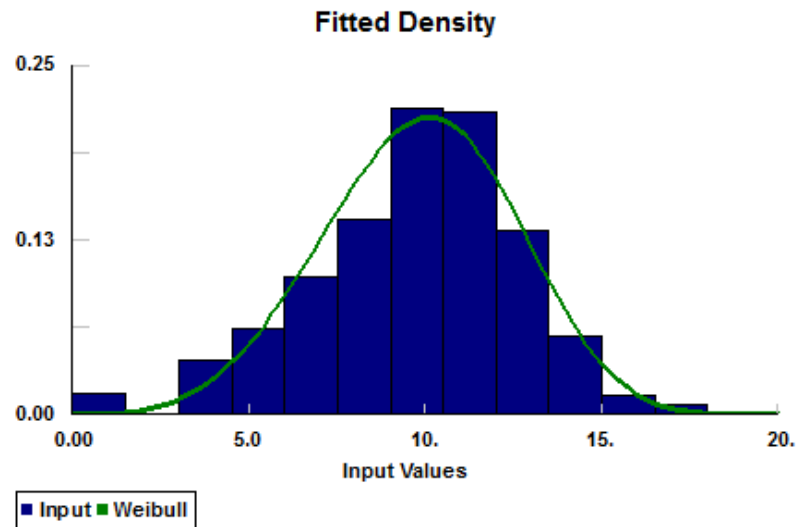
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:
VAR00002

- Prueba de independencia



- Prueba de Bondad y ajuste



Auto::Fit of Distributions

| distribution | rank | acceptance |
|-------------------------------|-----------|---------------|
| Weibull[0., 4.05, 10.8] | 100 | do not reject |
| Beta[0., 18., 5.16, 4.28] | 6.02 | do not reject |
| LogLogistic[0., 5.78, 9.71] | 2.95e-003 | reject |
| Pearson 5[0., 9.16, 81.4] | 0. | reject |
| Triangular[-1., 18., 11.2] | 0. | reject |
| Uniform[0., 18.] | 0. | reject |
| Lognormal[0., 2.24, 0.317] | 0. | reject |
| Rayleigh[0., 7.22] | 0. | reject |
| Power Function[0., 18., 1.54] | 0. | reject |
| Johnson SB | no fit | reject |

