

**DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A LA TOMA DE DECISIONES EN LA
PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN PECUARIA DE SANTANDER
(COLOMBIA). UN CASO DE APLICACIÓN EN UN HATO GANADERO DE LA
PROVINCIA DE GARCÍA ROVIRA**

**OLGA JANETH RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
MARCO AURELIO LUNA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA – UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN PENSAMIENTO SISTEMICO
BUCARAMANGA, COLOMBIA
MAYO DE 2020**

**DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A LA TOMA DE DECISIONES EN LA
PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN PECUARIA DE SANTANDER
(COLOMBIA). UN CASO DE APLICACIÓN EN UN HATO GANADERO DE LA
PROVINCIA DE GARCÍA ROVIRA**

**OLGA JANETH RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
MARCO AURELIO LUNA GÓMEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas

**Director:
José Daniel Cabrera Cruz**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA – UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN PENSAMIENTO SISTEMICO
BUCARAMANGA, COLOMBIA
MAYO DE 2020**

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de grado de manera especial, a nuestros padres quienes son el cimiento principal en nuestra trayectoria de formación profesional, por habernos inculcado el sentido de la responsabilidad, los deseos de superación, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, lo cual nos ha permitido llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A nuestros hermanos y demás familiares, quienes siempre estuvieron apoyándonos y ofreciéndonos ayuda cuando lo necesitábamos.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos, principalmente a Dios, por permitirnos culminar esta etapa como estudiantes de ingeniería de sistemas.

A José Daniel Cabrera Cruz, Director del proyecto de grado, por apoyarnos y orientarnos, compartiéndonos su conocimiento y destreza en el área de la Dinámica de Sistemas.

A La Universidad Autónoma de Bucaramanga, por darnos la oportunidad de ser parte de ella y brindarnos las herramientas necesarias para formarnos como profesionales íntegros.

Al administrador y los trabajadores del hato la Hoyada el Tejar, por su disposición y colaboración, lo cual fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

A los profesores, que aportaron a nuestra formación su experiencia y conocimiento para formarnos como personas y profesionales.

A nuestros compañeros, que estuvieron presentes en este proceso formativo, que de una u otra manera nos brindaron su apoyo y fueron testigos del esfuerzo y dedicación que hemos invertido.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PROBLEMAS, PREGUNTA, HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.1 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
1.3 SUPUESTOS INICIALES	18
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. MARCO REFERENCIAL	20
3.1 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	20
3.1.1 Pensamiento sistémico	20
3.1.1.1 Teoría de sistemas	21
3.1.1.2 Dinámica de sistemas	23
3.1.2 Sector agropecuario	30
3.1.2.1 Subsector pecuario.....	31
3.1.2.2 Ganadería.....	31
3.1.3 Simulación.....	35
3.1.3.1 Simulador	35
3.1.3.2 Prototipo	35
3.1.3.3 Interfaces gráficas de simulación	36
3.1.4 Toma de decisiones	36
3.1.4.1 Decisión	36
3.1.4.2 Estrategia	36
3.1.4.3 Política	36
3.2 ESTADO DEL ARTE	37
3.3 MARCO CONTEXTUAL.....	43
3.3.1 Características de la finca la Hoyada el Tejar	43
3.3.1.1 Ubicación.....	43
3.3.1.2 Área y perímetro.....	44
3.3.1.3 Climatología	45

3.3.1.4	Recursos hídricos.....	45
3.3.1.5	Tipos de pastos presentes en la finca.....	45
3.3.2	Sistema de producción y comercialización actual de la finca	49
3.3.2.1	Modelo productivo	49
3.3.2.2	Tipo de explotación ganadera.....	50
3.3.2.3	Raza bovina con la que se trabaja en el hato	50
3.3.2.4	Descripción del proceso de producción actual	51
3.3.2.5	Descripción del proceso de comercialización actual	51
3.3.3	Aspectos financieros de la finca.....	51
3.3.3.1	Ingresos.....	51
3.3.3.2	Egresos	52
4.	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	53
4.1	ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	53
4.1.1	Enfoque sistemico	53
4.1.1.1	Dinámica de sistemas	54
4.1.2	Enfoque de Ingeniería de Software	54
4.1.3	Investigación mixta	55
4.2	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	55
4.3	ESQUEMA GENERAL O POR FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	57
4.4	ACTIVIDADES INVESTIGATIVAS REALIZADAS	57
4.4.1	Búsqueda y recolección de literatura científica y tecnológica sobre aplicaciones de la DS al sector agropecuario	58
4.4.2	Organización de la información recolectada	59
4.4.3	Documentación y síntesis de las experiencias nacionales e internacionales encontradas.....	59
4.4.4	Análisis de los requerimientos y/o necesidades en los procesos de producción y comercialización pecuaria	59
4.4.5	Priorización de los requerimientos que serán atendidos por el prototipo de simulador.....	60
4.4.6	Análisis detallado de los modelos encontrados en la revisión de literatura	60
4.4.7	Ajuste e integración de modelos de DS de acuerdo con los requerimientos priorizados	60
4.4.8	Simulación y validación del modelo ajustado e integrado según los parámetros del hato ganadero la Hoyada el Tejar	60
4.4.9	Diseño del prototipo de interfaz de simulación, soportado en el modelo validado	62
4.4.10	Implementación del prototipo de interfaz utilizando Powersim	62
4.4.11	Prueba y ajuste del prototipo de interfaz con la participación de actores vinculados al hato.....	62

5.	RESULTADOS	63
5.1	DOCUMENTACIÓN Y SÍNTESIS DE LAS APLICACIONES DE DS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA ..	63
5.2	MODELO DE SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS	65
5.2.1	Diagramas causales del hato la Hoyada el Tejar	65
5.2.2	Diagramas de Flujos y niveles del hato la Hoyada el tejar	67
5.2.2.1	Modelo poblacional	67
5.2.2.2	Modelo financiero.....	68
5.2.2.3	Modelo de alimentación	69
5.2.3	Validación del modelo.....	76
5.2.3.1	Número de bovinos totales	76
5.2.3.2	Terneros en lactancia.....	77
5.2.3.3	Terneros en levante.....	78
5.2.3.4	Novillos de engorde.....	79
5.2.3.5	Toros sementales	80
5.2.3.6	Terneras en lactancia	80
5.2.3.7	Terneras en levante.....	81
5.2.3.8	Terneras preñadas	81
5.2.3.9	Vacas de ordeño.....	82
5.2.3.10	Vacas de secas	83
5.3	PROTOTIPO ILUSTRATIVO DE INTERFAZ DE SIMULACIÓN.....	83
5.3.1	Interfaz de finanzas	85
5.3.2	Interfaz de inventario.....	85
5.3.3	Interfaz de compras	86
5.3.4	Interfaz de ventas.....	87
5.3.5	Interfaz de escenarios	88
5.3.6	Interfaz de trabajadores	90
5.3.7	Interfaz de opciones avanzadas	90
6.	CONCLUSIONES.....	92
7.	RECOMENDACIONES	94
	REFERENCIAS	95
	ANEXOS	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de necesidades en el sector pecuario	17
Cuadro 2. Corrientes sistémicas	20
Cuadro 3. Síntesis artículos revisados en la literatura.....	38
Cuadro 4. Técnicas e instrumentos de recolección de información utilizados	56
Cuadro 5. Actividades del proyecto su relación con los objetivos específicos, las fases y los resultados obtenidos	58
Cuadro 6. Priorización de artículos	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso con Dinámica de Sistemas.....	23
Figura 2. Imágenes básicas de la estructura y del comportamiento de un sistema	24
Figura 3. Diagrama de influencias básico del proceso de llenar un vaso de agua	24
Figura 4. Representación de un ciclo positivo y su comportamiento gráficamente	25
Figura 5. Representación de un ciclo negativo y su comportamiento gráficamente	25
Figura 6. Representación de un diagrama de flujos y niveles	26
Figura 7. Simulación de los comportamientos de un sistema	27
Figura 8. Representación de un nivel en Powersim [Captura de pantalla].....	28
Figura 9. Representación de un canal de material en Powersim [Captura de pantalla]	28
Figura 10. Representación de un flujo en Powersim [Captura de pantalla]	29
Figura 11. Representación de canal de información Powersim [Captura de pantalla].....	29
Figura 12. Representación de una nube y pozo en Powersim [Captura de pantalla]	29
Figura 13. Representación de una constante en Powersim [Captura de pantalla]	29
Figura 14. Representación de una variable en Powersim [Captura de pantalla]	29
Figura 15. Representación de un retardo en Powersim [Captura de pantalla]	30
Figura 16. Representación de un submodelo en Powersim [Captura de pantalla]	30
Figura 17. Mapa de procesos ganadería bovina.	34
Figura 18. Clasificación documentos revisados por temáticas.....	37
Figura 19. Ubicación municipio de San José de Miranda	43
Figura 20. Sección 1 finca La Hoyada el Tejar	44
Figura 21. Sección 2 finca la Hoyada el Tejar	44
Figura 22. Sección 3 finca la Hoyada el Tejar	45
Figura 23. Pasto Kikuyo [Fotografía].....	46
Figura 24. Pasto Trébol rojo [Fotografía].....	46
Figura 25. Pasto Ray Grass [Fotografía]	47
Figura 26. Pasto Falsa Poa [Fotografía]	47
Figura 27. Pasto Elefante [Fotografía]	48
Figura 28. Pasto imperial [Fotografía]	48
Figura 29. Bovino macho en ceba [Fotografía].....	49
Figura 30. Vaca en etapa de ordeño [Fotografía]	49
Figura 31. Bovinos raza Normando [Fotografía]	50
Figura 32. Fases del prototipado evolutivo	55
Figura 33. Fases del proyecto.....	57
Figura 34. Registro de ganado bovino hato la Hoyada el Tejar	61
Figura 35. Proceso de validación del modelo con actores del hato.....	61
Figura 36. Proceso de prueba del prototipo con el administrador del hato	62
Figura 37. Diagrama causal sistema poblacional hato la Hoyada el Tejar.....	66
Figura 38. Diagrama causal sistema financiero hato la Hoyada el Tejar	66
Figura 39. Diagrama causal subsistema de pasto	67
Figura 40. Diagrama causal subsistema de concentrado	67

Figura 41. Diagrama de flujos y niveles sistema poblacional hato la Hoyada el Tejar	68
Figura 42. Diagrama de flujos y niveles sistema financiero hato la Hoyada el Tejar.....	69
Figura 43. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Preparto en la Hoyada el Tejar	70
Figura 44. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Masleche en la Hoyada el Tejar	70
Figura 45. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado engorde en la Hoyada el Tejar.....	71
Figura 46. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Manná en la Hoyada el Tejar.....	71
Figura 47. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Manná en la Hoyada el Tejar.....	72
Figura 48. Modelado cálculo dinero por compra de concentrados hato la Hoyada el Tejar	72
Figura 49. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Kikuyo.....	73
Figura 50. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Trébol rojo	73
Figura 51. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Ray Grass	74
Figura 52. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Falsa Poa	74
Figura 53. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Elefante	75
Figura 54. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Imperial	75
Figura 55. Modelado cálculo peso vivo total de las reses en el Hato.....	76
Figura 56. Gráfica del total de bovinos, valor real versus valores simulados.	78
Figura 57. Gráfica de terneros en lactancia, valor real versus valores simulados.....	78
Figura 58. Gráfica terneros en levante, valor real versus valores simulados.	79
Figura 59. Gráfica de novillos de engorde, valor real versus valores simulados	79
Figura 60. Gráfica de toros sementales, valor real versus valores simulados.	80
Figura 61. Gráfica de terneras en lactancia, valor real versus valores simulados.....	80
Figura 62. Gráfica de terneras de levante, valor real versus valores simulados.....	81
Figura 63. Gráfica de novillas preñadas, valor real versus valores simulados.....	82
Figura 64. Gráfica de vacas de ordeño, valor real versus valores simulados.....	82
Figura 65. Gráfica de vacas secas, valor real versus valores simulados.	83
Figura 66. Diagrama de casos de uso del prototipo simulador	84
Figura 67. Interfaz financiera del simulador.	85
Figura 68. Interfaz de inventarios del simulador.....	86
Figura 69. Interfaz de compras del simulador.....	87
Figura 70. Interfaz de ventas del simulador.	88
Figura 71. Interfaz de escenarios del simulador.....	89
Figura 72. Interfaz de trabajadores en el simulador.	90
Figura 73. Interfaz de opciones avanzadas en el simulador.	91

LISTA DE ACRÓNIMOS

UNAB: Universidad Autónoma de Bucaramanga.

DS: Dinámica de sistemas.

FEDEGAN: Federación Colombiana de Ganaderos.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario.

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Cuadro con la terminología para la búsqueda web de información.....	102
Anexo 2. Información finca la Hoyada el Tejar	103
Anexo 3. Descripción de experimentos realizados para obtener datos en el hato.....	105
Anexo 4. Documentación detallada de documentos priorizados en la revisión de literatura.....	106
Anexo 5. Consentimiento firmado	137
Anexo 6. Modelo matemático	138

DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A LA TOMA DE DECISIONES EN LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN PECUARIA DE SANTANDER (COLOMBIA). UN CASO DE APLICACIÓN EN UN HATO GANADERO DE LA PROVINCIA DE GARCÍA ROVIRA

Olga Janeth Rodríguez Rodríguez

Marco Aurelio Luna Gómez

José Daniel Cabrera Cruz (Director de proyecto de grado)

Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB (Colombia)

Programa de Ingeniería de Sistemas

Grupo de investigación en pensamiento sistemático

Línea de investigación en modelamiento, simulación y aprendizaje en organizaciones y comunidades con enfoques sistemáticos.

RESUMEN

En la actualidad los productores pecuarios deben tomar decisiones que afectan la productividad de sus hatos, usualmente, estas decisiones se toman de manera intuitiva, sin una noción de los posibles efectos a mediano y largo plazo. Por lo que, es importante conocer la manera en que se puede aplicar la dinámica de sistemas (DS) para apoyar la toma de decisiones en la producción y comercialización pecuaria de un hato ganadero.

Este proyecto tuvo como objetivo construir un simulador soportado en un modelo de DS para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el proceso de producción y comercialización en un hato ganadero de la provincia de García Rovira, Santander.

Inicialmente se realizó una revisión sobre las aplicaciones de DS en los procesos de producción y comercialización agropecuaria, posteriormente se construyó y validó un modelo de DS soportado en la documentación encontrada y adaptado a las características del hato “La Hoyada el Tejar”, para finalmente elaborar el prototipo simulador.

Como resultados del proyecto se obtuvieron: aplicaciones de DS en los procesos de producción y comercialización agropecuaria; un modelo de simulación con DS orientado a la toma de decisiones en un hato ganadero de la provincia de García Rovira y, por último, un prototipo ilustrativo de interfaz de simulación para los ganaderos del hato.

Uno de los logros con este proyecto fue despertar en los trabajadores del hato la Hoyada el Tejar el interés por el uso de herramientas tecnológicas que apoyen la toma de decisiones en sus procesos productivos, lo cual antes no consideraban.

Palabras clave: Dinámica de sistemas, modelo de simulación, simulador, toma de decisiones, pecuario, hato ganadero, agropecuario, ganadería bovina, granja.

**SYSTEMS DYNAMICS APPLIED TO THE DECISIONMAKING IN LIVESTOCK
PRODUCTION AND COMMERCIALIZATION OF SANTANDER (COLOMBIA).
AN APPLICATION CASE IN A HERD OF THE PROVINCE OF GARCÍA
ROVIRA**

Olga Janeth Rodriguez Rodriguez

Marco Aurelio Luna Gómez

José Daniel Cabrera Cruz (Director de proyecto de grado)

Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB (Colombia)

Programa de Ingeniería de Sistemas

Grupo de investigación en pensamiento sistemático

Línea de investigación en modelamiento, simulación y aprendizaje en organizaciones y comunidades con enfoques sistemáticos.

ABSTRACT

At present, livestock producers must make decisions that affect the productivity of their herds, usually, these decisions are made intuitively, without a notion of the possible effects in the medium and long term. Therefore, it is important to know how Systems Dynamics (SD) can be applied to support decision making in livestock production and marketing of a cattle herd.

This project aimed to build a simulator backed by a SD model to support decision-making related to the production and marketing process in a cattle herd that is located in García Rovira province, Santander.

Initially, a review of the applications of SD in agricultural production and marketing processes was carried out, then a SD model was built and validated based on the documentation found and adapted to “La Hoyada el Tejar” herd features, to finally elaborate a simulator prototype.

The results obtained in this project were: applications of SD in agricultural production and marketing processes; a simulation model with SD oriented to decision-making in a cattle herd in the García Rovira province and, finally, an illustrative simulation interface prototype for cattle herders.

One of the achievements with this project was to awaken in the La Hoyada el Tejar herd workers the interest in the use of technological tools that support decision-making in their productive processes, thing which they haven't consider before.

Key words: System dynamics, simulation model, simulator, decision making, livestock, herds, agricultural, cattle raising, farm.

INTRODUCCIÓN

Los productores pecuarios, es decir, los dedicados a los diferentes tipos de ganado, con frecuencia tienen que tomar decisiones que afectan la productividad de su granja. En la actualidad estas decisiones se toman intuitivamente, sin tener una clara conciencia de los efectos a mediano y largo plazo de las mismas, suele suceder, porque muy pocas veces buscan el asesoramiento de un profesional en el área y como lo asegura el médico veterinario Leonardo Salas (citado por (CONtexto ganadero, 2016)), “muchos productores tienden a hacer gastos innecesarios en artículos que en vez de aportarle al sistema productivo generan es un detrimento del mismo. Eso se debe a que no dejan que un experto del campo brinde su conocimiento y lo ponga en favor de la explotación”. Se trata con frecuencia de decisiones de alta complejidad en las cuales confluyen múltiples elementos y relaciones del sistema que actúan en diferentes momentos del mismo. De esta manera, la toma de decisiones de un productor a veces se parece a la toma de decisiones en un juego de azar.

Entre las decisiones del tipo anterior que toma el productor pecuario, se encuentran: la raza adecuada a las características específicas de una explotación pecuaria; la cantidad y tipo de alimentación para la mayor productividad; la inversión en equipos, infraestructura y cantidad de animales con mayor impacto en el rendimiento; el momento oportuno para la venta teniendo en cuenta la dinámica del desarrollo del animal versus la dinámica de precios de mercado; entre otras.

La Dinámica de Sistemas – DS ha sido utilizada en Colombia y el mundo para apoyar procesos de toma de decisiones relacionadas con la producción y comercialización agropecuaria. El presente trabajo identificó y aprovechó las oportunidades que brinda la DS para apoyar la toma de decisiones en diferentes niveles de la producción y comercialización en el sector pecuario de Colombia, haciendo énfasis en el departamento de Santander.

Como una concreción de lo anterior, se construyó un simulador soportado en un modelo de DS para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el proceso de producción y comercialización en un hato ganadero de la provincia de García Rovira.

Para la construcción del simulador mencionado, en primer lugar, se realizó una revisión documental de experiencias nacionales e internacionales relevantes de aplicación de la DS a procesos de producción y comercialización agropecuaria. En segundo lugar, se construyó y validó un modelo de simulación con DS, teniendo en cuenta las experiencias nacionales e internacionales revisadas y las variables comparables del sistema con valores históricos del hato la Hoyada el Tejar, orientándolo siempre a apoyar la toma de decisiones en el hato mencionado. Por último, se elaboró una interfaz que facilita la utilización por parte de usuarios del hato, con apoyo en los recursos que brindan herramientas tecnológicas existentes para la construcción de modelos de DS, como lo es Powersim.

1. PROBLEMAS, PREGUNTA, HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo tiene el propósito de describir las diferentes problemáticas y/o necesidades que enfrentan los productores pecuarios en el proceso de toma de decisiones relacionados con la producción y comercialización de sus hatos.

El capítulo se organiza en: los problemas de investigación, en donde se realiza una descripción de cada una de las problemáticas, oportunidades de mejora y necesidades de los productores pecuarios; posteriormente, la justificación que evidencia la importancia del presente proyecto en el sector en el cual se trabajó; la pregunta de investigación cuya respuesta da solución a las problemáticas planteadas para el proyecto desde la DS; y la hipótesis de investigación en donde se plantean unos supuestos iniciales que dan respuesta a la pregunta de investigación formulada.

1.1 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

En Colombia, la ganadería contribuye con el 1,6 % del PIB y genera el 6% del empleo nacional (FEDEGAN, 2019), en las últimas décadas, debido al cambio climático se han presentado diferentes situaciones que generalmente afectan el nivel y la calidad del agua o de los pastizales, lo que representa millonarias pérdidas en este sector, debido a que son situaciones que no se prevén.

La incertidumbre en la toma de decisiones para los ganaderos colombianos es un denominador común, ya que, cuando de decidir se trata, estos recurren a la experiencia adquirida en los años que llevan desempeñando esta actividad económica y muy pocas veces apelan a la opinión de expertos o a estudios previos dependiendo de la situación que enfrenten, por ejemplo, cuando ocurre una sequía el refuerzo en la alimentación de los animales se hace necesario para que estos puedan desarrollarse de manera adecuada, dependiendo de su etapa fisiológica. Sánchez (citado por (CONtextoganadero, 2019)) refiere que los ganaderos desconocen la composición del concentrado que le suministran a su ganado o cómo este afectan la producción. Otra situación muy común para los productores pecuarios es el no saber cómo determinar cuál es el tipo de ganado ideal para la producción, dependiendo del propósito del hato (Producción de leche, de carne o doble propósito) y las condiciones ambientales del mismo (AGRONEGOCIOS, 2015).

En el **Cuadro 1** se muestran algunas de las necesidades o problemas que involucran decisiones que generalmente debe tomar un productor ganadero y que determinan o afectan de alguna forma la productividad de su granja:

Cuadro 1. Descripción de necesidades en el sector pecuario

Necesidad, problema y/u oportunidad de mejora	Descripción	Decisiones involucradas	Fuente
Suplementar la alimentación de los animales en épocas de sequía.	Los ganaderos han escuchado hablar de la importancia de suplementar sus animales sobre todo en épocas de sequía cuando los pastos escasean o pierden calidad. Silos y henos de diferentes clases son elegidos la primera opción alimenticia. Los concentrados, por tener un costo más elevado, no siempre hacen parte de la dieta, aun cuando también representan un alimento complementario, sobre todo en ganado de leche.	Escoger la mejor opción de alimentación suplementaria que aporte los nutrientes que necesitan sus reses (forrajes secos o concentrados)	(Santos, 2015)
Suministrar los suplementos alimenticios y las cantidades adecuadas a los bovinos.	Los ganaderos en ocasiones no se encuentran completamente informados sobre las cantidades y que suplementos alimenticios deben suministrar a sus animales dependiendo la etapa fisiológica de los mismos y sus necesidades nutricionales.	Elegir el suplemento y la cantidad ideal a suministrar a los animales, ya sea un peso adecuado (Cantidad de gramos en caso de ser un alimento sólido) y volumen adecuado (Litros en caso de ser un suplemento líquido).	Humberto Rodríguez, Ganadero de la región
Identificar la raza bovina adecuada para favorecer el propósito productivo de la finca o hato.	Cada raza de bovinos tiene un propósito productivo, por ejemplo, algunas razas son ideales para la producción lechera y otras son adecuadas para la producción de carne. Para que una finca obtenga mayores beneficios en su producción es importante identificar qué raza es la ideal dependiendo el propósito y las condiciones de la finca ganadera.	Identificar cual raza trae más beneficios dependiendo el propósito de producción y comercialización de la finca ya sea el caso de producción de leche o de carne.	Humberto Rodríguez, Ganadero de la región
Establecer si la inversión en la compra de suplementos para la alimentación de los bovinos favorece las utilidades de un hato ganadero	Es importante determinar si para una finca ganadera es conveniente invertir en suplementar la alimentación de los animales, es decir si genera algún incremento en las utilidades.	Si se invierte o no en la compra de suplementos alimenticios para los animales.	Humberto Rodríguez, Ganadero de la región
Verificar la rentabilidad de un negocio ganadero	Para cualquier negocio de producción y comercialización ganadera es importante determinar si es rentable para sus administradores.	La rentabilidad de un negocio ganadero determina la continuidad y permanencia de este.	Humberto Rodríguez, Ganadero de la región
Establecer el número máximo de reses que se pueden tener.	Muy pocos ganaderos conocen cual es la capacidad que tiene su terreno para criar un determinado número de reses, la cual varía de acuerdo con la zona, el estado de lluvias, tipo de forraje, suplementación y edad y peso del animal.	Tener un promedio constante de número de reses por hectárea de terreno basado en la experiencia que se lleva en trabajando en el sector pecuario o realizar estudios del terreno para determinarlo.	(CONtextoganadero, 2015)

Fuente: elaboración propia

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo aplicamos la DS para apoyar la toma de decisiones en la producción y comercialización pecuaria de un hato ganadero de Santander?

1.3 SUPUESTOS INICIALES

La DS se puede utilizar para apoyar decisiones en un hato ganadero, tales como:

- La alimentación para la mayor productividad;
- La inversión con mayor impacto en el rendimiento;
- El momento para la venta según el desarrollo del animal.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Tomar malas decisiones, no ser riguroso con lo que se invierte o apostar a un sistema productivo que no sea el adecuado para la zona, pueden ser algunas de las razones para que la actividad no prospere y el empresario quiebre” (CONtexto ganadero, 2016). Teniendo en cuenta lo anterior y las problemáticas mencionadas en la Sección 1.1, se considera pertinente este proyecto, que es una iniciativa para brindar una herramienta tecnológica que sirva como soporte a los encargados de tomar decisiones en un hato y que, de esta manera, puedan modificar o reafirmar las decisiones que se toman diariamente, las cuales se reflejan finalmente en los ingresos provenientes de este proceso productivo.

Generalmente los ganaderos no están muy familiarizados con el uso de plataformas digitales, por consiguiente, es pertinente que estas cuenten con interfaces intuitivas y muestren resultados entendibles a sus usuarios.

Teniendo en cuenta que cada hato posee características particulares, las herramientas que se brinden a este sector deben ser flexibles a las variaciones que puedan haber de un hato a otro.

2. OBJETIVOS

En este capítulo se detallan los objetivos que se plantearon para dar cumplimiento a las metas del proyecto.

El capítulo se organiza en dos secciones, inicialmente se encuentra el objetivo general, el cual refleja la meta final a la que se quiere llegar con el desarrollo del proyecto y posteriormente los objetivos específicos, los cuales representan las acciones que se realizaron para dar cumplimiento al objetivo general y posterior entrega del producto final.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de simulador de un hato ganadero de la Provincia de García Rovira (Santander, Colombia), basado en un modelo de Dinámica de Sistemas para el apoyo a la toma de decisiones en la producción y comercialización, como caso ilustrativo de aplicación al sector pecuario regional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir experiencias nacionales e internacionales de aplicación de la Dinámica de Sistemas a procesos de producción y comercialización agropecuaria, haciendo énfasis en el sector pecuario, a partir de la revisión de literatura científica y tecnológica.
- Construir un modelo de simulación con Dinámica de Sistemas, teniendo en cuenta las experiencias nacionales e internacionales revisadas, que apoye la toma de decisiones en la producción y comercialización de un hato ganadero de la Provincia de García Rovira en el departamento de Santander.
- Implementar un prototipo de interfaz de simulación, basado en el modelo de Dinámica de Sistemas construido, como ilustración a los ganaderos de su aporte a la toma de decisiones.

3. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan los conceptos, teorías, trabajos similares y el contexto en el cual se desarrolló el proyecto.

El capítulo se organiza en las siguientes secciones: marco contextual y teórico, donde se definen una serie de términos y temáticas relacionados con el proyecto; estado del arte, donde se documenta la revisión de trabajos realizados por diferentes autores, especificando las temáticas que abordan, los aportes y se logra hacer una diferenciación con este proyecto; y, por último, el marco contextual, donde se hace una caracterización del hato con cual se trabajó para llevar a cabo la simulación y validación del modelo.

3.1 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

Esta sección tiene el propósito de mostrar todos los conceptos y teorías o referentes teóricos que fueron considerados clave para el desarrollo del proyecto, con base en las problemáticas en las que se trabajó y el contexto en el cual se aplicó.

3.1.1 Pensamiento sistémico

Senge (2012) define el pensamiento sistémico como la disciplina que integra otras cuatro (visión compartida, los modelos mentales, el aprendizaje en equipo y el dominio personal), con el fin de lograr un aprendizaje a través de una visión del “todo” que va más allá de la suma de las partes.

El pensamiento sistémico según Senge (2012) “es una disciplina para ver totalidades. Es un marco para ver interrelaciones en vez de cosas, para ver patrones de cambio en vez de “instantáneas” estáticas.” (pág. 91)

Cuadro 2. Corrientes sistémicas

Corriente sistémica	Exponentes
Teoría general de sistemas	Ludwing von Bertalanffy
Dinámica de sistemas	Jay W. Forrester
Cibernética	Norbert Wener y Ross Ashby
Cibernética organizacional	Stafford Beer
Metodología de los sistemas blandos	Peter Checkland
Sistemología interpretativa	Fuenmayor
Sistemas autopoyéticos	Humberto Maturana y Francisco Varela
Intervención total de sistemas	Michael C. Jackson
Investigación de operaciones	Hamdy A Taha

Fuente: Elaboración propia

Corrientes sistémicas

Desde la perspectiva de pensamiento sistémico a lo largo de la historia han surgido una serie de serie de corrientes, en el **Cuadro 2** se mencionan algunas de estas corrientes y sus principales exponentes.

3.1.1.1 Teoría de sistemas

Johansen (1982) hace un breve resumen sobre lo que es la Teoría de sistemas:

El primer expositor de la Teoría General de los Sistemas fue Ludwig von Bertalanffy, en el intento de lograr una metodología integradora para el tratamiento de problemas científicos. La meta de la Teoría General de los Sistemas no es buscar analogías entre las ciencias, sino tratar de evitar la superficialidad científica que ha estancado a las ciencias. Para ello emplea como instrumento, modelos utilizables y transferibles entre varios continentes científicos, toda vez que dicha extrapolación sea posible e integrable a las respectivas disciplinas. (pág. 8)

Sistema

Puleo (como se citó en Johansen 1982) afirma que un sistema es "un conjunto de entidades caracterizadas por ciertos atributos, que tienen relaciones entre sí y están localizadas en un cierto ambiente, de acuerdo con un cierto objetivo". (pág. 2)

Johansen (1982) también lo define como:

Un conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo. Cabe aclarar que las cosas o partes que componen al sistema, no se refieren al campo físico (objetos), sino más bien al funcional. De este modo las cosas o partes pasan a ser funciones básicas realizadas por el sistema. (pág. 2).

Clasificación de los sistemas

Podemos encontrar diferentes tipos de sistemas, ya sea por su naturaleza, duración, interacción con el ambiente, tamaño o versatilidad, su clasificación más común es la siguiente:

- Sistemas naturales y artificiales: los sistemas naturales abundan en la naturaleza. La ecología de la vida es un sistema natural, y cada organismo es un sistema natural especial. Los sistemas artificiales, se caracterizan por cumplir diferentes objetivos, por ejemplo, un sistema de transporte, de producción, contabilidad, etc.
- Sistemas sociales, hombre-maquina y mecánicos: dentro de los sistemas sociales tenemos empresas, dependencias gubernamentales, los partidos políticos, los clubes sociales y las sociedades técnicas. Los sistemas empíricos están en la categoría de hombre- maquina y los sistemas mecánicos se caracterizan por tener sus propias entradas y mantenerlas.
- Sistemas abiertos y cerrados: el sistema abierto es aquel que interactúa con su ambiente, por ejemplo, todos los sistemas que contienen organismos vivos son

abiertos, porque en ellos influye lo que es percibido por los organismos. El ambiente que rodea un sistema cerrado no cambia y, si lo hace, se levantara una barrera entre el ambiente y él para impedir cualquier tipo de influencia.

- Sistemas permanentes y temporales: se dice que son sistemas permanentes aquellos que duran mucho más que las operaciones que en ellos realiza el ser humano. Los sistemas verdaderamente temporales están destinados a durar cierto periodo y luego desaparecen.
- Sistemas estables y no estables: un sistema estable es aquel cuyas propiedades y operaciones no varían de manera importante o lo hacen solo en ciclos repetitivos, caso contrario para el caso de los no estables en los cuales su funcionamiento varía.
- Subsistema y suprasistema: los sistemas más pequeños incorporados a un sistema reciben el nombre de subsistemas. El suprasistema denota sistemas extremadamente grandes y complejos.
- Sistemas adaptativos y no adaptativos: un sistema que reacciona con su ambiente en tal forma que mejora su funcionamiento, logro o probabilidad de supervivencia se llama sistema adaptativo. Aquellos sistemas independientes de su ambiente o que dicho ambiente no altera su funcionamiento como sistema, se denominan no adaptativos.

(Johansen Bertoglio, 1982, págs. 18-19).

Conceptos asociados a sistema

Es común escuchar varios términos cuando se habla de un sistema, algunos de los mas usados son los siguientes:

- **Ambiente**: Se refiere al área de sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema.
- **Atributo**: Se entiende por atributo las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan las partes o componentes de un sistema.
- **Complejidad sistémica**: Por un lado, indica la cantidad de elementos de un sistema (complejidad cuantitativa) y, por el otro, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstos (variedad, variabilidad). La complejidad sistémica está en directa proporción con su variedad y variabilidad, por lo tanto, es siempre una medida comparativa.
- **Elemento**: Se entiende por elemento de un sistema las partes o componentes que lo constituyen. Estas pueden referirse a objetos o procesos. Una vez identificados los elementos pueden ser organizados en un modelo.
- **Modelo**: Los modelos son constructos diseñados por un observador que persigue identificar y mensurar relaciones sistémicas complejas. Todo sistema real tiene la posibilidad de ser representado en más de un modelo. La decisión, en este punto, depende tanto de los objetivos del modelador como de su capacidad para distinguir las relaciones relevantes con relación a tales objetivos.
- **Relación**: Las relaciones entre los elementos de un sistema y su ambiente son de vital importancia para la comprensión del comportamiento de sistemas vivos. Las

relaciones pueden ser recíprocas (circularidad) o unidireccionales. Presentadas en un momento del sistema, las relaciones pueden ser observadas como una red estructurada bajo el esquema input/output.

- **Sinergia:** Todo sistema es sinérgico en tanto el examen de sus partes en forma aislada no puede explicar o predecir su comportamiento. La sinergia es, en consecuencia, un fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema (conglomerado). Este concepto responde al postulado aristotélico que dice que "el todo no es igual a la suma de sus partes".
- **Subsistema:** Se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor.

(Johansen Bertoglio, 1982, págs. 2-7).

3.1.1.2 Dinámica de sistemas

Cuando se habla de dinámica de sistemas, además de referirse al comportamiento característico de los sistemas también hace referencia a una metodología desarrollada por Jay W. Forrester, que utiliza el modelado y la simulación de determinados problemas complejos (Aracil, 1995).

Aracil (1995) define la dinámica de sistema como la que "se ocupa de analizar las relaciones en el seno de un sistema las cuales permiten explicar su comportamiento. La dinámica de sistemas es una metodología ideada para resolver problemas concretos y apoyar el proceso de tomas de decisiones" (pág. 87). En la **Figura 1** se describe el proceso utilizando la metodología de dinámica de sistemas.

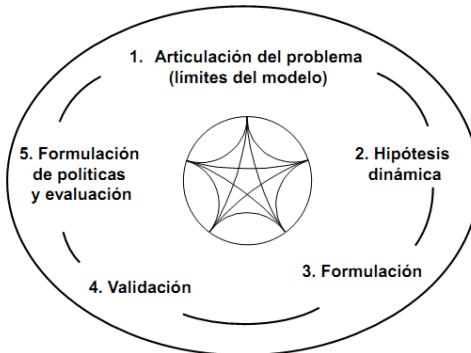


Figura 1. Proceso con Dinámica de Sistemas
Fuente: Sterman (2000)

Fases para el proceso de modelamiento y simulación con DS

– Descripción verbal del sistema:

Constituye el modelo de referencia, es decir, la descripción verbal o gráfica del comportamiento de las variables claves del sistema en la **Figura 2** se puede observar un ejemplo de dicho comportamiento.