Tasa de producción: Trimestre 2.1

- Prueba de homogeneidad

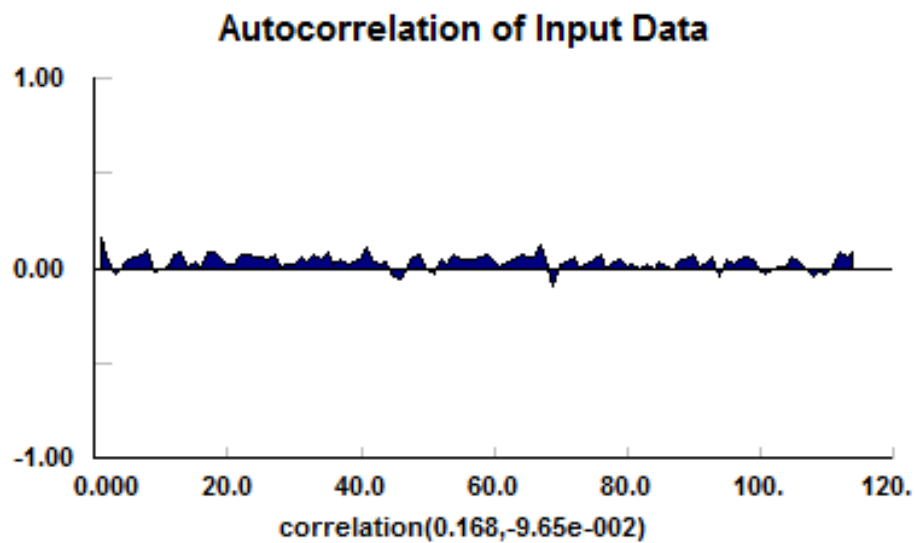
Estadísticos de prueba^{a,b}

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

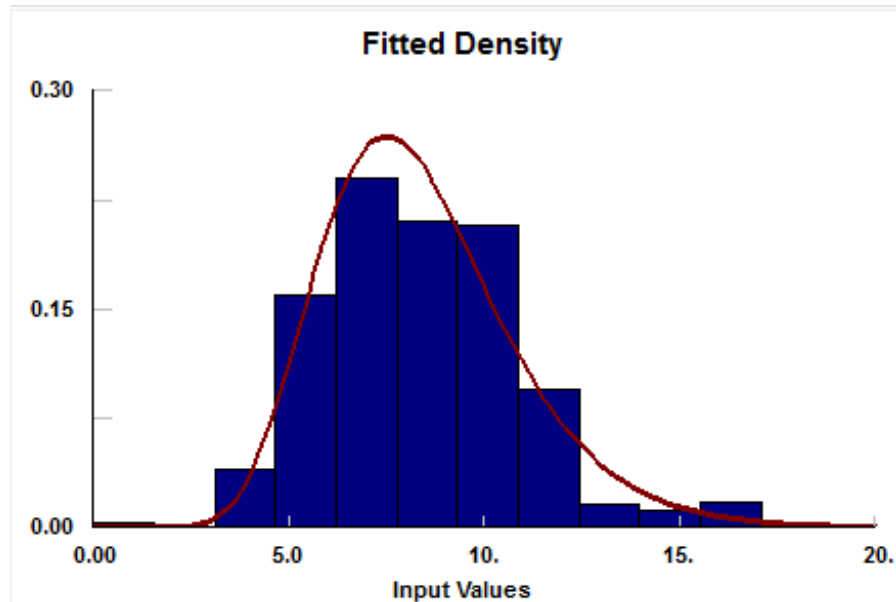
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:
VAR00002

- Prueba de independencia



- Prueba de bondad y ajuste



Auto::Fit of Distributions

| distribution | rank | acceptance |
|------------------------------------|-----------|---------------|
| Pearson 6(0., 19.5, 16.6, 39.6) | 100 | do not reject |
| Gamma(0., 12.8, 0.651) | 45.4 | reject |
| Lognormal(0., 2.08, 0.296) | 28.4 | reject |
| Weibull(0., 3.56, 9.3) | 27.1 | do not reject |
| Inverse Gaussian(0., 95.2, 8.36) | 11. | reject |
| LogLogistic(0., 5.87, 8.1) | 9.95 | reject |
| Erlang(0., 13., 0.651) | 4.5 | reject |
| Pearson 5(0., 11.3, 87.1) | 0.547 | reject |
| Beta(0., 17.1, 4.83, 4.88) | 4.79e-002 | reject |
| Exponential(0., 8.36) | 0. | reject |
| Uniform(0., 17.1) | 0. | reject |
| Triangular(-1., 17.2, 8.47) | 0. | reject |
| Inverse Weibull(0., 3.25, 0.145) | 0. | reject |
| Johnson SB(0., 8.83, -1.22, 0.854) | 0. | reject |
| Rayleigh(0., 6.18) | 0. | reject |
| Chi Squared(0., 9.02) | 0. | reject |
| Power Function(0., 17.1, 1.33) | 0. | reject |
| Pareto | no fit | reject |

Tasa de producción: Trimestre 2.2

- Prueba de homogeneidad

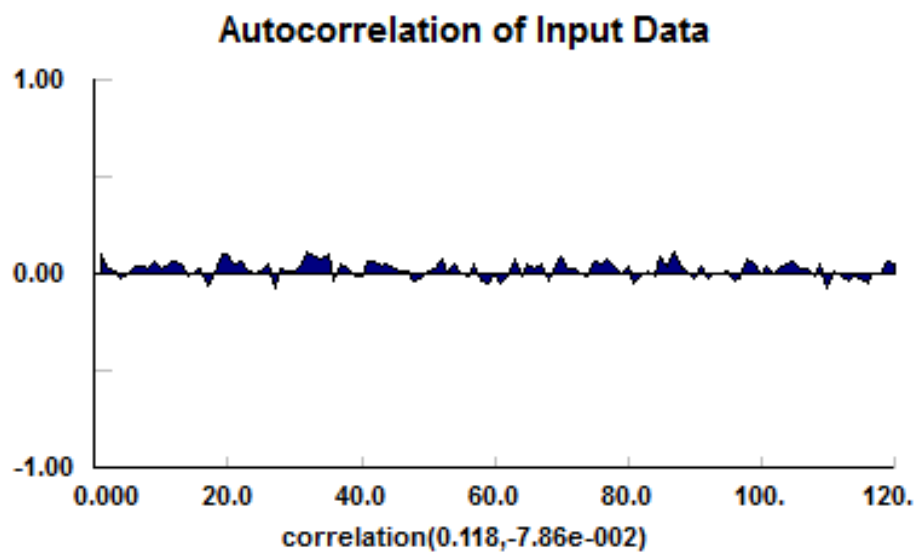
Estadísticos de prueba^{a,b}

| | VAR00001 |
|-----------------|----------|
| Chi-cuadrado | 26,772 |
| Gl | 44 |
| Sig. asintótica | ,981 |