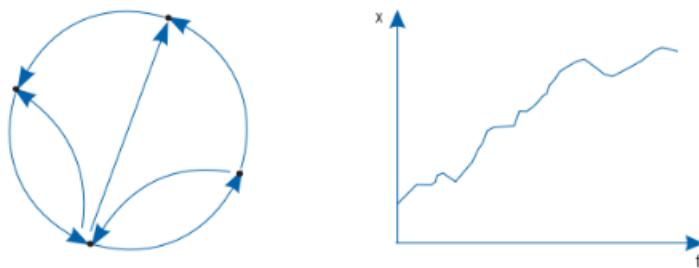


Figura 2. Imágenes básicas de la estructura y del comportamiento de un sistema
Fuente: Aracil (1995)

– **Modelo causal o de influencias:**

Aracil (1995) refiere que los modelos causales son:

El conjunto de las relaciones entre los elementos de un sistema recibe la denominación de estructura del sistema y se representa mediante el diagrama de influencias o causal. El diagrama de influencias constituye un ejemplo de la estructura de un sistema la cual, juega un papel esencial en la determinación de las propiedades sistémicas.

En su forma más simple el diagrama de influencias está formado por lo que se conoce como un grafo orientado cuyos nodos son los elementos del sistema y cuyas aristas indican las influencias entre ellos. (págs. 20-21)

En la **Figura 3** se presenta un ejemplo de dicho diagrama.



Figura 3. Diagrama de influencias básico del proceso de llenar un vaso de agua
Fuente: Aracil (1995)

Relaciones lineales:

Las relaciones lineales se distinguen por la influencia que ejercen entre las variables implicadas.

En este grupo tenemos las relaciones positivas si entre A y B existe una relación de influencia positiva, esto quiere decir que: si A se incrementa, lo mismo sucederá con B; y, por el contrario, si A disminuye, así mismo lo hará B y las relaciones

negativas si suponiendo que entre A y B existe una relación de influencia negativa, un incremento de A seguiría una disminución de B, y viceversa.
 (Aracil, 1995, pág. 21)

Relaciones no lineales:

Este tipo de relaciones varían en la forma como se influyen las variables implicadas, Aracil (1995) lo explica con un ejemplo: “supongamos que entre A y B existe una relación no lineal, esto hace referencia a que en algunas ocasiones A puede influir de manera positiva en B y en algunas ocasiones de manera negativa” . (pág. 22)

Ciclos o bucles de realimentación:

Son una serie de relaciones cerrada o circular, esto quiere decir que lo que pasa con un elemento del sistema lo vuelve a afectar a sí mismo. Dependiendo de la influencia, los ciclos pueden ser positivos o negativos.

Ciclos positivos: en este tipo de ciclos todas las influencias son positivas como lo muestra la **Figura 4**, en caso de existir relaciones negativas su número es par. Se denominan positivos, de refuerzo, expansivos, bola de nieve o explosivos debido a que un incremento inicial en un elemento se refuerza al pasar el ciclo, de la misma manera una disminución inicial se refuerza al pasar el ciclo (Aracil, 1995, págs. 25-27)

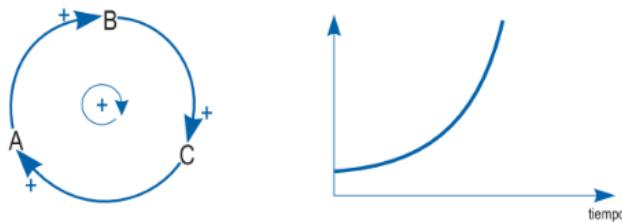


Figura 4. Representación de un ciclo positivo y su comportamiento gráficamente
 Fuente: Aracil (1995)

Ciclos negativos: Este tipo de ciclos tiene cantidad impar de relaciones negativas como lo muestra la **Figura 5**, son también conocidos como ciclos de control, compensadores o equilibradores, con estos ciclos el sistema trata de controlar el cambio, por ejemplo, si inicialmente se presenta un incremento, después de que el ciclo transcurra en el tiempo este incremento tiende a disminuir (Aracil, 1995, págs. 21-24).

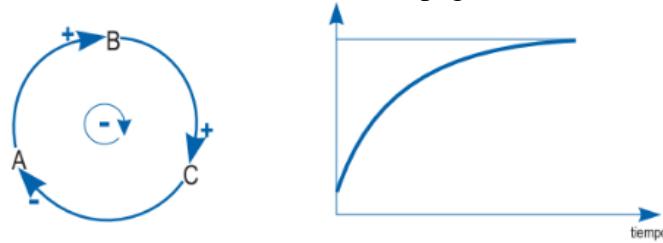


Figura 5. Representación de un ciclo negativo y su comportamiento gráficamente
 Fuente: Aracil (1995)

- Diagrama de flujos y niveles o diagrama de Forrester

Este es el más utilizado para modelar con DS, ya que es un “diagrama que muestra las relaciones entre las variables de un sistema, una vez que han sido clasificadas en variables de nivel, de flujo y auxiliares. Constituye una reelaboración del diagrama de influencias” (Aracil, 1995, pág. 81). En la **Figura 6** se encuentra un ejemplo de este tipo de diagrama.

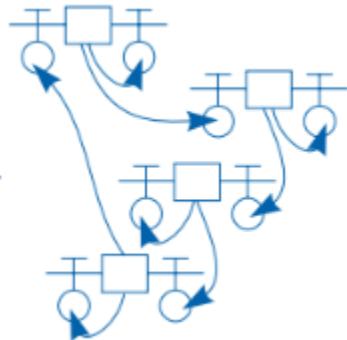


Figura 6. Representación de un diagrama de flujos y niveles

Fuente: Aracil (1995)

- Modelo matemático

En esta fase se determinan las ecuaciones funcionales de cada una de las variables del sistema, las cuales van a determinar su comportamiento en el proceso de simulación computacional.

Ecuación general de los niveles:

$$N(t + \Delta t) = N(t) + \sum F_e \cdot \Delta t - \sum F_s \cdot \Delta t$$

N = nivel

Fe = flujo de entrada

Fs = flujo de salida

Ecuación de los flujos:

$$F(t) = T * M * N(t)$$

F(t) = Flujo

T = tasa

M= Multiplicador

La tasa determina cada qué periodo de tiempo el flujo realiza variaciones en el nivel al que se encuentra asociado.

El multiplicador determina el comportamiento del flujo, es decir: si $M = 1$ el flujo es normal; si $M = 0$ flujo cerrado; $M > 1$ flujo por encima de lo normal; si $0 < M < 1$ flujo por debajo de lo normal; $M < 0$ El flujo se invirtió, es decir, si era un flujo de entrada se convirtió en uno de salida y viceversa.

Ecuaciones auxiliares:

$$VA = f(N_1, N_2, \dots, N_n, F_1, F_2, \dots, F_n)$$

VA = Variable auxiliar

N = nivel

F = Flujo

- Simulación computacional

Una vez tenemos el modelo matemático, necesitamos procesar las ecuaciones que lo componen, para ello recurrimos a la ayuda de la informática. Programándolas en una computadora, logramos observar su comportamiento a detalle, como se ve en la **Figura 7**. Este proceso requiere de herramientas informáticas adecuadas. Por lo que respecta a la dinámica de sistemas se han desarrollado un cierto número de ellas como, por ejemplo: PowerSim, STELLA y VenSim (Aracil, 1995).

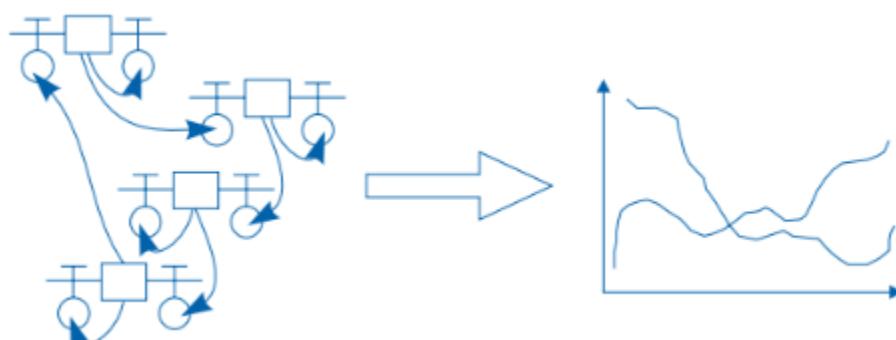


Figura 7. Simulación de los comportamientos de un sistema
Fuente: Aracil (1995)

- Validación

Una de las etapas más importantes del modelado, es la validación.

En esta fase se somete el modelo a una serie de ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad. Estos análisis son muy variados y comprenden desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis que incorpora hasta el estudio del ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las registradas en la realidad.

(Aracil, 1995, pág. 59)

- Interfaces

En esta fase se diseñan las interfaces con las cuales los usuarios pueden interactuar y hacer uso del modelo computacional para resolver y tomar decisiones respecto a las problemáticas que se estén trabajando en dicho modelo.

Herramientas de apoyo para el modelamiento con DS

En el mercado actual de software se pueden encontrar una gran variedad de programas que pueden ser utilizados para el modelamiento y simulación con DS, algunos los más conocidos son: Stella, Vensim, Powersim, Dynamo e Ithink.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la herramienta Powesim, ya que, cuenta con una interfaz amigable y da la posibilidad de entrar en temas de interfaz, entre otras características.

Powersim:

Es un software de simulación estratégica que permite: “evaluar un negocio, identificar problemas clave que impulsan sus procesos y crear un modelo de simulación apropiado para capturar los desafíos comerciales específicos de una empresa” (Powersim Software AS, 2019).

- **Diagramas de construcción en Powersim:** se utilizan para crear modelos e interfaces de usuario de manera gráfica, utilizando bloques de construcción de dinámica de sistemas (Powersim Software AS, 2017).
- **Principales elementos del diagrama de flujos de niveles en Powersim:**

Nivel: Una variable que acumula cambios o material, está influido por los flujos y se puede llenar o agotar. Sus unidades son la medida del material que se acumula en dicho nivel (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 8** se muestra su representación.

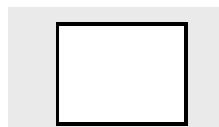


Figura 8. Representación de un nivel en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Canal de material: Es el medio por el cual se conduce el material desde o hacia los niveles, no tienen unidades (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 9** se muestra su representación.

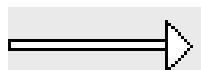


Figura 9. Representación de un canal de material en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Flujos: Determinan la cantidad de material por unidad de tiempo que entra (Flujo de entrada) o sale (Flujo de salida) del nivel al que están conectados, un flujo es controlado por una variable conectada por un enlace de información a la válvula (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 10** se muestra su representación.

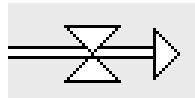


Figura 10. Representación de un flujo en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Canal de información: Un conector que proporciona información a los auxiliares sobre el valor de otras variables (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 11** se muestra su representación.

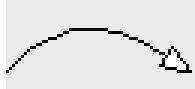


Figura 11. Representación de canal de información Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Nube: Fuente de material infinita, nunca se acaba y un pozo es un receptor infinito de material, nunca se llena (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 12** se muestra su representación.



Figura 12. Representación de una nube y pozo en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Constante: Una variable que contiene un valor fijo (inicial) que no cambia en un intervalo considerable de tiempo, solo envían información no reciben (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 13** se muestra su representación.

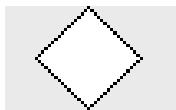


Figura 13. Representación de una constante en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Variables auxiliares: Una variable que contiene cálculos basados en otras variables, sirve para hacer cálculos intermedios (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 14** se muestra su representación.



Figura 14. Representación de una variable en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Retardo: Un conector que proporciona información diferida a los auxiliares sobre el valor de otras variables en una etapa anterior de la simulación. (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 15** se muestra su representación.

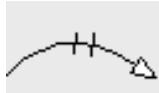


Figura 15. Representación de un retardo en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

Submodelo: Una variable que contiene variables hijas. Una variable de submodelo no tiene definición (valor), tipo de datos o unidad (Powersim Software AS, 2017). En la **Figura 16** se muestra su representación.



Figura 16. Representación de un submodelo en Powersim [Captura de pantalla]

Fuente: Powersim Software AS (2017)

3.1.2 Sector agropecuario

Agropecuario es una parte del sector primario conformado por dos subsectores, la agricultura y ganadería, responsables por la obtención de recursos naturales para la producción de bienes de consumo y materias primas utilizadas en la confección de productos que constituyen el sector secundario. (Significados.com, 2018)

El sector agropecuario colombiano está compuesto por las actividades de producción primaria en los ámbitos agrícola, pecuario, forestal, pesquero y acuícola. Análisis recientes de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), han establecido que la vocación agropecuaria del país asciende a 26,5 millones de hectáreas, en donde cerca de 6 millones de hectáreas son aptas para el sector pecuario y 2 millones de hectáreas están en cuerpos de agua.

El sector agropecuario en Colombia cuenta con una participación del 6,6% en el PIB para el año 2016, por lo cual desempeña un rol estratégico para el desarrollo y la competitividad. No obstante, se trata de un sector altamente informal que, de acuerdo con la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) del año 2016, de un total nacional de 22 millones de personas ocupadas, el 16,1% de ellas están dentro del sector, registrando una tasa de informalidad laboral del 84,9%.

(Marco Nacional de Cualificaciones Colombia, 2017)

3.1.2.1 Subsector pecuario

El Marco Nacional de Cualificaciones Colombia (2017) define Pecuario como:

Denominación que suele asignarse a la actividad ganadera, consistente en la crianza de animales para la seguridad alimentaria, su comercialización y aprovechamiento económico. En el subsector pecuario en Colombia pueden distinguirse distintas clases de explotación ganadera, siendo las más representativas la de ganado porcino (cerdos), ovino (ovejas y carneros), avicultura (crianza de aves), bovino (toros, vacas, terneros o becerros), y caprino (cabras), existiendo una amplia diversidad de razas con características propias determinadas por la diversidad territorial del país; asimismo; existen otros tipos de explotaciones promisorias como la cunicultura (crianza de conejos), cuyicultura (crianza de cuyes), apicultura (crianza de abejas), equina (crianza de caballos), acuícola (cultivo de especies acuáticas), mular y asnal (crianza de mulas y asnos). La promoción del sector pecuario compromete la producción de subproductos pecuarios (materias primas) tales como la piel, leche, carne, huevos, lana, grasa, miel, entre otros, que serán utilizados para consumo directo o insumo para la agroindustria con fines comerciales. (pág. 9)

Ganado

Conjunto de animales que son criados por el ser humano con fines productivos, como la obtención carne, leche, cuero, etc. El ganado puede ser bovino, ovino, caprino, equino, porcino y de aves (Marco Nacional de Cualificaciones Colombia, 2017).

Ganado bovino/vacuno:

El ganado vacuno o bovino es aquel tipo de ganado que está representado por un conjunto de vacas, bueyes y toros que son domesticados por el ser humano para su aprovechamiento y producción; es decir esta clase abarca una serie de mamíferos herbívoros domesticados por el hombre para satisfacer ciertas necesidades bien sea alimenticias o económicas.

(Venemedia Comunicaciones, 2019).

3.1.2.2 Ganadería

La ganadería es la actividad económica que consiste en la cría de animales domésticos para la obtención de carne, leche, lana, pieles, miel entre otros (Significados.com, 2018).

Modelos productivos de ganadería

– Ganadería de leche:

Es el negocio dedicado a la producción de leche intensiva con hatos de razas bovinas como la Holstein, Jersey, Ayrshire, Pardo Suizo entre otras y en los últimos tiempos incluye los cruces entre ellas y con otras razas, buscando mejorar el efecto genético sobre la calidad en la composición de la leche producida. (SOLLA, 2016)

– **Ganadería de carne o ceba:**

El objetivo es la producción de carne mediante la ceba de novillos la cual se realiza tradicionalmente en las zonas cálidas y con bovinos de razas dedicadas a la carne, pero ante el auge de los cruces F1 (Mezclas de dos genéticas diferentes que aportan 50% del mérito para mejoramiento por la hibridación) y el avance del doble propósito, las zonas frías también están incursionando en la ceba de lotes de novillo.

(SOLLA, 2016).

- **Ganadería doble propósito:** El portal Finca y Campo (2019) especifica que es “una combinación de ganadería de leche y de carne. En otras palabras, es una explotación pecuaria que contempla los dos renglones, consiste en la crianza de animales para producción de carne y leche simultáneamente.”

Locaciones relacionadas con ganadería

- **Hato ganadero:** Un hato hace consiste en un conjunto de ganado mayor (vacas, toros, caballos, búfalos, bueyes, entre otros.) y a las fincas destinadas a la crianza de estos animales (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México, 2018).
- **Granja:** Finca dedicada utilizada para cultivar y criar animales domesticados. Caracterizadas por tener zonas al aire libre y espacios cerrados como: una casa, establos, gallineros, y el cuarto de herramientas (Lomba, 2019).

Tipos de explotación ganadera

– **Ganadería intensiva:**

Consiste en la industrialización de la explotación ganadera. Para ello, el ganado se encuentra estabulado, bajo unas condiciones creadas de forma artificial, con el objetivo de incrementar la producción de carne y otros derivados animales como huevos, leche, lana, etc. en el menor tiempo posible. Por eso que son necesarias grandes inversiones en instalaciones, tecnología, mano de obra, etc. para poner en funcionamiento plantas ganaderas de este tipo.

(CONtextoganadero, 2013).

– **Ganadería extensiva:**

Esta práctica emplea métodos tradicionales de explotación ganadera, en los que se imitan los ecosistemas naturales para un desarrollo más favorable de los animales. Su objetivo, es el de utilizar el territorio de una manera perdurable. Dentro de este tipo de ganadería podríamos añadir el subgrupo Ganadería Sostenible, que además mantiene un nivel de producción sin perjudicar al medio ambiente.

(CONtextoganadero, 2013)

- **Ganadería mixta:** Es aquella en la que se tienen los animales un tiempo en establos y otro en potreros. Esto con el fin de mejorar la alimentación en algunas de las etapas donde se busca un mayor nivel de producción y mantener un equilibrio en el consumo de pasto.

Ganadería como actividad económica en Colombia

La riqueza territorial de Colombia ofrece enormes posibilidades en cría de ganado; esta condición, que pocos países ganaderos ostentan, brinda herramientas interesantes para impulsar la producción cárnea, láctea y, en algunos casos y dependiendo del territorio, de ambos productos en un solo animal, lo que se conoce como producción de doble propósito. Ganado cárneo, lechero y con producción de doble propósito es fruto de la riqueza climática del país, permitiéndole al productor del sur, norte, occidente u oriente del territorio nacional contar con una gran variedad de posibilidades en materia productiva, de acuerdo con la región en la cual se encuentre.

(Rodríguez Gómez, 2013).

Proceso de comercialización ganadera en Colombia

El Proceso de Comercialización de ganado en Colombia es una de las actividades más rentables y su proceso consta de tres etapas principales (Ver **Figura 17**).

- **Producción:** se debe tener en cuenta las características de las razas para seleccionar aquella que se ajuste mejor a las condiciones existentes, tanto el tipo de región, infraestructura, costos, beneficios que cada una de las razas de ganado ofrece, entre otros.
- **Transformación:** En la etapa de la transformación se recibe el ganado en pie para proceder obtener tanto los subproductos como el ganado en canal, en esta etapa intervienen tres elementos, el primero de ellos es el establecimiento en donde se lleva a cabo el proceso productivo, los trabajadores usuarios que se encargan de este proceso, y finalmente todas las personas que intervienen para que esto pueda llevarse a cabo, entre ellos el proveedor y la persona que se encarga de la comercialización el producto final.
- **Distribución:** en esta etapa se lleva a cabo un meticuloso estudio para determinar cuáles son los mejores destinos y canales de distribución qué contribuyan a obtener una mayor rentabilidad.

(Garcia, 2017)



Figura 17. Mapa de procesos ganadería bovina.

Fuente: Marco Nacional de Cualificaciones Colombia (2017)

Etapas del ciclo producción ganadera:

Las etapas describen el proceso prolongado en el tiempo que involucra distintas etapas de desarrollo fisiológico de los animales, desde que nacen hasta que están listos para la comercialización, a continuación, se describen cada una de estas etapas, dependiendo del propósito productivo:

Ganadería de carne:

- **Cría:** Es la etapa de la producción temprana (cría) va desde el nacimiento hasta los 6 meses de edad.

- **Levante:** El levante iría desde el séptimo mes hasta los 18 meses. Esta etapa también está determinada por el peso: aquellos animales que estén por debajo de los 230 kilos hacen parte de período.
 - **Ceba:** La etapa de ceba comienza hacia los 19 meses y se extiende desde los 24 hasta los 36 meses de edad. Este límite lo define el peso de los animales, pues se considera que cuando alcanzan 450 kg a 470 kg, los cebadores lo envían a un matadero para su beneficio.
- (Fonseca, 2016).

Ganadería doble propósito: Este ciclo productivo “contempla las mismas fases de crecimiento de cría, levante y ceba. La única diferencia es que se debe seleccionar los animales más productivos para leche y separarlos de aquellos que serán destinados para carne” (Fonseca, 2016).

Ganadería de leche:

- Etapa de iniciación: esta fase va del nacimiento de la ternera hasta los 6 meses de edad.
 - Etapa levante: Esta fase va desde el 7 mes hasta 2 meses antes del primer parto.
 - Etapa Preparto: Es la fase de preparación de la Novilla gestante o de la vaca adulta multípara (segunda gestación en adelante), para el inicio de la lactancia y evitar problemas metabólicos por los cambios fisiológicos que conlleva.
 - Etapa producción: Inicia con el parto y el inicio de producción de leche.
- (SOLLA, 2016).

3.1.3 Simulación

Aracil (1995) la define como el “proceso mediante el cual se implanta en un computador un modelo matemático de un cierto aspecto de la realidad, este proceso consiste en determinar el comportamiento del modelo haciendo uso de la informática para determinar las trayectorias que genera” (pág. 83).

3.1.3.1 Simulador

“Un simulador es un dispositivo que sirve para reproducir las condiciones propias de una actividad. En otras palabras, un simulador funciona como un sistema técnico que imita unas circunstancias reales” (Navarro, 2015).

3.1.3.2 Prototipo

Un prototipo es un primer modelo que sirve como representación o simulación del producto final y que nos permite verificar el diseño y confirmar que cuenta con las características específicas planteadas. Los prototipos sirven como modelo de estudio para analizar cómo interactúan las personas con el producto en cuestión. De este análisis se puede confirmar si se cubren las necesidades deseadas, si estéticamente resulta atractivo, si se entienden sus funcionalidades, etc.

(Sendekia Ingenieria, 2017)

3.1.3.3 Interfaces gráficas de simulación

La interfaz gráfica explícitamente simula parte de lo que constituye la interacción a través de la apariencia y el comportamiento de objetos en la pantalla.

El concepto de interfaz está también asociado a la idea de manipulación de objetos computacionales por el usuario. Al hablar de objetos computacionales hacemos referencia tanto a los íconos e imágenes de síntesis que pueblan la pantalla de la computadora como a los periféricos (ratón y teclado).

(Comba & Toledo, 2011)

3.1.4 Toma de decisiones

Es el proceso de analizar, organizar y planificar en busca de un propósito específico. Recurrentemente, los seres humanos deben elegir entre diferentes opciones, aquella que según su criterio es la más acertada.

En muchos casos las decisiones se toman mediante dos mecanismos:

- **Racionalidad:** Proceso donde se elaboran modelos sencillos en los que analizan las características de los problemas sin enfatizar en la complejidad.
- **Intuición:** Es un enfoque donde las decisiones se toman inconscientemente, por experiencia dilatada.

(Riquelme, 2019)

Decisión, Estrategia y Política

Es importante diferenciar estos tres términos, ya que, cada uno de ellos involucran un alcance diferente y su utilidad varía dependiendo del tamaño de la problemática que se esté estudiando.

3.1.4.1 Decisión

Pérez y Merino (2013) define como “una determinación o resolución que se toma sobre una determinada cosa. Por lo general la decisión supone un comienzo o poner fin a una situación; es decir, impone un cambio de estado”.

3.1.4.2 Estrategia

Sanchis y Ribeiro (1999) definen estrategia como “el medio para alcanzar los objetivos fijados por la empresa, incluyendo no sólo dichos objetivos sino también los planes necesarios para conseguirlos”.

3.1.4.3 Política

En este contexto, la Real Academia Española (2019) lo define como aquellas “orientaciones o directrices que rigen la actuación de una persona o entidad en un asunto o campo determinado”.

3.2 ESTADO DEL ARTE

Esta sección tiene el propósito de presentar la revisión de literatura nacional e internacional y trabajos recientes que se han desarrollado en el marco de las temáticas del proyecto, es decir, aplicaciones de la dinámica de sistemas en el apoyo a procesos productivos agropecuarios.

La búsqueda de los artículos y trabajos se hicieron a través de revisión web, para lo cual se determinaron una serie de palabras clave, utilizando como herramienta los tesauros brindados por diferentes organizaciones como ACM, IEEE, FAO, entre otros. En total se lograron revisar 30 artículos que se relacionan con las temáticas tratadas por el proyecto y brindan aportes determinados, como se puede observar en el **Cuadro 3**.

Los treinta trabajos revisados se pueden clasificar dependiendo las temáticas que abordan y comparten con este proyecto en tres áreas como se especifica en la **Figura 18**, que muestra la cantidad de artículos encontrados en cada una de estas áreas.

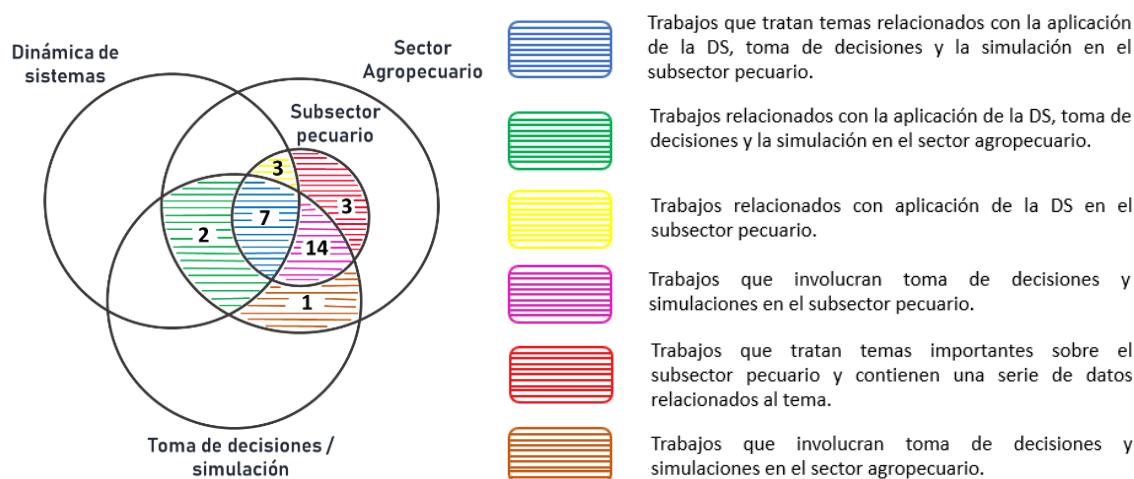


Figura 18. Clasificación documentos revisados por temáticas.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 3. Síntesis artículos revisados en la literatura

Tópico / tema / grupo temático	Referencia	Problema(s) o necesidad(es)	Solución(es)	Aportes al proyecto
Dinámica poblacional en producción ganadera	Raúl Molina (2018) Modelo de simulación para estudiar la dinámica poblacional de un hato ganadero, basado en un modelo de simulación con Vensim. Colombia	Complejidad para el análisis de los sistemas de producción ganadera debido, a las múltiples interrelaciones de sus componentes bióticos y abióticos.	Modelo con DS permitió conocer y comprender la complejidad de los sistemas ganaderos, además permite a los ganaderos, investigadores y tomadores de decisiones, actuar en diferentes escenarios, ensayar distintas políticas y experimentar las consecuencias de sus propias decisiones	En modelo de Forrester propuesto presenta una serie de elementos muy útiles que representan el comportamiento de un hato ganadero y lleva un control en el proceso de desarrollo de los animales a través del análisis de los estados fisiológicos de los mismos durante su vida productiva.
DS aplicada a la educación agropecuaria	U. Gómez, H. Andrade y C. Vásquez (2015) Lineamientos metodológicos para construir ambientes de aprendizaje en sistemas productivos agropecuarios soportados en dinámica de sistemas. Colombia	los sistemas de información para el sector agropecuario comúnmente son limitados para promover procesos de aprendizaje y para apoyar la toma de decisiones; aunque permiten almacenar un historial de los datos demográficos, productivos y económicos, no siempre facilitan los pronósticos bajo diferentes escenarios, ni la confrontación de resultados para optimización en cada uno de los subsistemas.	Modelos de simulación que permiten, mediante matemática no lineal y computación soportada en la Dinámica de Sistemas, la generación de posibles escenarios para abordar la complejidad dinámica de los fenómenos agropecuarios.	Los modelos causales y de flujos y niveles de cada uno de los subsistemas biofísico, productivo y económico; datos específicos sobre los subsistemas agropecuarios; simulaciones; y algunas imágenes de la interfaz de AgroDiSi, los cuales sirven de referencia para la representación de un hato.
DS aplicada a mejorar la producción de ganado bovino	Hugo Franco y Lina Marulanda (2017). Diseño de un modelo de simulación dinámica para mejorar la producción de ganado bovino en una granja en el norte del valle del cauca. Colombia.	Estudios afirman que el 90% de los suelos que utilizan los grandes hatos ganaderos vallecaucanos están en sobreuso, además indican que las prácticas de manejo del ganado bovino se hacen de manera intensiva y con muy poco análisis sobre el daño de los suelos y conllevan a bajos niveles de productividad y competitividad en el sector, afectando las utilidades de los hatos.	Utilizar herramientas que beneficien el sector ganadero y permitan mejorar su calidad y manejo de buenas prácticas en la producción., para lo cual se planteó un modelo de simulación dinámica para representar la producción de ganado bovino en una granja del Norte del Valle del Cauca, buscando la mejor alternativa de producción.	Ofrece modelos causales, matemático y de flujos y niveles de los submodelos financiero productivo y biofísico; simulaciones; y datos relacionados con la adecuación del suelo, la administración de las pasturas, la alimentación del animal y la salida del ganado al mercado.
Dinámica de sistemas aplicado a la predicción del mercado	Yony Ceballos, Maribel Uribe y German Sánchez (2013) Modelo de Dinámica de Sistemas para la Predicción del Comportamiento del Mercado Porcícola. Colombia.	La heterogeneidad de actores y situaciones presentes en el mercado porcícola conlleva a que el comportamiento del sistema sea complejo y confuso. Tal situación, hace difícil la toma de decisiones a las personas interesadas en la explotación de este campo y que deseen medir el impacto financiero que tendría su inversión.	Construcción de un modelo basado en DS que permita una mejor comprensión de las variables y su relación dentro del mercado porcícola, con el fin de predecir la tendencia de las diferentes variables involucradas en la producción y comercialización de los cerdos a mediano plazo mediante la simulación y el análisis de resultados.	El modelo causal considera variables que intervienen, sus relaciones y se construyeron los ciclos entre éstas. Se configuraron dichas variables del modelo con datos históricos del sector, lo cual sirve de referencia para creación del submodelo de comercialización para nuestro caso en el sector pecuario bovino.
Simulación aplicada para la investigación agropecuaria	Giorgio Castellar, Germán Klee y Jorge Chavarría (2006). Un Modelo de Simulación de Sistemas de Engorda de Bovinos a Pastoreo. Chile.	La baja producción de kilogramos de peso vivo de bovinos por hectárea dedicada a la ganadería, en este país es uno de los sectores con más espacio geográfico para su explotación por lo tanto se hace necesario aumentar la productividad y crecimiento de esta actividad económica.	Un modelo de simulación de engorda de bovinos a pastoreo, se validó su comportamiento mediante la comparación de los valores simulados de peso vivo con los obtenidos en sistemas físicos de producción, lo cual permitió evaluar la efectividad de las estrategias formuladas.	Se encuentran ecuaciones que simulan los procesos biofísicos, como el consumo de energía metabolizable y el cambio de peso vivo. Lo cual sirve de referencia para entender el sistema biofísico de producción de carne y que tipos de pastos y alimentos son más convenientes para aumentar la producción de un hato ganadero.
Investigación aplicada a la toma de decisiones estratégicas en el sector agropecuario	David Ritchie, César Neves, Támaro Alfonso, Omar Begazo, Igor Luna Victoria y Juan Uribe (2013). Ganadería de doble propósito: propuesta para pequeños	Los cambios económicos actuales tienen repercusión en la ganadería en Colombia, en especial los pequeños productores cuyos ingresos dependen directamente de la variación de los precios en el mercado lácteo y cárneo global. Al desconocer estrategias y técnicas que les brinden mejoras	Esta investigación contribuye a brindar alternativas factibles a corto y el largo plazo, mediante una inversión menor, que posteriormente puedan ser desarrolladas y aplicadas para mejorar la calidad de vida de los pequeños productores ganaderos colombianos.	Datos sobre el proceso de mercadeo ganadero en Colombia como por ejemplo los precios, valores de demanda y oferta, entre otros que ayudan a la construcción del submodelo financiero a partir de