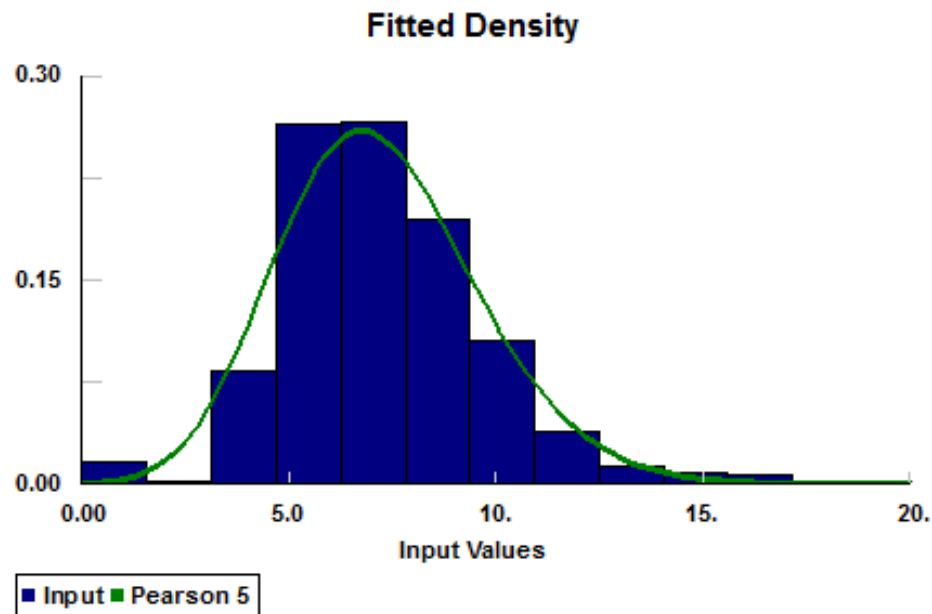
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:
VAR00002

- Prueba de independencia



- Prueba de bondad y ajuste



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}

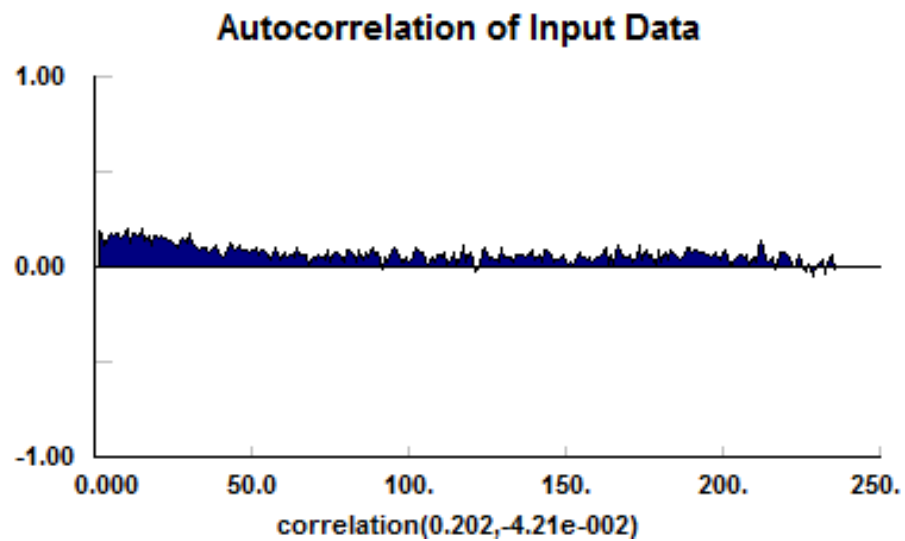
| | LitrosPorOrdeño |
|-----------------|-----------------|
| Chi-cuadrado | 93,540 |
| Gl | 104 |
| Sig. asintótica | ,759 |

•

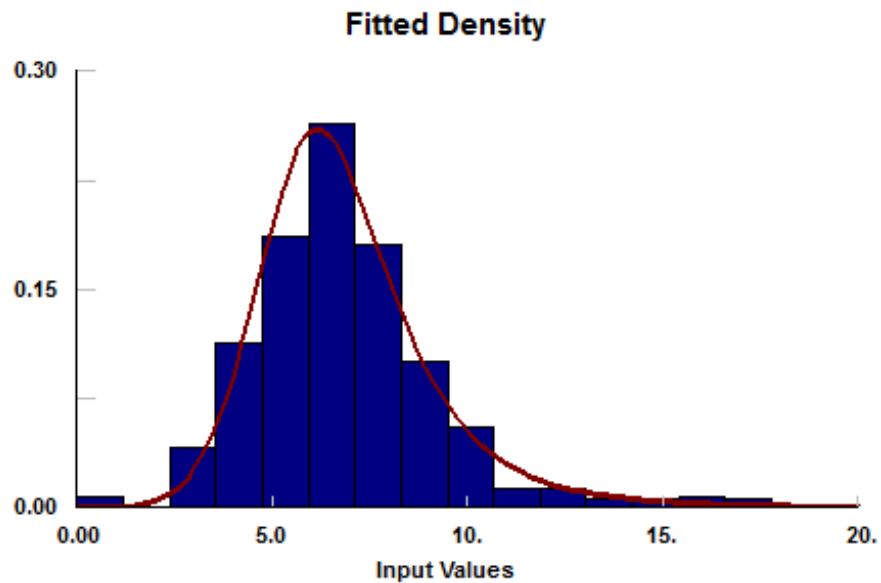
a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:
DíasPostParto

- Prueba de independencia



- Prueba de bondad y ajuste



Auto::Fit of Distributions

| distribution | rank | acceptance |
|--|--------|---------------|
| LogLogistic(0., 5.59, 6.58) | 100 | do not reject |
| Inverse Gaussian(0., 68.2, 6.88) | 9.62 | do not reject |
| Lognormal(0., 1.88, 0.322) | 4.66 | do not reject |
| Gamma(0., 11.3, 0.61) | 1.01 | do not reject |
| Erlang(0., 11., 0.61) | 0.436 | do not reject |
| Pearson 6(0., 4.68e-002, 1.34e+003, 10.) | 0.14 | reject |
| Pearson 5(0., 9.95, 62.2) | 0.129 | reject |
| Exponential(0., 6.88) | 0. | reject |
| Uniform(0., 17.8) | 0. | reject |
| Beta(0., 17.8, 4.33, 6.54) | 0. | reject |
| Triangular(-1., 17.8, 6.18) | 0. | reject |
| Inverse Weibull(0., 3.19, 0.178) | 0. | reject |
| Weibull(0., 2.93, 7.74) | 0. | reject |
| Power Function(0., 17.8, 1.01) | 0. | reject |
| Rayleigh(0., 5.18) | 0. | reject |
| Chi Squared(0., 7.55) | 0. | reject |
| Pareto | no fit | reject |
| Johnson SB | no fit | reject |

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

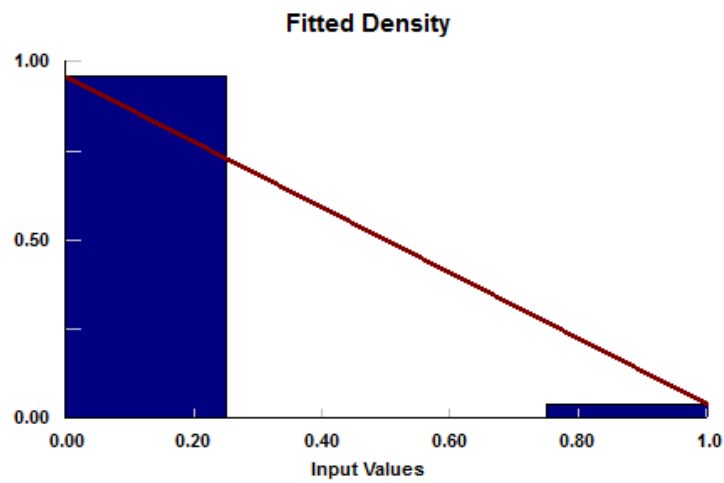
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|-----------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definidos por MastTrim21 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,812 | Conserve la hipótesis nula. |
| 2 | La secuencia de valores definidos por MastTrim1 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,573 | Conserve la hipótesis nula. |
| 3 | La secuencia de valores definidos por MastTrim22 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,623 | Conserve la hipótesis nula. |
| 4 | La secuencia de valores definidos por MastTrim3 = (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., 3.91e-002) | 100 | do not reject |
| Geometric(0.962) | 100 | do not reject |
| Poisson(3.91e-002) | 100 | do not reject |
| Discrete Uniform(0., 1.) | 0. | reject |