Tópico / tema / grupo temático	Referencia	Problema(s) o necesidad(es)	Solución(es)	Aportes al proyecto
	productores colombianos; Perú.	sostenibles, limitan sus opciones para desarrollar capacidad de innovación y competitividad.		parámetros que permiten la realización de las simulaciones.
Modelos de simulación aplicados a la producción de carne de bovinos.	Hiroooka y Yamada (1990). A general simulation model for cattle growth and beef production. Japón	Complejidad para examinar la productividad general de los sistemas de carne de res y los sistemas de crecimiento de ganado, ya que, es necesario comprender el flujo de energía y material dentro de dichos sistemas.	Se desarrolló un modelo general para simular el crecimiento del ganado y la producción de carne. Este modelo fue construido en Fortran 77, basado en el sistema de energía metabolizable ARC de 1980.	El modelo es flexible es decir que puede aplicarse para cubrir una amplia gama de condiciones genéticas y ambientales diferentes, porque se tienen en cuenta muchos factores relacionados con el crecimiento del ganado y la producción de carne, sirve para ajustarlo a otros modelos como el planteado en este proyecto.
Simulaciones aplicadas a la optimización y/o toma de decisiones estratégicas.	Kikuhara, Kumagai y Hirooka. (2009). Development and Evaluation of a Simulation Model for Dairy Cattle Production Systems Integrated with Forage Crop Production. Japón	El aumento en el uso de insumos fertilizantes químicos y alimentos comprados para mejorar la eficiencia económica de granjas lecheras, han creado desequilibrios de nitrógeno y fósforo y, por lo tanto, graves problemas ambientales. En consecuencia, se hace necesario que los productores lecheros reduzcan las cargas ambientales.	Se desarrolló un modelo de cultivo mixto para la alimentación del ganado lechero que permite disminuir el uso de químicos; considerando los requerimientos de nutrientes al menor costo; el modelo dinámico del rebaño para calcular el número de vacas en cada ciclo reproductivo; y el modelo de optimización de toda la granja.	El submodelo de requerimientos de nutrientes trae datos para tener en cuenta al momento de diseñar un modelo óptimo del desarrollo de los animales. El modelo de optimización de toda una granja sirve como base para evaluar la gestión económica - ambiental y para optimizar las estrategias para cualquier granja.
DS para el aprendizaje de la ganadería bovina intensiva.	Urbano E. Gómez y Hugo H. Andrade (2010). Propuesta de un modelo de simulación de ganadería intensiva bovina. Colombia	Pocos recursos para el aprendizaje de la ganadería bovina intensiva que apoyen la capacitación y la experimentación. La mayoría de las herramientas se enfocan en la ganadería extensiva.	Se ofrece un modelo de producción intensiva en un ambiente software que facilita para el aprendizaje, la investigación y la gestión.	Se encuentra información, modelos (causales y flujos y niveles), simulaciones e interfaces relacionadas con la producción bovina, la alimentación y sanidad animal, y el manejo administrativo de un negocio ganadero.
Modelos de simulación orientados a mejorar la producción de ganado para carne.	Edgardo Vargas Jarquín (2009). Desarrollo de un modelo de simulación para la producción de carne bovina. Costa Rica	La necesidad de simular los sistemas de producción de carne bovina aplicables a las condiciones tropicales, con el fin de mejorar y comprender el funcionamiento del sistema y de esta manera tomar decisiones que beneficien la productividad.	Un modelo computacional que considera las fases de desarrollo y engorde de novillos en pastoreo, mediante la transformación de información en algoritmos integrados en un programa de simulación.	Se encuentra un aporte importante en cuanto a descripción de las fórmulas utilizadas para simular tanto el comportamiento animal, como el comportamiento de los pastos, del clima y algunas decisiones tomadas por el hombre.
Simuladores aplicados al aprendizaje de toma de decisiones de comercialización de leche.	B. Cuartas y L. Mosquera (2004). Simulador para el Aprendizaje de Toma de Decisiones en Mercadeo en el Sector Lácteo. Colombia	En el mercadeo la mayoría de las decisiones que se toman dependen en gran medida del criterio humano, es decir, del conocimiento, la experiencia y la intuición del decisor. Sin embargo, existen dificultades en el aprendizaje organizacional que impide desarrollar estos tres factores, para llegar a una adecuada toma de decisiones.	El micromundo realizado mejora el aprendizaje en la toma de decisiones en el área de mercadeo. La DS contribuye a este proceso, pues usa modelos de simulación por computadora para relacionar la estructura de un sistema con su comportamiento en el tiempo y aplica los principios de sistemas de control y realimentación para el modelado de sistemas sociales.	Ofrece modelos causales y parámetros relacionados con la estructura del mercado lácteo, estos parámetros sirven como guía para la construcción del subsistema de comercialización de un hato ganadero.
Modelos de simulación orientados a la toma de decisiones en la producción de carne.	Machado y Berger (2012). Uso de modelos de simulación para asistir decisiones en sistemas de producción de carne. Argentina	Los procesos implicados en la toma de decisión agropecuaria se componen de fases analíticas e intuitivas que involucran distintos tipos de información (datos cuantitativos y cualitativos). La principal problemática analizada constituye la búsqueda de un modelo que permita integrar esta información.	Los modelos son herramientas que permiten la integración de distinta información y diversos procesos permitiendo el estudio de sus interacciones y la evolución del impacto de modificaciones en el sistema global.	Se describe la importancia del uso de los modelos de simulación en el caso específico de la producción de carne, ya que permiten la representación de sistemas con grandes cantidades de datos. Principalmente motiva al uso de simuladores complejos, y la aplicación de metodologías orientadas a usuario.

Tópico / tema / grupo temático	Referencia	Problema(s) o necesidad(es)	Solución(es)	Aportes al proyecto
DS orientada al análisis de sensibilidad en el sistema de producción ganadera.	F. Cameroni y R. Terra (2014). Aplicación del Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE) para el estudio de la sensibilidad de la producción ganadera a la amplitud de la variabilidad de la oferta de forraje. Uruguay	La ganadería pastoral es un sistema complejo debido al gran número de elementos internos y del ambiente que lo conforman e influyen en él, esto hace muy difícil un estudio de sensibilidad de la producción y la utilización de forrajes para la alimentación por mera intuición, o los resultados no son los óptimos.	Modelización participativa como metodología que permite incorporar el conocimiento de las partes interesadas en el proceso ganadero. Esta metodología enriquece el producto final permitiendo una construcción interdisciplinaria, favorece su validación y facilita su utilización, generando entornos de aprendizaje.	Se presentan parámetros y ecuaciones matemáticas que hacen parte del modelo de simulación y se destaca la utilidad de estos modelos para representar escenarios como herramienta de ayuda a la comprensión de los sistemas complejos, como la relación pasto-animal.
DS en el estudio del consumo de carne bovina.	Jhon W. Zartha, Gloria L. Vélez y Juan F. Herrera (2007). Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando dinámica de sistemas. Colombia	La disminución del consumo de carne bovina hace más difícil y compleja la toma de decisiones en este sector productivo. Se vuelve necesaria la búsqueda de metodologías para comprender el sistema, sus relaciones y la generación de estrategias y políticas clave para incentivar el consumo de carne.	El modelo muestra la influencia directa e indirecta que presentan algunos factores sobre el consumo de carne bovina en Antioquia, se estableció que no sólo el precio afecta el consumo, sino otras variables como la comercialización del producto, el consumo, la oferta, el ingreso per cápita, entre otros. También se observan algunos factores que afectan la oferta de producto, como la innovación, la selección del tipo de raza, la tecnología del sector, entre otros.	Se encuentran: variables que afectan el consumo de carne de bovino; los modelos (causales y de flujos y niveles) usados para simular el comportamiento del consumo y producción; y datos relacionados con el mercado.
DS en el estudio de la ganadería vacuna.	Gabriel Chiara y Gustavo Ferreira (2011). Dinámica de la ganadería vacuna en Uruguay: un modelo de simulación. Uruguay	La necesidad de: comprender mejor el proceso de intensificación de la producción ganadera, considerando los elementos bióticos y abióticos; y la formulación de estrategias para el crecimiento sectorial sin detrimento social y ambiental.	Se describe un modelo de DS para el estudio de la producción ganadera que considera la estructura del stock y el recurso forrajero en interacción con variables de precio, focalizando en los mecanismos de retroalimentación existentes entre estas variables. Con este modelo se puede cambiar los valores de las variables lo que permite analizar diferentes condiciones y de esta manera elegir la mejor dependiendo el contexto.	El modelo (causal y de flujos y niveles) y las simulaciones proporcionan una guía para representar el funcionamiento del sector ganadero que considera la cantidad de ganado y de recurso forrajero, y el precio. Algunas estrategias también son útiles para el proyecto.
DS para proponer estrategias del sector de la producción de leche	Jeimmy Ospina (2015). Estrategias de producción para el sector de medianos productores de leche cruda en el departamento de Cundinamarca. Colombia	Dificultades en la producción de leche cruda de pequeños y medianos productores: ausencia de ganancias, precios bajos y altos costos de producción que no son contrarrestados por los ingresos.	Modelo de DS de la producción de leche de medianos productores en Cundinamarca, a través de las condiciones y prácticas observadas en una finca del municipio de Mosquera, con el objetivo de representar y analizar variables de producción y viabilidad económica para determinar las mejoras.	Una guía para: identificar algunas relaciones entre elementos que intervienen en la maduración de las reses; y comprender la dinámica del mercado del sector ganadero. Considera aspectos como: costos por alimentación, medicina, mano de obra, entre otros; y la utilidad que genera la venta de leche o ganado en pie.
DS para evaluar el impacto de la tecnología en la producción bovina	J. Parra, A. Rodríguez, D. Beltrán, H. Onofre, G. Bueno, M. López y N. Uribe (2005). Modelo de simulación sistema de producción bovino doble propósito Piedemonte Llanero. Colombia	Los productores pecuarios de Colombia se enfrentan a nuevas tecnologías para aumentar la productividad de sus granjas. El reto de implementarlas es complejo, ya que no hay muchas herramientas para cuantificar la variabilidad que se occasionará en el sistema.	Un software de simulación, con escenarios, para evaluar la incorporación de tecnología y hacer uso óptimo del recurso animal y forrajero.	El modelo de simulación incluye diagramas causales, de flujos y niveles ecuaciones, datos y simulaciones. Se manejan elementos como: propiedades del suelo, pasto, mano de obra, servicios, impuestos, alimentación y sanidad.
DS para el control del impacto ganadero sobre los recursos ambientales	A. Rincón, G. Flórez, J. Redondo y G. Olivari (2015). Modelo matemático de la demografía del ganado de un predio del sector El Ocho Letras. Colombia	Degrado de la vegetación, humedales naturales y el recurso hídrico como causa de la actividad ganadera en el sector conocido como El Ocho Letras (Antioquia).	Modelo de DS del comportamiento del número de ejemplares de ganadería en un predio ubicado en el sector. Permite conocer y comprender la dinámica de la cantidad de ejemplares y el efecto de distintas variables exógenas sobre el sistema.	Ofrece un modelo (causal, flujos y niveles) que considera la influencia de la cantidad de reses sobre los recursos naturales del terreno. Considera las etapas fisiológicas de los

Tópico / tema / grupo temático	Referencia	Problema(s) o necesidad(es)	Solución(es)	Aportes al proyecto
				ejemplares, para controlar el número de estos.
DS para apoyar la investigación y la toma de decisiones en los sistemas ganaderos Vacunos.	Juan Manuel y Soares de Lima Lapetina (2009). Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay. España	El conocimiento desarrollado en diferentes áreas de la ganadería en Uruguay suele carecer de un enfoque integrado que permita evaluar el impacto productivo y económico de diferentes opciones tecnológicas sobre el sistema de producción; tampoco se ha desarrollado técnicas para evaluar la productividad que tendrá un lote ganadero teniendo en cuenta sus características genéticas.	Aplicación de un enfoque sistémico por medio de modelo bio-económico dinámico, que permite evaluar alternativas de producción, reproducción y manejo sobre la productividad y el retorno económico de los establecimientos ganaderos y de la cadena cárnica uruguaya en su conjunto.	Lineamientos matemáticos y estocásticos que permiten simular el comportamiento de un sistema de producción ganadero en todas sus etapas (cría, recría y cebo), considerando el desempeño animal, la dinámica del rebaño, estrategias de manejo y componentes económicos relacionados con la comercialización, como ingresos por ventas; costos por alimentación y sanidad; y precios en el mercado.
Modelos de simulación aplicados a la optimización de recursos en sistemas pecuarios.	C. Aguilar, H. Cortés y R. Allende (2002). Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria. Chile	Evolución de la producción agropecuaria con un nuevo paradigma que ya no es producir más, o producir en forma sencillamente rentable, sino que hacerlo en armonía con el medio ambiente y creando valor para la empresa pecuaria (innovaciones que aumenten la competitividad).	Creación de un modelo de simulación que diferencia los puntos de equilibrio del sistema productivo que denotan cuando se crea o destruye valor para la empresa, desarrollando un experimento con ganado de doble propósito, en el piedemonte llanero de Colombia, evaluando los costos de producción.	Conceptos claves para entender la productividad de un hato ganadero, que ya no solo va ligada al factor económico, sino también a su sustentabilidad, dado que el factor ecológico ha empezado a ser un tema de interés, debido a las problemáticas medioambientales vivenciadas en todo el planeta.
Modelado de propiedades nutricionales de la pastura a sistemas de ganado vacuno.	J. Galli, C. Cangiano, y H. Fernández (1996). Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. Argentina	Las teorías convencionales acerca del consumo de pasto por parte de rumiantes se basan en controles metabólicos y físicos del apetito, pero no tienen en cuenta la influencia que las características "no nutricionales" de la vegetación ejercen bajo condiciones de pastoreo. Diariamente el animal dedica un tiempo limitado al pastoreo, por lo cual necesita lograr una alta tasa de consumo para que su ingesta total no esté restringida	Ánalisis de los diferentes factores de la pastura que afectan al consumo de rumiantes en pastoreo, con especial énfasis en los mecanismos involucrados en la cosecha de alimento y su relación con la estructura de la pastura.	Datos sobre la ingesta de pasto por parte del ganado, los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para calcular el consumo diario total y los aportes nutricionales ligados a la cantidad de pasto que consumen cada cabeza de ganado.
Análisis de sistemas pecuarios para el desarrollo prácticas que aumenten la productividad.	Fernando Moreno y Diego Molina (2007). Buenas prácticas agropecuarias [BPA] en la producción de ganado de doble propósito bajo confinamiento con caña panelera como parte de la dieta. Colombia	Mejorar la situación alimentaria y nutricional del ganado con prácticas que contribuyan al fortalecimiento productivo de una granja y sean amigables con el ecosistema en el que se aplican.	Desarrollar un material pedagógico que sirva como guía a los ganaderos regionales para implementar la caña panelera, uno de los productos más sembrados en Colombia, para suplementar la alimentación del ganado en sus granjas.	Información relevante acerca de la dieta y requerimientos nutricionales que tiene una res, dependiendo de su etapa fisiológica, la raza, el sexo, el tipo de pastizales que se encuentren en la granja y su capacidad de carga.
Modelado de sistemas de producción ganaderos.	C. León y R. Quiroz (2001). Modeling cattle production systems: integrating components and their interactions in the development of simulation models. Estados Unidos	Un sistema de producción de ganado es un sistema complejo que comprende factores biológicos, económicos y sociales. Sin embargo, los componentes y parámetros junto con sus interacciones generalmente se estudian por separado, lo cual conlleva a una pérdida de información vital al no considerar todas las relaciones existentes.	Simular una lechería particular o sistemas de doble propósito, sugiriendo procedimientos matemáticos específicos relacionados con las relaciones de causa-efecto para modelos individuales de animales o de rebaños con el fin de mostrar la importancia de las relaciones entre estos.	Conceptos claves para determinar las relaciones que existen entre los diferentes submodelos que componen el sistema de producción ganadero y algunos datos matemáticos para simular dichas relaciones.
DS aplicado al desarrollo de videojuegos para	Urbano, Gómez y Oscar Gómez (2019). SAMI: Serious videogame of	Tomar decisiones complejas sobre temas tales como: la selección de las razas más apropiadas, alimentación, producción de	Desarrollar un videojuego para enseñar a sus jugadores sobre el comportamiento y el funcionamiento	Estructura básica del modelo dinámico sistémico acerca del sistema de producción ganadero

Tópico / tema / grupo temático	Referencia	Problema(s) o necesidad(es)	Solución(es)	Aportes al proyecto
el aprendizaje de temas ganaderos.	bovine cattle farms in Unity supported in System Dynamics. Colombia	leche, tratamiento de enfermedades, compra y venta, entre otros.	de los sistemas de producción de ganado bovino mediante una interacción cercana a la realidad y ofreciendo comentarios	que muestra los subsistemas que lo componen, las relaciones y por ende las consecuencias de tomar una decisión
Simuladores aplicados al análisis de toma de decisiones en el sector pecuario.	Panos Konandreas y Frank Anderson (1982) Cattle herd dynamics: an integer and stochastic model for evaluating production alternatives. Etiopía.	En la zona tropical de África se han llevado a cabo muchas investigaciones para analizar el nivel de productividad del ganado y proponer mejoras en los procesos que se realizan. Sin embargo, las consecuencias que traerán dichos cambios solo se evidenciarán con el tiempo de una manera compleja que solo se puede predecir probabilísticamente.	Desarrollar un modelo de simulación con características estocásticas, con el fin de ofrecer mejores predicciones de las consecuencias del cambio que las que son posibles a partir de cálculos informales,	Datos y fórmulas que sirven para modelar un sistema ganadero, teniendo en cuenta factores metabólicos de cada res y las propiedades que aportan los pastizales a la productividad de un hato ganadero.
Simulación aplicada al análisis de sistemas productivos pecuarios.	Pang, Makarechian, Basarab y Berg (1999). Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems Canada	La producción ganadera es un sistema complejo, es decir, uno que se compone de varios subsistemas que, a su vez son dependientes el uno del otro, enfocarse en potencializar uno de estos subsistemas puede afectar en gran medida el funcionamiento del sistema mayor y los efectos solo serán evidentes transcurrido un tiempo.	Desarrollar un modelo determinista dinámico para simular los sistemas de producción de ganado vacuno para evaluar los efectos de los rasgos de producción y las estrategias de gestión En la eficiencia bioeconómica de los sistemas de producción de carne.	Datos y conceptos a tener en cuenta para el modelado y simulación de un sistema productivo de ganado, relacionados con la nutrición y comportamiento del mercado y una noción del modelado de factores estocásticos, como lo es el clima que, indudablemente afecta el nivel de producción de un hato ganadero.
Simulación aplicada al sector pecuario para el estudio de la capacidad productiva.	Juan Murillo (2016). Implementación de un modelo de partos estacionales en un sistema de cría doble propósito bovino en el Piedemonte Llanero Colombia	En Colombia el desarrollo de la economía nacional, está exigiendo eficiencia, productividad y competitividad a los ganaderos, lo cual hace necesario mejorar la potencialidad de todos los eslabones de las cadenas productivas del sector agropecuario con el fin de minimizar los potenciales impactos negativos y maximizar las oportunidades que ofrecerán los nuevos mercados.	Modelar y simular un sistema adecuado e ideal, que pueda ser utilizado como herramienta administrativa y de desarrollo de gestión productiva, maximizando el numero de vacas por hectárea disponible de pasto, un sistema que optimice el uso de los recursos	Conceptos claves para entender el funcionamiento de una granja, todos los procesos que se llevan a cabo y la influencia del sistema de pastoreo sobre la productividad de esta.
Investigación aplicada a la caracterización de herramientas diseñadas para la simulación de entornos agropecuarios	Luis Rodríguez y Lilia Bermúdez (1995). Usos y aplicaciones de la simulación en la investigación agropecuaria Colombia	La simulación es una herramienta de gran transcendencia e importancia para el análisis, diseño y operación de sistemas y procesos complejos, lo cual hace necesario un desarrollo paralelo en sus etapas de realización con las del proceso de búsqueda y ampliación del conocimiento científico.	Realizar un documento que los aspectos más relevantes de la simulación, a la vez que se destaca su papel en el contexto de la investigación científica en el campo de las ciencias agropecuarias.	Aspectos que se deben tener en cuenta para realizar una simulación, tales como: técnicas, fundamentos y aplicaciones.
Software diseñado para apoyar la toma de decisiones en el sector pecuario.	Brian W Brigham (2011). Decision support system for cow-calf producers. Estados Unidos	La selección del semental de una granja ganadera es una de las decisiones que deben tomar los productores y que afectan el nivel de producción, teniendo en cuenta que vivimos en mundo tecnológico ha surgido la necesidad de un software de soporte de decisiones está aumentando con el creciente número de diferencias de progenie esperadas (EPD) disponibles.	Herramientas basadas en la web para evaluar la producción y los resultados económicos del uso de toros alternativos, por medio del cual los usuarios puedan evaluar la productividad teniendo en cuenta las características de su granja y ganado.	Algunos aspectos importantes a tener en cuenta en la simulación de problemas de toma de decisiones en el sector pecuario, relacionados con la producción, gestión, economía y genética de los hatos ganaderos.
Simulación aplicada al análisis de consecuencias derivadas de la toma de decisiones	A.W. Jalvingh (1993). Dynamic livestock modelling for on-farm decision support. Países Bajos.	En los Países Bajos las regulaciones gubernamentales como las cuotas de leche y la legislación sobre el estiércol limitan las oportunidades de expandir las granjas e incrementan el énfasis en una mayor reducción de los costos.	Desarrollo de un enfoque de modelado para apoyar las decisiones con respecto a la producción, reproducción y reemplazo rebaños lecheros.	Noción de modelado de granjas ganaderas teniendo en cuenta patrones de partos, prácticas ganaderas y restricciones por cuestiones de sostenibilidad.

Fuente: elaboración propia

Aspectos diferenciadores del proyecto

Según la literatura revisada previamente se pueden destacar algunos aspectos diferenciadores con respecto a este proyecto, algunos de ellos son:

- **Particularidad del hato:** Es el primer aspecto destacable, ya que, el hato que se utilizó para la simulación del modelo se encuentra en un punto geográfico diferente a los estudiados en otros trabajos, lo que conlleva a una serie de condiciones (climáticas, geográficas, económicas, etc.) y características (tamaño, métodos, tipo de explotación, etc.) particulares a las cuales se adaptó el modelo para su correcta representación.
- **Se partió de modelos ya creados:** La idea de este proyecto fue tomar los modelos realizados previamente por otros autores, integrarlos y adaptarlos de tal modo que funcionaran para dar cumplimiento con el objetivo propuesto de forma eficiente.
- **Orientado a apoyar el proceso de toma de decisiones:** Con este proyecto se buscó ir más allá del aprendizaje, brindando una herramienta que apoya a los productores pecuarios a tomar aquellas decisiones que afecten la productividad de sus hatos.

3.3 MARCO CONTEXTUAL

Esta sección tiene el propósito de describir el contexto en el cual se desarrolló el proyecto, es decir, se realiza una caracterización de la finca ganadera La Hoyada el Tejar, así como el sistema de producción y comercialización pecuaria con el que esta cuenta.

3.3.1 Características de la finca la Hoyada el Tejar

3.3.1.1 Ubicación

La finca La hoyada el Tejar, se encuentra ubicada en la vereda El Pozo del municipio de San José de Miranda, Provincia de García Rovira, Santander, Colombia como se muestra en la **Figura 19**.

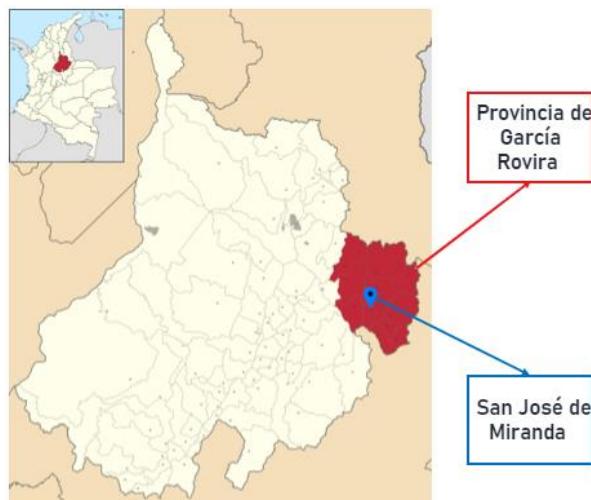


Figura 19. Ubicación municipio de San José de Miranda
Fuente: Milenioscuro (2019)

3.3.1.2 Área y perímetro

La finca la Hoyada el Tejar cuenta con un área de $62.427m^2$, divididas en tres secciones como se muestran en la **Figura 20**, **Figura 21**, **Figura 22**; un perímetro de 1.927 metros, y se encuentra a una altura de 2.642 metros sobre el nivel del mar .



Figura 20. Sección 1 finca La Hoyada el Tejar
Fuente de elaboración: Google Earth



Figura 21. Sección 2 finca la Hoyada el Tejar
Fuente de elaboración: Google Earth



Figura 22. Sección 3 finca la Hoyada el Tejar
Fuente de elaboración: Google Earth

3.3.1.3 Climatología

En el municipio de San José de Miranda en donde se encuentra ubicada la finca la Hoyada el Tejar, los veranos e inviernos son cortos y frescos; está mojado y nublado todo el año, lo que favorece las actividades agropecuarias, el crecimiento de pasturas y cultivos. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 13 °C a 21 °C (WeatherSpark, 2020).

3.3.1.4 Recursos hídricos

En la finca el agua utilizada para el consumo humano y los procesos productivos (agricultura y ganadería) se obtiene del nacimiento de agua denominado Chapeta y es conducida por medio de un acueducto comunitario que cuenta con 6 usuarios.

3.3.1.5 Tipos de pastos presentes en la finca

El suelo húmedo y el clima frío característico de la región donde se encuentra el hato hace que los pastos crezcan con rapidez, actualmente en los potreros de la finca crecen los siguientes tipos de pastos:

- **Kikuyo:** Esta clase de pasto tiene la mayor cobertura del suelo de la finca, tiene un elevado contenido de proteína y su crecimiento es rápido. Su manejo incluye 42 días de descanso (Gélvez, 2019). Su apariencia se muestra en la **Figura 23**
- **Trébol rojo:** Es una leguminosa altamente nutritiva para los animales, al ser mezclada con gramíneas incrementa la producción de leche en climas fríos como es el caso de la finca en estudio (CONtexto ganadero, 2017). Su apariencia se muestra en la **Figura 24**



Figura 23. Pasto Kikuyo [Fotografía]

Fuente: Autores



Figura 24. Pasto Trébol rojo [Fotografía]

Fuente: Autores

- **Ray Grass:** “Es una gramínea de crecimiento recto e inflorescencia en espiga. Puede ser utilizado para pastoreo o como pasto de corte... es muy utilizado en fincas con vacas lecheras muy productivas” (Gélvez, 2019). Su apariencia se muestra en la **Figura 25**
- **Falsa Poa:** “Es una variedad que se usa en ganadería bovina porque genera proteína cruda del 18%, resiste climas fríos y de paramos y se produce prácticamente en cualquier clase de suelo, bajos en fosforo y saturados de aluminio” (CONtexto Ganadero, 2017). Su apariencia se muestra en la **Figura 26**



Figura 25. Pasto Ray Grass [Fotografía]

Fuente: Autores



Figura 26. Pasto Falsa Poa [Fotografía]

Fuente: Autores

- **Pasto Elefante:** “es una gramínea muy conocida, especialmente por su utilización como alimentación del ganado lechero en la forma de forraje picado. Se debe cortar cuando alcanza su madurez a nivel del suelo y él retoña” (CONtextoganadero, 2017). Su apariencia se muestra en la **Figura 27**
- **Pasto imperial o gramalote:** Es una gramínea suculenta de crecimiento recto, tallos frondosos y muy fuertes que pueden llegar a medir 1.5 metros de altura. Su calidad nutritiva es media. El primer corte es a los 3 - 4 meses y luego los cortes se pueden realizar cada 90 - 110 días para suministrarlo a los animales (Martinez, 2011). Su apariencia se muestra en la **Figura 28**



Figura 27. Pasto Elefante [Fotografía]
Fuente: Autores



Figura 28. Pasto imperial [Fotografía]
Fuente: Autores

3.3.2 Sistema de producción y comercialización actual de la finca

3.3.2.1 Modelo productivo

Actualmente en la finca la Hoyada el Tejar el modelo productivo implementado es doble propósito, es decir la venta de animales de carne (En la **Figura 29** se muestra un bovino destinado para la producción de carne) y la crianza de animales para la producción de leche (En la **Figura 30** se muestra una vaca productora de leche).



Figura 29. Bovino macho en ceba [Fotografía]

Fuente: Autores



Figura 30. Vaca en etapa de ordeño [Fotografía]

Fuente: Autores

3.3.2.2 Tipo de explotación ganadera

En la finca la hoyada el tejar el tipo de explotación ganadera es mixta, es decir en algunas épocas se intensifica el cuidado de los animales, principalmente cuando están en las etapas productivas (engorde para el caso de bovinos de carne y en la época de embarazo y lactancia en el caso de las vacas de ordeño) y en algunas épocas los animales se mantienen en potreros sin cuidados complementarios.

3.3.2.3 Raza bovina con la que se trabaja en el hato

En la finca se maneja la raza normando debido a que es ideal para el doble propósito productivo de la finca, además se adaptan fácilmente a las condiciones climáticas. A continuación, se describen las principales bondades de la raza normando:

- **Rusticidad:** tiene una facilidad de adaptación al clima frío y maneja muy bien la montaña.
- **Doble propósito:** Cuenta con un desarrollo de la producción de carne y leche, lo que la cataloga como una raza mixta. En el caso de la carne se ve expresada en los machos o en las vacas que han terminado su etapa reproductiva, para la leche, cuenta con una ubre funcional con buenos ligamentos y equilibrio, lo que permite tener hembras que pueden dar entre 18 y 20 litros de leche en dos ordeños, de acuerdo con su mejoramiento genético
- **Mejoramiento genético:** Gracias a su vínculo con razas de Francia, se ha logrado lentamente mejorar la genética de los animales Normando, buscando una mejora en la calidad de la leche y la carne.

(Forero, 2019)

En la **Figura 31** se muestran algunos ejemplares de raza normando de la Hoyada el Tejar



Figura 31. Bovinos raza Normando [Fotografía]

Fuente: Autores

3.3.2.4 Descripción del proceso de producción actual

El ciclo productivo de la finca contempla las fases de crecimiento de cría, levante y ceba para el ganado de carne y las fases de cría, levante, preparto y producción para el ganado de leche.

En el momento del nacimiento se destinan cuales animales van a ser para producción lechera (terneras hembras) y cuales, para el engorde (terneros machos), además después de aproximadamente 8 o 10 partos las vacas se ceban para la venta ya que cumplieron el máximo número de partos por animal.

Cuando los animales se encuentran en las etapas de ceba, preparto y producción, se intensifica el cuidado con el fin de aumentar los niveles de producción. Para suplementar la alimentación de los animales se sumista sales mineralizadas, purinas, forrajes y ensilajes.

El proceso de ordeño de las vacas en producción se hace de manera manual, es decir una persona es la encargada de esta actividad y puede extraer la leche de entre 10 a 15 animales por hora.

En el hato ganadero actualmente se usa el pastoreo en franjas para el manejo del pasto de los potreros, “este sistema consiste en dar a los animales por día o por períodos menores una franja de potrero suficiente para su alimentación mediante el uso de cerca eléctrica” (Gonzalez, 2019). Este sistema disminuye las pérdidas de forraje considerablemente ya que los animales aprovechan completamente la porción de pasto que se les proporciona.

3.3.2.5 Descripción del proceso de comercialización actual

En el hato ganadero la Hoyada el Tejar se comercializan los novillos que ya han cumplido el tiempo límite en ceba y la leche producida por las vacas en ordeño.

- **Animales de carne:** cuando los bovinos de ceba o engorde cumplen alrededor de los 3 años se realiza la venta, para lo cual se contacta a los compradores de reses del municipio de Málaga, estos los compran en el mismo predio y los valoran dependiendo el peso de cada animal y el precio de la carne en el momento de la compra, esto es una ventaja significativa ya que se ahorran los costos del transporte de los animales hasta las plantas de sacrificio.
- **Leche:** para la comercialización de la leche se tiene un contrato con la empresa Freska Leche los cuales tienen personal y vehículos encargados de la recolección de la leche diariamente en cada una de las fincas y el transporte hasta la planta de acopio ubicada en el municipio de Málaga.

3.3.3 Aspectos financieros de la finca

A continuación, se realiza una descripción de los aspectos financieros y económicos involucrados en el negocio ganadero de la finca la Hoyada el Tejar.

3.3.3.1 Ingresos

Los ingresos del hato están determinados por las ventas de leche y de animales, dentro de la venta de animales para carne se tienen 5 grupos, los terneros de levante, las terneras de levante, los novillos de engorde, los toros sementales y vacas de descarte, que ya cumplieron con su ciclo productivo dentro de la finca; obteniendo de esto un promedio de \$4.000 por

kilo de carne vendido; en cuanto a la venta de leche que se hace diariamente a la empresa Freska Leche la finca recibe \$900 por cada litro vendido.

3.3.3.2 Egresos

Los egresos relacionados con el negocio de ganadería en la finca la Hoyada el Tejar están constituidos de la siguiente manera: la compra de toro(s) sementales la cual se realiza aproximadamente cada 3 años, con el fin de evitar consanguineidad entre las reses; los impuestos anuales de la finca; el pago del servicio de luz (el servicio de agua no está contemplado ya que es gratuito); la compra de concentrados para los bovinos; las guías de movilización que se deben comprar ante el ICA cada que se realice una venta de animales; la compra de sales mineralizadas también para los bovinos; los salarios de los dos trabajadores del hato; y otros gastos no periódicos de suministros tales como antiparasitarios, venenos y también las consultas a veterinarios o zootecnistas.

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

El presente capítulo tiene el propósito de presentar la metodología implementada para el desarrollo del proyecto y la orientación que se le dio al mismo.

El capítulo se organiza en; enfoque y tipo de investigación, donde se describe y justifica la metodología implementada; técnicas e instrumentos de recolección de información, en el cual se hace una descripción de los diferentes métodos y herramientas utilizadas para recabar información; esquema general o por fases de la investigación, donde se detallan cada una de las etapas del proyecto; y, por ultimo las actividades investigativas realizadas, que como su nombre lo indica, se detallan las diferentes acciones propuestas para dar cumplimiento con los objetivos planteados.

4.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta sección tiene el propósito de describir el enfoque al cual fue orientado el proyecto y su caracterización como un trabajo de investigación.

Teniendo en cuenta que este proyecto es de desarrollo tecnológico aplicado a un hato en particular, puesto que, lo que se pretende entregar es una herramienta software que los tomadores de decisiones de la finca la Hoyada el Tejar puedan utilizar para respaldar aquellas decisiones que comprometen la productividad, para su desarrollo se hizo necesario abordarlo desde dos enfoques: el sistemático, que permite entender y modelar la problemática; y la Ingeniería de Software que permite desarrollar herramientas atendiendo los requerimientos de los usuarios. Además de esto, considerando la naturaleza de los datos y técnicas de investigación implementados, este proyecto se puede clasificar como uno de tipo mixto.

4.1.1 Enfoque sistemático

El enfoque sistemático es definido por Bunge (1999) como:

una manera de concebir las cosas, así como de abordar y formular problemas. Se caracteriza por concebir todo objeto como una totalidad compleja o un componente de tal. Por consiguiente, quien adopta este enfoque intenta descubrir los diversos aspectos de una cuestión, así como los problemas relacionados con ella. Evita así las visiones unilaterales o sectoriales, y las correspondientes soluciones simplistas. (pág. 7)

El enfoque sistemático nos permitió modelar el hato desde una perspectiva holística a partir de una identificación de sus componentes, relaciones y definición de comportamientos dentro del mismo.

4.1.1.1 Dinámica de sistemas

La DS es una de las metodologías que utilizan el modelamiento desde el enfoque sistémico para representar sistemas complejos, ya que, como afirma Serra (2016):

La DS es adecuada para modelizar sistemas que presentan complejidad dinámica, bucles de retroalimentación, relaciones no lineales, existencia de retrasos en el envío de la información y de los materiales, y que describen un comportamiento que, en muchos casos, es diferente del que cabría esperar. (pág. 121)

La DS nos permitió modelar el hato como un sistema a partir de una caracterización de sus componentes y fundamentado en un modelo matemático, que define las relaciones y comportamiento del mismo; lo cual permite evidenciar las consecuencias que se desencadenan como respuesta a una decisión tomada que reconfigura una parte de este.

4.1.2 Enfoque de Ingeniería de Software

IEEE (1990), define la ingeniería de software como “la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable para el desarrollo, operación y mantenimiento de software”. De modo que, la Ingeniería del software nos permite desarrollar de una forma estructurada la interfaz del simulador teniendo en cuenta otros aspectos además de los requerimientos del usuario final.

Prototipado Evolutivo:

Sommerville (2005) define el desarrollo evolutivo como el que “se base en una implementación inicial, exponiéndola a los comentarios del usuario y refinándola a través de las diferentes versiones hasta que se desarolla en un sistema adecuado” (pág. 63).

Este prototipado se realiza en cinco fases como se muestra en la **Figura 32**, inicialmente se entabla una comunicación con los participantes para establecer los objetivos del software e identificar los requerimientos; seguido de esto, se hace un diseño rápido del prototipo, haciendo énfasis en los elementos que serán visibles para el usuario final; teniendo el diseño, se procede a hacer la construcción de la versión del prototipo en el menor tiempo posible; finalmente se hace la entrega al usuario final, este es el encargado de evaluarlo y hacer la respectiva retroalimentación, lo cual será la base para la construcción de la siguiente versión. Este proceso se repite las veces que sean necesarias hasta alcanzar el sistema real, es decir, aquel que satisface los requerimientos del usuario o da cumplimiento al propósito planteado (Pressman, 2010).