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

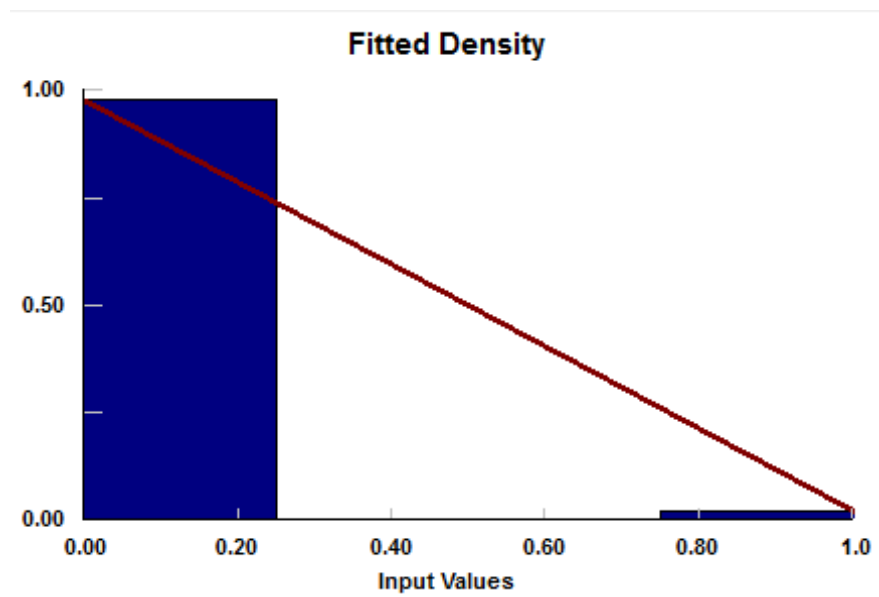
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|-----------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definidos por MastTrim21 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,812 | Conserve la hipótesis nula. |
| 2 | La secuencia de valores definidos por MastTrim1 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,573 | Conserve la hipótesis nula. |
| 3 | La secuencia de valores definidos por MastTrim22 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,623 | Conserve la hipótesis nula. |
| 4 | La secuencia de valores definidos por MastTrim3 = (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

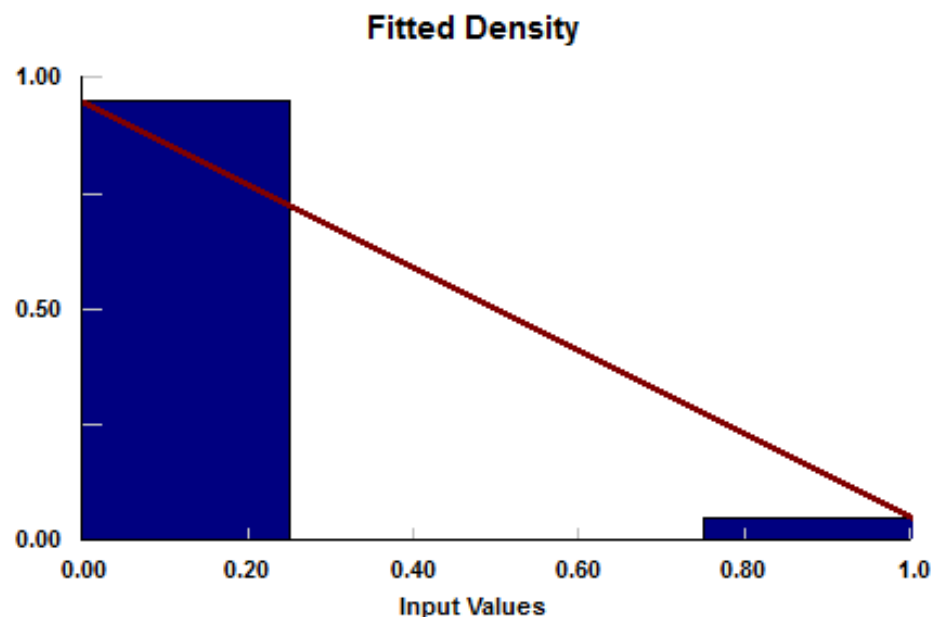
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|-----------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definidos por MastTrim21 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,812 | Conserve la hipótesis nula. |
| 2 | La secuencia de valores definidos por MastTrim1 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,573 | Conserve la hipótesis nula. |
| 3 | La secuencia de valores definidos por MastTrim22 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,623 | Conserve la hipótesis nula. |
| 4 | La secuencia de valores definidos por MastTrim3 = (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., 4.82e-002) | 100 | do not reject |
| Geometric(0.954) | 100 | do not reject |
| Poisson(4.82e-002) | 100 | do not reject |
| Discrete Uniform(0., 1.) | 0. | reject |

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. Variable de agrupación:

MuestraTrim3

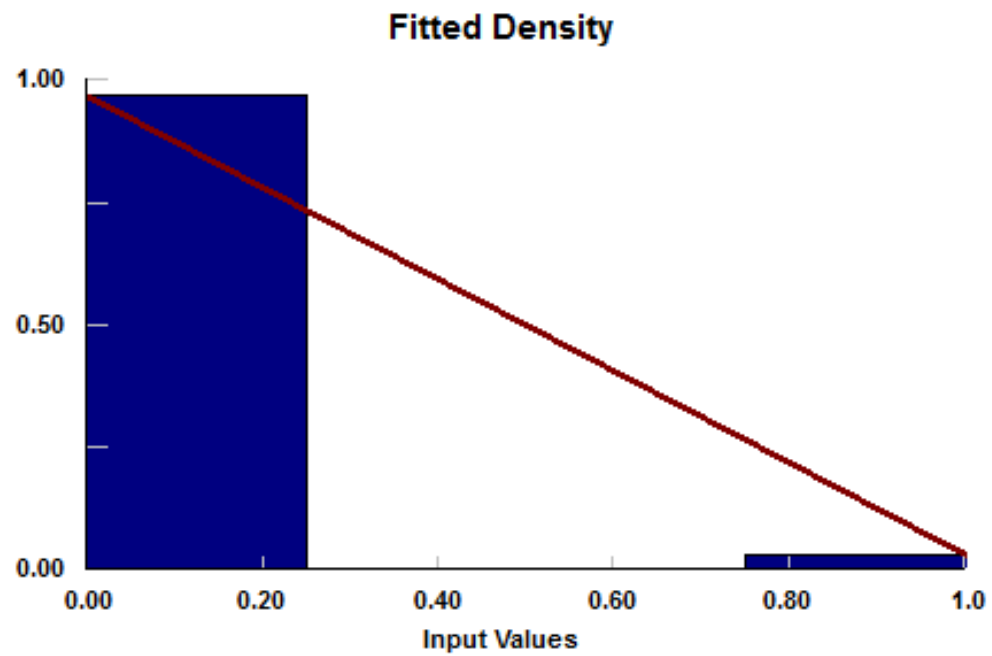
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|-----------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definidos por MastTrim21 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,812 | Conserve la hipótesis nula. |
| 2 | La secuencia de valores definidos por MastTrim1 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,573 | Conserve la hipótesis nula. |
| 3 | La secuencia de valores definidos por MastTrim22 = (0) y (1) es aleatoria. | Prueba de rachas para una muestra | ,623 | Conserve la hipótesis nula. |
| 4 | La secuencia de valores definidos por MastTrim3 = (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., 3.03e-002) | 100 | do not reject |
| Geometric(0.971) | 100 | do not reject |
| Poisson(3.03e-002) | 100 | do not reject |
| Discrete Uniform(0., 1.) | 0. | reject |

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: AñoMuestra

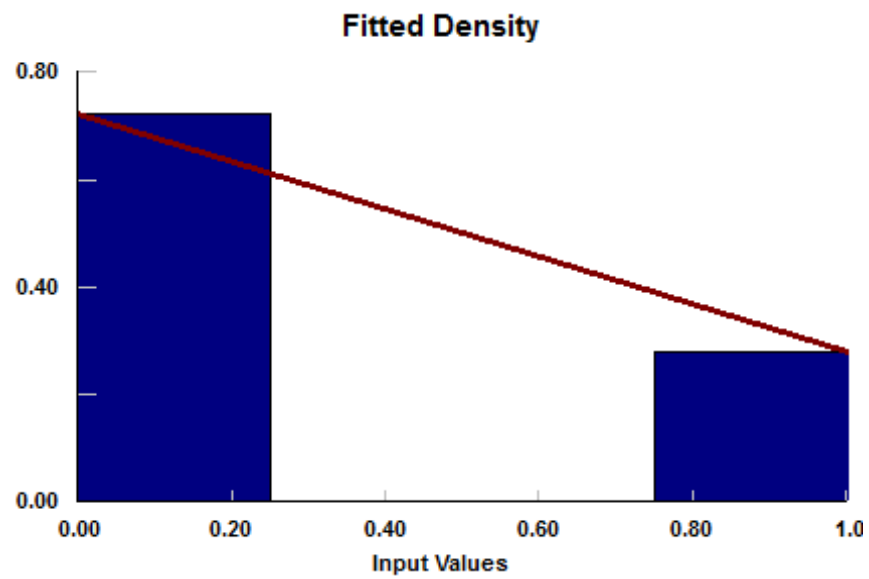
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

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

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

- Prueba de bondad de ajuste



Auto::Fit of Distributions

| distribution | rank | acceptance |
|--------------------------|-----------|---------------|
| Binomial(1., 0.28) | 100 | do not reject |
| Poisson(0.28) | 88.1 | do not reject |
| Geometric(0.781) | 26.6 | do not reject |
| Discrete Uniform(0., 1.) | 1.33e-009 | reject |

Probabilidad de aborto

- Prueba de homogeneidad

Estadísticos de prueba^{a,b}

| | Aborto0Parto1 |
|-----------------|---------------|
| Chi-cuadrado | 2,397 |
| gl | 1 |
| Sig. asintótica | ,122 |

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:
AñoMuestra

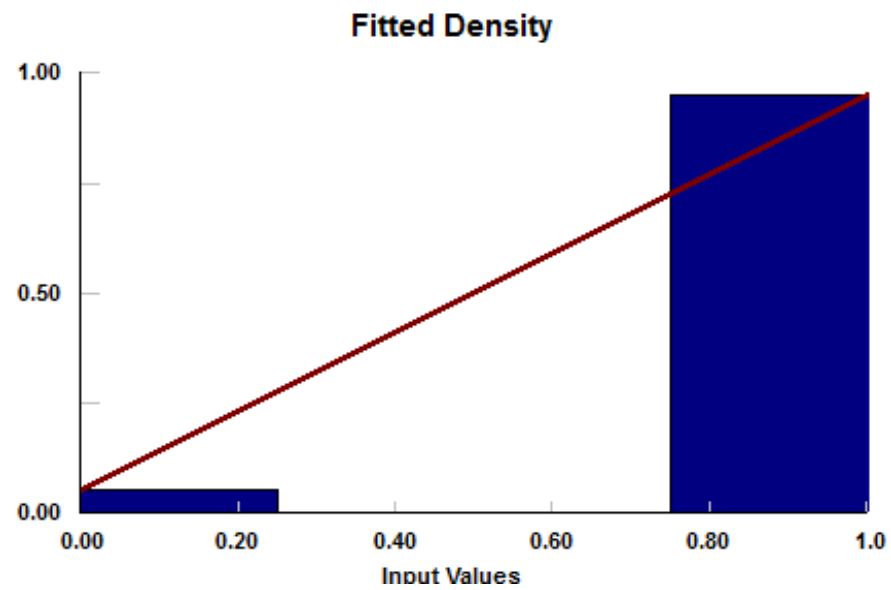
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|-----------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definidos por Aborto0Parto1 ≤ 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



Auto::Fit of Distributions

| distribution | rank | acceptance |
|--------------------------|-----------|---------------|
| Binomial[1., 0.947] | 100 | do not reject |
| Geometric[0.514] | 7.75e-002 | reject |
| Discrete Uniform[0., 1.] | 1.47e-003 | reject |
| Poisson[0.947] | 0. | reject |

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

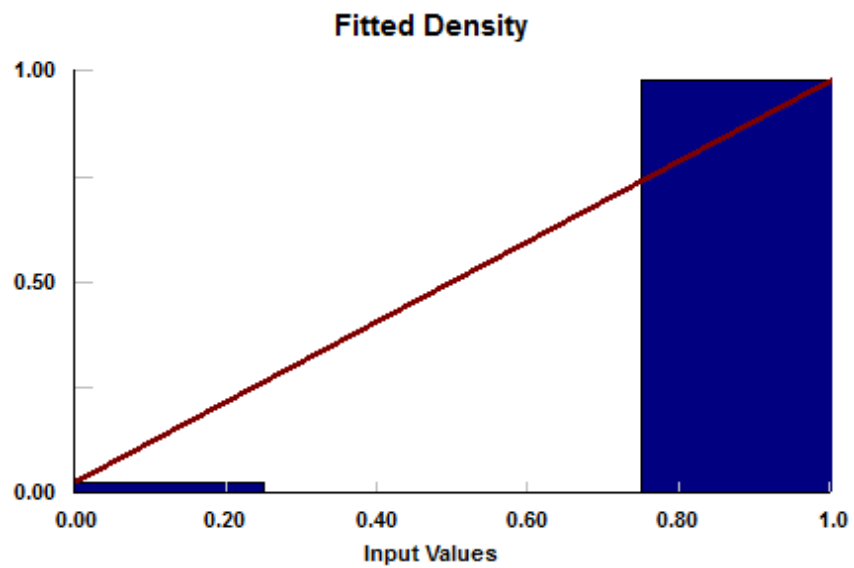
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|---|-------------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definida por Parto1Mortinato0 = (1) y (0) es aleatoria. | Prueba de esrachas para una muestra | ,763 | 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., 0.976) | 100 | do not reject |
| Poisson(0.976) | 3.89e-012 | reject |
| Discrete Uniform(0., 1.) | 0. | reject |
| Geometric(0.506) | 0. | reject |