Teniendo en cuenta que la optimización del tiempo es uno de los pilares de la construcción de este tipo de prototipos, puesto que hay que hacer entregas de versiones regularmente, la documentación en el desarrollo de cada versión no es algo rentable (Sommerville, 2005).

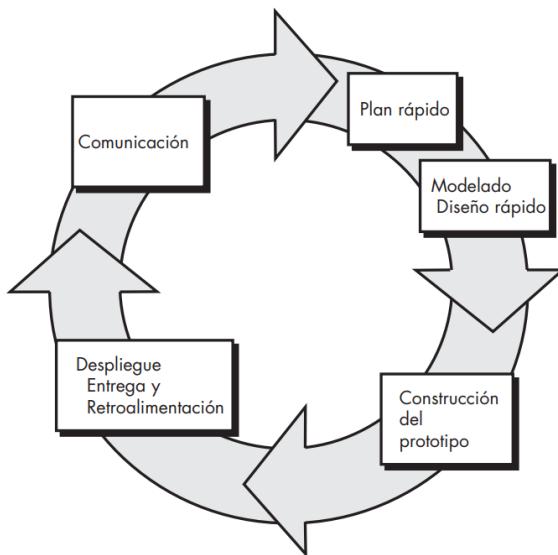


Figura 32. Fases del prototipado evolutivo

Fuente: Pressman (2010)

4.1.3 Investigación mixta

Es un proyecto de investigación mixta, ya que, como lo define Sampieri (2004), hay implícito “un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio... para responder a un planteamiento del problema” (pág. 610).

La parte cualitativa de la investigación se evidencia en la primera fase del proyecto, en la que se recolectaron y estudiaron diferentes experiencias nacionales e internacionales de autores que han trabajado con la misma temática, con el fin de identificar elementos importantes que permitan modelar el sistema productivo del hato La Hoyada el Tejar. La parte cuantitativa está implícita en el proceso de modelamiento y simulación ya que se fundamentan en un modelo matemático y sus resultados son de cierta manera medibles.

4.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Esta sección tiene el propósito de describir el proceso llevado a cabo para la recolección de datos e información necesarios para el desarrollo del proyecto, en **Cuadro 4** se presentan de manera detallada.

Cuadro 4. Técnicas e instrumentos de recolección de información utilizados

Técnica utilizada	Descripción de la manera cómo fue utilizada la técnica	Instrumento o recurso utilizado	Descripción del instrumento o recurso	Ubicación del instrumento dentro de este documento	Actividad investigativa en la fue utilizada
Revisión bibliográfica	La búsqueda de literatura científica y tecnológica se realizó mediante revisión web, consultando en bases de datos digitales como Google académico, Scopus, SciELO ScienceDirect; repositorios de algunas universidades; publicaciones de revistas enfocadas en el sector agropecuario como, por ejemplo, Boletín agrario, Agronegocios, INIA, CONtexto ganadero y páginas como la FAO y FEDEGAN.	Cuadro con la terminología de búsqueda	Para las búsquedas en la web, se identificaron grupos o familias de términos consultados en diferentes tesauros especializados como el de la UNESCO, IEEE, ACM Y AGROVOC.	Anexo 1	Actividad 1.1 y 2.1
Entrevistas a los dueños y trabajadores del hato	Para la identificación de las problemáticas y necesidades de los ganaderos, la construcción y contextualización del modelo con DS (Diagramas causales y de Forrester) y la realización de pruebas, se hicieron consultas y entrevistas sobre información y datos específicos a los administradores y trabajadores del hato ganadero La Hoyada el Tejar.	Guía de entrevista	Para identificar las problemáticas y necesidades de los ganaderos se usó como guía los campos necesarios para completar el Cuadro 1 (descripción de necesidades en el sector pecuario). Para recolectar los datos necesarios para la construcción de modelos se usó como guía una serie de cuadros con cada uno de los parámetros que se requerían.	Anexo 2 Cuadro 1	Actividad 2.1, 2.5, 3.3
		Libreta de notas, fotografías y audios	Para identificar elementos importantes y datos relacionados con el funcionamiento del sistema del hato, se realizaron apuntes escritos de igual manera para conservar las observaciones realizadas en la etapa de pruebas y las evidencias se usaron audios y fotografías.	Figura 35 Figura 36	
Observación y experimentación para la recolección de datos	Para la obtención de algunos datos fue necesario realizar experimentos en la finca con la ayuda de los trabajadores del hato.	Registros de datos	Durante el proceso de realización de experimentos, se hicieron registros escritos y digitales de la información recolectada.	Anexo 3	Actividad 2.5

Fuente: elaboración propia.

4.3 ESQUEMA GENERAL O POR FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta sección tiene el propósito de describir cada una de las fases o actividades globales en las cuales se estructuró el proyecto para su ejecución y desarrollo. Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta las fases presentadas en la **Figura 33**.

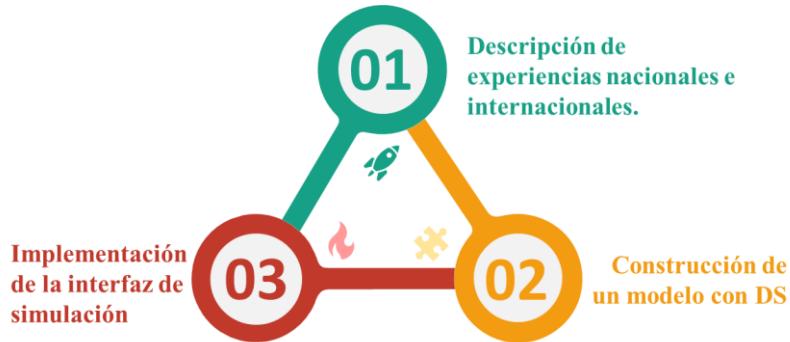


Figura 33. Fases del proyecto

Fuente: Autores

En la fase de descripción de experiencias nacionales e internacionales, se revisaron diferentes documentos e investigaciones relacionados con el proceso de aplicación de la dinámica de sistemas y toma de decisiones en el sector agropecuario enfatizando en el subsector pecuario.

En la fase de construcción del modelo, inicialmente se tuvo en cuenta en cuenta las variables y relaciones definidas por los autores de los artículos revisados, lo cual permite entender el comportamiento del sistema de producción y comercialización ganadero; posteriormente se integraron los modelos encontrados en el proceso de revisión de literatura, con el fin de consolidar un modelo con DS que represente eficazmente el sistema de producción y comercialización del subsector pecuario; para finalizar esta fase, se realizó la validación del modelo con ayuda de: datos históricos que nos permiten observar si las simulaciones del modelo concuerdan con dicha información y los actores involucrados en el hato ganadero la Hoyada el Tejar, con el cual se trabajó.

En la fase de implementación de la interfaz de simulación, se realizó e implementó un diseño de prototipo simulador que le permita a los usuarios del hato hacer uso del modelo con DS, para ello se tiene en cuenta la opinión y recomendaciones de los encargados de tomar decisiones en el hato, puesto que ellos serán los usuarios finales.

4.4 ACTIVIDADES INVESTIGATIVAS REALIZADAS

Esta sección tiene el propósito de presentar todas las actividades en las cuales se desagrega cada fase del proyecto, y que llevaron a la obtención de resultados para cada uno de los objetivos. En el **Cuadro 5** se encuentran cada una de las actividades y su relación con los objetivos y fases.

Cuadro 5. Actividades del proyecto su relación con los objetivos específicos, las fases y los resultados obtenidos

Actividad		Objetivo específico	Fase	Resultado obtenido
1.1	Búsqueda y recolección de literatura científica y tecnológica, nacional e internacional, sobre aplicaciones de la Dinámica de Sistemas al sector agropecuario, en especial, aquellos relacionados con el sector pecuario.	1	Descripción de experiencias nacionales e internacionales	Documento de descripción y síntesis de las aplicaciones de DS en los procesos de producción y comercialización agropecuaria, haciendo énfasis en el sector pecuario.
1.2	Organización de la información recolectada teniendo en cuenta aspectos como: modelos, métodos, fuentes de información, herramientas utilizadas, interfaces, implementación de la Dinámica de Sistemas, decisiones que apoyan, entre otros.			
1.3	Documentación y síntesis de las experiencias nacionales e internacionales encontradas.			
2.1	Análisis de los requerimientos y/o necesidades en cuanto a la toma de decisiones en los procesos de producción y comercialización pecuaria, a partir de la revisión documental de publicaciones en revistas especializadas y en la web, y en opiniones de ganaderos de la región.	2	Construcción de un modelo con DS	Modelo de simulación con DS, que considere las experiencias nacionales e internacionales consultadas y se oriente a la toma de decisiones de un hato ganadero de la Provincia de García Rovira.
2.2	Priorización de los requerimientos que serán atendidos por el prototipo de simulador teniendo en cuenta criterios como: dificultad para el desarrollo, tiempo requerido y pertinencia para el caso del hato ganadero.			
2.3	Análisis detallado de los modelos encontrados en la revisión de literatura, a saber: diagramas de influencias, de Forrester y modelos matemáticos.			
2.4	Ajuste e integración de modelos de DS (de influencias, de Forrester y matemáticos) de acuerdo con los requerimientos priorizados.			
2.5	Simulación y validación del modelo ajustado e integrado según los parámetros del hato ganadero la Hoyada el Tejar de la provincia García Rovira (Santander, Colombia), con la ayuda de los actores involucrados en el hato y datos históricos.			
3.1	Diseño del prototipo de interfaz de simulación, soportado en el modelo validado.	3	Implementación de la interfaz de simulación	Prototipo ilustrativo de interfaz de simulación, basado en el modelo construido que apoye en la toma de decisiones, a los ganaderos del hato seleccionado.
3.2	Implementación del prototipo de interfaz, utilizando principalmente los recursos que brindan herramientas tecnológicas de apoyo a la construcción de modelos de simulación con DS, como Powersim.			
3.3	Prueba y ajuste del prototipo de interfaz con la participación de actores vinculados al hato ganadero del caso.			

Fuente: elaboración propia

A continuación, se describen con más detalle cada una de las actividades.

4.4.1 Búsqueda y recolección de literatura científica y tecnológica sobre aplicaciones de la DS al sector agropecuario

En esta primera actividad la búsqueda de la literatura científica y tecnológica, nacional e internacional sobre aplicaciones de la Dinámica de Sistemas al sector agropecuario y el subsector pecuario, se realizó en bases de datos como Google académico, Scopus, SciELO y

ScienceDirect; las bibliotecas digitales y repositorios de algunas universidades; memorias de congresos de dinámica de sistemas; publicaciones de revistas enfocadas en estos sectores como por ejemplo Boletín agrario, Agronegocios, INIA, CONtextoganadero y páginas como la FAO y FEDEGAN.

También se identificaron grupos o familias de términos consultados en diferentes tesauros como el de la UNESCO, IEEE, ACM Y AGROVOC los cuales fueron clave para encontrar de manera más efectiva y rápida los documentos más afines al proyecto.

4.4.2 Organización de la información recolectada

En total se consultaron treinta trabajos relacionados con temáticas asociadas al proyecto, los cuales fueron organizados dependiendo las problemáticas que estudiaban, las soluciones que brindaban, la aplicación de la dinámica de sistemas en el apoyo a los procesos productivos agropecuarios e identificando los aportes que brindan a este proyecto como se puede observar en el **Cuadro 3**. Los treinta trabajos revisados fueron clasificados dependiendo las temáticas que abordan y comparten con este proyecto, los cuales podemos caracterizar en tres áreas, dinámica de sistemas, el sector agropecuario dentro del cual tenemos el subsector pecuario y la toma de decisiones y simulación.

4.4.3 Documentación y síntesis de las experiencias nacionales e internacionales encontradas

De los 30 trabajos consultados en la revisión de literatura, se priorizaron aquellos cuyo contenido fuera más acorde a las temáticas de este proyecto, con el fin de analizar más a fondo y encontrar elementos significativos, para esto se realizó el **Cuadro 6** de priorización, en el cual se tuvieron en cuenta aspectos como: el alcance de cada trabajo, si trataban temas de producción y comercialización, si contaban con modelos con DS, interfaces de simulación y si las problemáticas abordadas trataban temas bovinos y de hatos ganaderos. Resultado de esta priorización se identificaron 10 trabajos de los cuales se realizó una revisión detallada de elementos tales como modelos, métodos, fuentes de información, herramientas utilizadas, interfaces, implementación de la Dinámica de Sistemas, decisiones que apoyan, entre otros. Esta documentación se encuentra en **Anexo 4**.

4.4.4 Análisis de los requerimientos y/o necesidades en los procesos de producción y comercialización pecuaria

En esta actividad, se identificaron las diferentes problemáticas, requerimientos y/o necesidades en cuanto a la toma de decisiones en los procesos de producción y comercialización pecuaria, teniendo en cuenta la información recolectada a partir de la revisión documental de publicaciones en revistas especializadas, en la web y la realización de entrevistas a los ganaderos del hato la Hoyada el Tejar. Las problemáticas y necesidades encontradas se muestran a detalle en el **Cuadro 1**.

4.4.5 Priorización de los requerimientos que serán atendidos por el prototipo de simulador

Para la priorización de los requerimientos, necesidades y/o problemáticas del sector pecuario que se encontraron en la revisión web y por medio de las consultas a los ganaderos, se tuvieron en cuenta criterios como: necesidades específicamente del sector de ganadería bovina, dificultad para el desarrollo, tiempo requerido, recursos necesarios y pertinencia para el caso del hato ganadero la Hoyada el Tejar con el cual se trabajó para este proyecto.

4.4.6 Análisis detallado de los modelos encontrados en la revisión de literatura

En esta actividad, se identificaron elementos importantes en cada uno de los modelos de los 10 trabajos priorizados. En los diagramas causales o de influencias se encontró una idea inicial del funcionamiento de los sistemas de producción y comercialización bovina; los modelos de flujos y niveles permitieron la identificación de variables del sistema ganadero en estudio y los modelos matemáticos y ecuaciones permitieron determinar el comportamiento de las variables del diagrama de Forrester durante las simulaciones.

4.4.7 Ajuste e integración de modelos de DS de acuerdo con los requerimientos priorizados

Para la creación de los modelos con DS de este proyecto se integraron algunos elementos de cada uno de los trabajos priorizados en la revisión de literatura, los cuales se consideraron pertinentes para el hato ganadero en estudio, estos modelos se encuentran documentados en el **Anexo 4**, esta integración se realizó con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos que se priorizaron para ser atendidos por el prototipo simulador.

4.4.8 Simulación y validación del modelo ajustado e integrado según los parámetros del hato ganadero la Hoyada el Tejar

Después de la construcción del modelo con DS, se integraron los parámetros iniciales del modelo teniendo en cuenta los datos del hato ganadero la Hoyada el Tejar, los cuales se encuentran de manera detallada en el **Anexo 2**, y fueron suministrados por el Administrador del hato, posteriormente se realizó la simulación y la validación de dicho modelo.

El proceso de validación se realizó de 2 formas, la primera fue con los datos históricos proporcionados por el Administrador del hato, en la **Figura 34** se muestra uno de los registros proporcionados, en total se contó con 10 registros poblacionales de los bovinos desde el año 2014 hasta el año 2019, con estos datos realizamos la simulación del pasado y verificamos que las proyecciones del comportamiento poblacional tuvieran un comportamiento similar al de los datos reales suministrados; las segunda fuente de validación fue gracias a la ayuda de los actores involucrados en el hato, en este caso el administrador Humberto Rodriguez y Yeison Felipe Rodriguez trabajador del hato y estudiante de zootecnia, los cuales gracias a sus conocimientos en el tema de ganadería bovina realizaron sus observaciones y sugerencias a lo largo de la construcción del modelo como se evidencia en la **Figura 35**.

Figura 34. Registro de ganado bovino hato la Hoyada el Tejar
Fuente: Rodriguez (2020)



Figura 35. Proceso de validación del modelo con actores del hato
Fuente: Autores

4.4.9 Diseño del prototipo de interfaz de simulación, soportado en el modelo validado

En esta actividad, se realizó el diseño de las interfaces de usuario con las que cuenta el prototipo simulador, identificando cada uno de los elementos que los ganaderos necesitan para su correcta interacción con el software y la manera adecuada de presentar la información resultante de las simulaciones.

4.4.10 Implementación del prototipo de interfaz utilizando Powersim

Se llevó a cabo la implementación del prototipo de interfaz, utilizando los recursos que brinda la herramienta tecnológica Powersim para apoyo en la construcción de modelos de simulación con DS y la creación de interfaces, teniendo en cuenta los elementos anteriormente identificados para la interacción entre el ganadero y el modelo y la correcta presentación de la información que se genera.

4.4.11 Prueba y ajuste del prototipo de interfaz con la participación de actores vinculados al hato

En esta actividad, se presentó el prototipo simulador al administrador y trabajadores del hato ganadero la Hoyada el Tejar, con el fin de que interactuaran con él, tal como se observa en la **Figura 36**, de esta manera realizaron sus observaciones en cuanto a las interfaces y la presentación de la información para realizar los ajustes pertinentes en el diseño del prototipo.