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

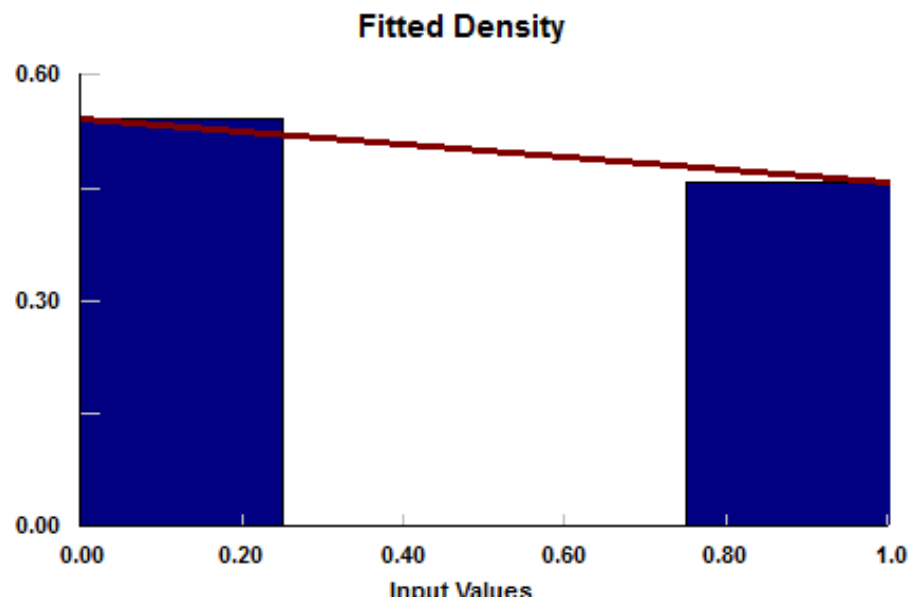
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|------------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definida por Sexo1Hembra0Macho<=0 y >0 es aleatoria. | Prueba de Orachas para una muestra | ,964 | 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., 0.458) | 100 | do not reject |
| Discrete Uniform(0., 1.) | 99.7 | do not reject |
| Poisson(0.458) | 47.8 | do not reject |
| Geometric(0.686) | 5.83 | do not reject |

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

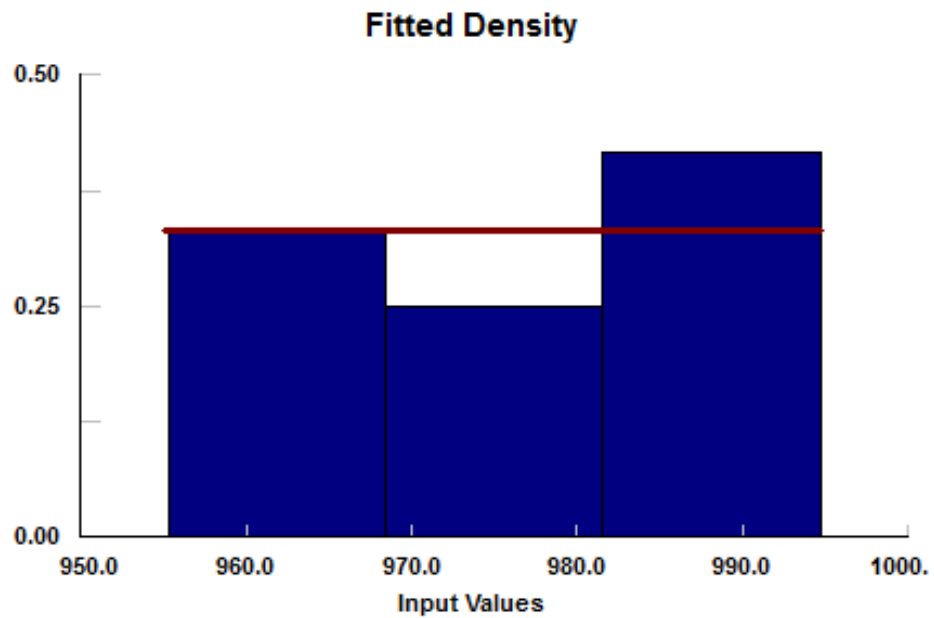
- Prueba de independencia

Resumen de contrastes de hipótesis

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|--|-------------------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | La secuencia de valores definida por PrecioLt \leq 985,00 y $>$ 985,00 es aleatoria. | Prueba de estachas 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) | 50.2 | do not reject |
| Beta(955, 995, 0.775, 0.981) | 43.8 | do not reject |
| LogLogistic(955, 1.44, 16.8) | 38.9 | do not reject |
| Triangular(955, 1.01e+003, 955) | 22.9 | do not reject |
| Lognormal(955, 2.53, 1.42) | 14.5 | do not reject |
| Pearson 5(955, 0.417, 1.09) | 0.611 | reject |
| Johnson SB | no fit | reject |