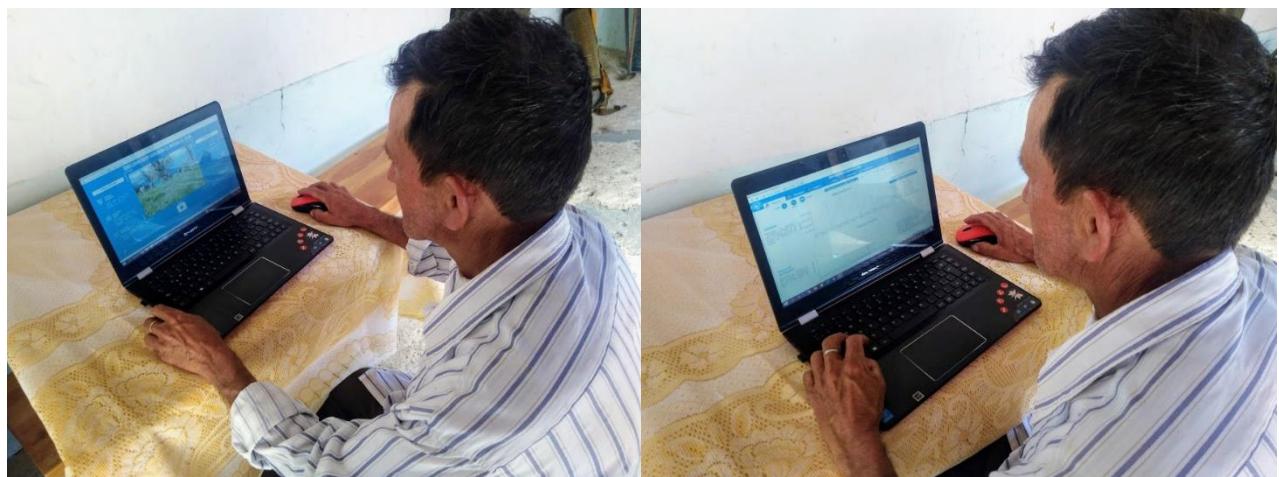


Figura 36. Proceso de prueba del prototipo con el administrador del hato
Fuente: Autores

5. RESULTADOS

El presente capítulo tiene el propósito de mostrar los principales resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto.

Este capítulo se organiza en:

- Documentación y síntesis de las aplicaciones de DS en los procesos de producción y comercialización agropecuaria, haciendo énfasis en el sector pecuario; en el cual se evidencian los aportes más significativos por parte de los artículos revisados.
- Modelo de simulación con Dinámica de Sistemas, en el cual se hace una descripción del modelo construido, sus variables, relaciones y demás características identificadas.
- Prototipo ilustrativo de interfaz de simulación; en esta sección se muestra la interfaz construida y una descripción de su funcionamiento.

5.1 DOCUMENTACIÓN Y SÍNTESIS DE LAS APLICACIONES DE DS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA

Para realizar la revisión de literatura de manera más detallada se utilizó la tabla de priorización que se muestra en el **Cuadro 6**, en donde se encuentra una caracterización del contenido de los treinta trabajos consultados en el estado del arte, con el fin de priorizar y analizar más a fondo aquellos que se encuentran relacionados con los temas propuestos para este proyecto, y de esta manera encontrar aportes significativos para su desarrollo basándonos en las temáticas que abordan y comparten.

De los 30 trabajos descritos en el estado del arte se revisaron más a fondo los 10 trabajos con más alto nivel de prioridad, en ellos se encontraron aportes significativos en cuanto a: cifras y datos relacionados con los factores que influyen en los procesos de producción y comercialización pecuaria, estos datos son base para la formulación y definición de variables de nuestro modelo; modelos causales o de influencias, estos nos dan una idea inicial del comportamiento de los sistemas de producción y comercialización bovina; modelos de flujos y niveles, la integración de todos estos modelos encontrados permiten el diseño de un modelo que represente idóneamente los sistemas en estudio; modelos matemáticos y ecuaciones, estos permiten determinar el comportamiento de las diversas variables del modelo durante el proceso de simulación; simulaciones; estas dan idea de cómo se debe presentar la información de manera adecuada y representan el comportamiento proyectado del sistema; interfaces, estas permiten la identificación de elementos necesarios para que los usuarios del simulador puedan interactuar y hacer el uso adecuado del mismo.

Cuadro 6. Priorización de artículos

Trabajo	Producción	Comercialización	Modelo con DS	Interfaz	Simulación	Bovinos	Alcance (Hato)	Datos	Total (Nivel de prioridad)
Lineamientos Metodológicos para construir Ambientes de Aprendizaje en Sistemas Productivos Agropecuarios soportados en Dinámica de Sistemas	X	X	X	X	X	X		X	7
Diseño de un modelo de simulación dinámica para mejorar la producción de ganado bovino en una granja en el norte del valle del cauca.	X	X	X		X	X	X	X	7
Propuesta de un modelo de simulación de ganadería intensiva bovina.	X	X	X	X	X	X		X	7
Estrategias de producción para el sector de medianos productores de leche cruda en el departamento de Cundinamarca.	X	X	X		X	X	X		6
Modelo de simulación para estudiar la dinámica poblacional de un hato ganadero, basado en un modelo de simulación con Vensim.	X		X		X	X	X		5
Simulador para el Aprendizaje de Toma de Decisiones en Mercadeo en el Sector Lácteos.		X	X		X	X		X	5
Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando dinámica de sistemas.		X	X		X	X		X	5
Dinámica de la ganadería vacuna en Uruguay: un modelo de simulación.	X		X		X	X		X	5
Modelo matemático de la demografía del ganado de un predio del sector El Ocho Letras.	X	X	X			X	X		5
SAMI: Serious videogame of bovine cattle farms in Unity supported in System Dynamics.	X		X	X	X	X			5
Modelo de Dinámica de Sistemas para la Predicción del Comportamiento del Mercado Porcícola.		X	X		X			X	4
Un Modelo de Simulación de Sistemas de Engorda de Bovinos a Pastoreo	X				X	X		X	4
Ganadería de doble propósito: propuesta para pequeños productores colombianos.	X	X				X		X	4
Development and Evaluation of a Simulation Model for Dairy Cattle Production Systems Integrated with Forage Crop Production.	X				X	X		X	4
Desarrollo de un modelo de simulación para la producción de carne bovina.	X				X	X		X	4
Uso de modelos de simulación para asistir decisiones en sistemas de producción de carne.	X				X	X		X	4
Modelo de simulación sistema de producción bovino doble propósito Piedemonte Llanero.	X	X			X	X			4
Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay.	X	X			X	X			4
Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria.	X	X			X	X			4
Cattle herd dynamics: an integer and stochastic model for evaluating production alternatives.	X				X	X		X	4
Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems.	X	X			X	X			4
Implementación de un modelo de partos estacionales en un sistema de cría doble propósito bovino en el Piedemonte Llanero.	X				X	X	X		4
Decision support system for cow-calf producers.	X	X			X	X			4
Dynamic livestock modelling for on-farm decision support.	X				X	X		X	4

Trabajo	Producción	Comercialización	Modelo con DS	Interfaz	Simulación	Bovinos	Alcance (Hato)	Datos	Total (Nivel de prioridad)
A general simulation model for cattle growth and beef production.	X					X		X	3
Aplicación del Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE) para el estudio de la sensibilidad de la producción ganadera a la amplitud de la variabilidad de la oferta de forraje.	X					X		X	3
Buenas prácticas agropecuarias [BPA] en la producción de ganado de doble propósito bajo confinamiento con caña panelera como parte de la dieta.	X					X		X	3
Modeling cattle production systems: integrating components and their interactions in the development of simulation models.	X					X		X	3
Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo.						X		X	2
Usos y aplicaciones de la simulación en la investigación agropecuaria.					X			X	2

Fuente: elaboración propia.

La revisión detallada de cada uno de los 10 trabajos que obtuvieron mayor puntaje en la priorización se encuentra en el **Anexo 4**.

5.2 MODELO DE SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS.

Teniendo en cuenta la información recolectada como producto de la revisión de literatura realizada en la primera fase del proyecto y los datos suministrados por el dueño y administrador del hato la Hoyada el Tejar, se construyeron diagramas causales y de flujos y niveles para representar las variables y relaciones que intervienen en el sistema ganadero doble propósito del hato mencionado, tanto a nivel poblacional en las reses, como en la producción y su eventual impacto en la rentabilidad del negocio ganadero.

5.2.1 Diagramas causales del hato la Hoyada el Tejar

Estos diagramas se realizaron para considerar de qué modo se afectan las variables que conforman el sistema productivo del hato. Para la identificación de cada una de estas variables y sus interrelaciones se tuvo en cuenta la información documentada por otros autores en los diferentes trabajos investigativos revisados en la primera fase del proyecto.

En algunos de los trabajos como los de Gómez, Andrade y Vásquez (2015); Franco y Marulanda (2017); Gómez y Andrade (2010); Garzón (2015); Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019); se percibió la importancia de dividir el modelo en submodelos para mejorar la comprensión del mismo, por ello se decidió representar el modelo general de producción del hato la Hoyada el tejar en tres partes: en la primera se consideran las variables poblacionales, es decir, aquellas que determinan las etapas de desarrollo en las reses y el número de estas presentes en el hato, como se aprecia a detalle en la **Figura 37**; en el segundo diagrama, que se muestra en la **Figura 38**, se consideran aquellos elementos que determinan la utilidad del hato; y, por último, se consideraron los elementos que afectan las pasturas y concentrados con los que se alimentan las reses en el hato.

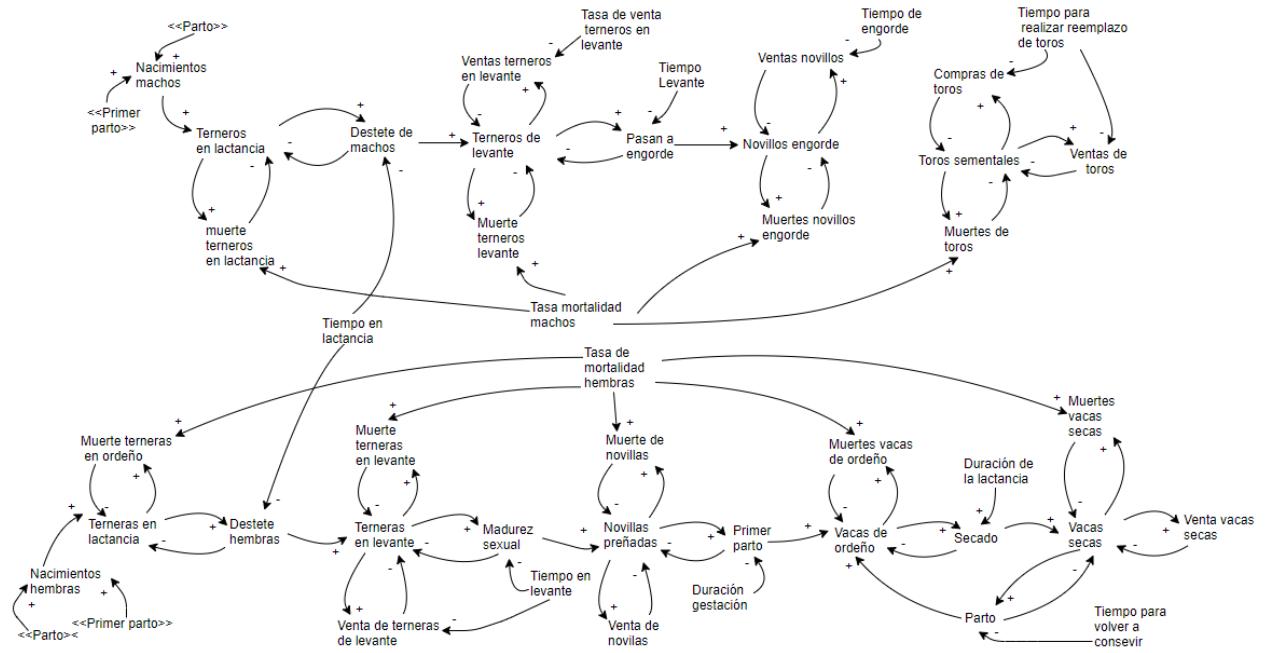


Figura 37. Diagrama causal sistema poblacional hato la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia

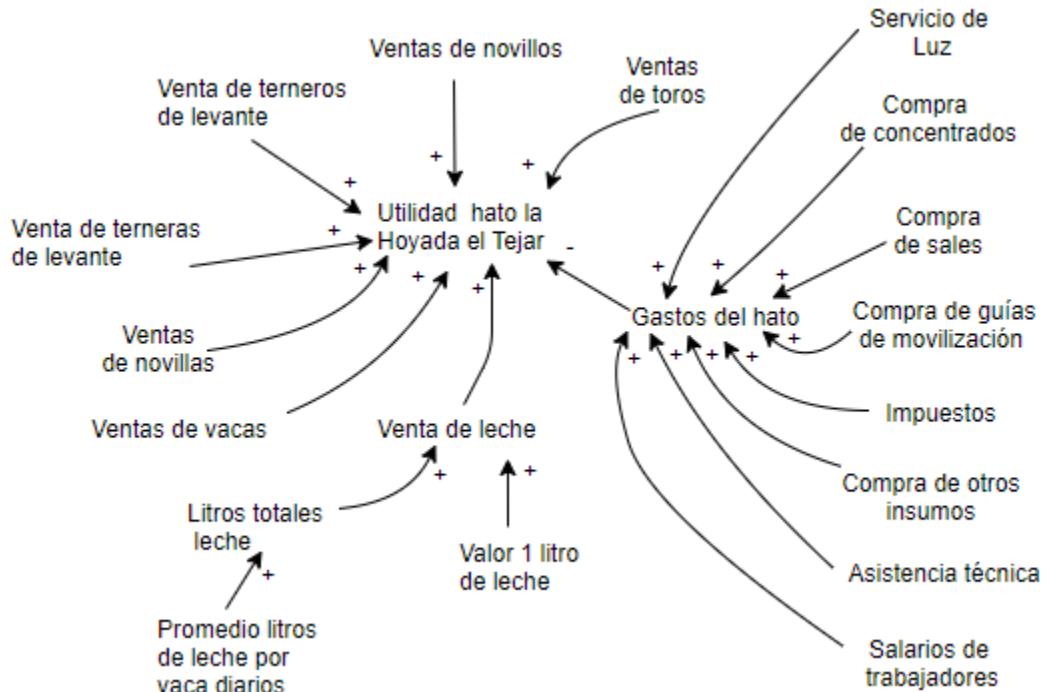


Figura 38. Diagrama causal sistema financiero hato la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia

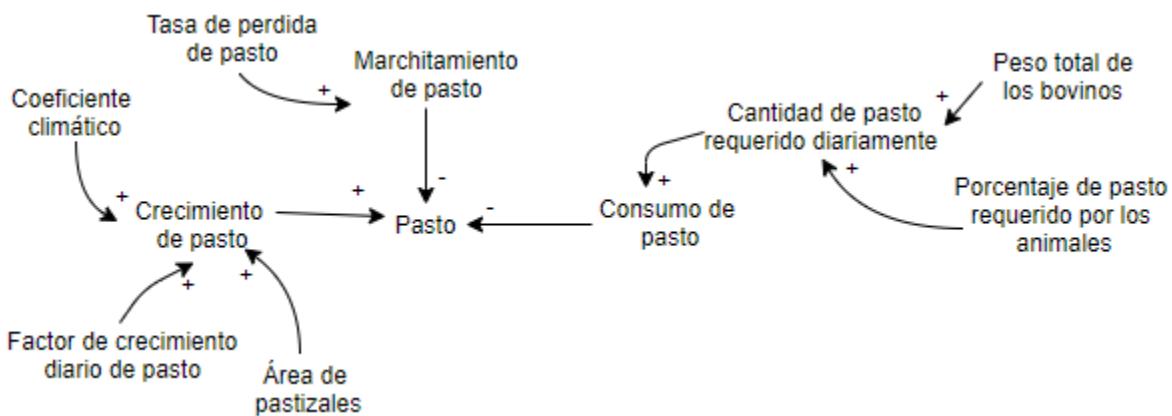


Figura 39. Diagrama causal subsistema de pasto

Fuente: elaboración propia

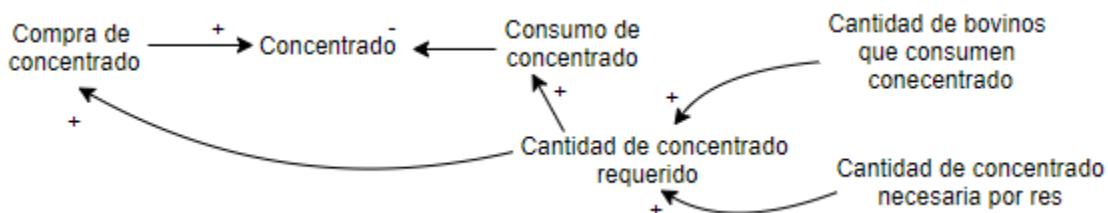


Figura 40. Diagrama causal subsistema de concentrado

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Diagramas de Flujos y niveles del hato la Hoyada el tejar

Con estos diagramas se logró modelar el comportamiento de las diferentes variables que conforman el sistema productivo del hato, para representarlo de manera eficiente se tuvieron en cuenta los aportes de modelos realizados en trabajos previos por otros autores, los cuales se revisaron y se muestran a detalle en el Anexo 4 también los datos suministrados por el administrador y los trabajadores del hato, fueron primordiales para lograr representar los procesos y el comportamiento del sistema.

5.2.2.1 Modelo poblacional

En este modelo se representa principalmente, el número de reses en el hato y en las etapas productivas en las que se encuentran, así como los tiempos que demoran normalmente para pasar de una etapa a otra, para que se realice su venta o cual quiera que sea su propósito productivo. Para su diseño fue primordial el trabajo realizado por Molina (2018) el cual nos dio la estructura base para identificar las etapas por las que pasan las reses siendo diferente en los machos y en las hembras, como se logra apreciar en la Figura 41.

Como uno de los factores adicionales, se incluyó el nivel de toros sementales, ya que, el hato la Hoyada el Tejar, generalmente tiene dos machos destinados a este propósito, los cuales reemplaza cuando ya llevan alrededor de tres años en el hato para evitar posible cruce entre reses parientes y algún defecto genético como resultado; de modo que, para representar este evento se consideró la variabilidad de la fecha de compra, así como los días que tardan los

toros de reemplazo en llegar al hato después de haber realizado la venta de los antiguos, para lo cual, se hizo uso de una distribución normal que considera la cantidad de tiempo que duraron los toros anteriormente, desde el momento en que se compraron hasta que se reemplazaron por otros y los días que normalmente tardan en llegar al hato los toros recién comprados.

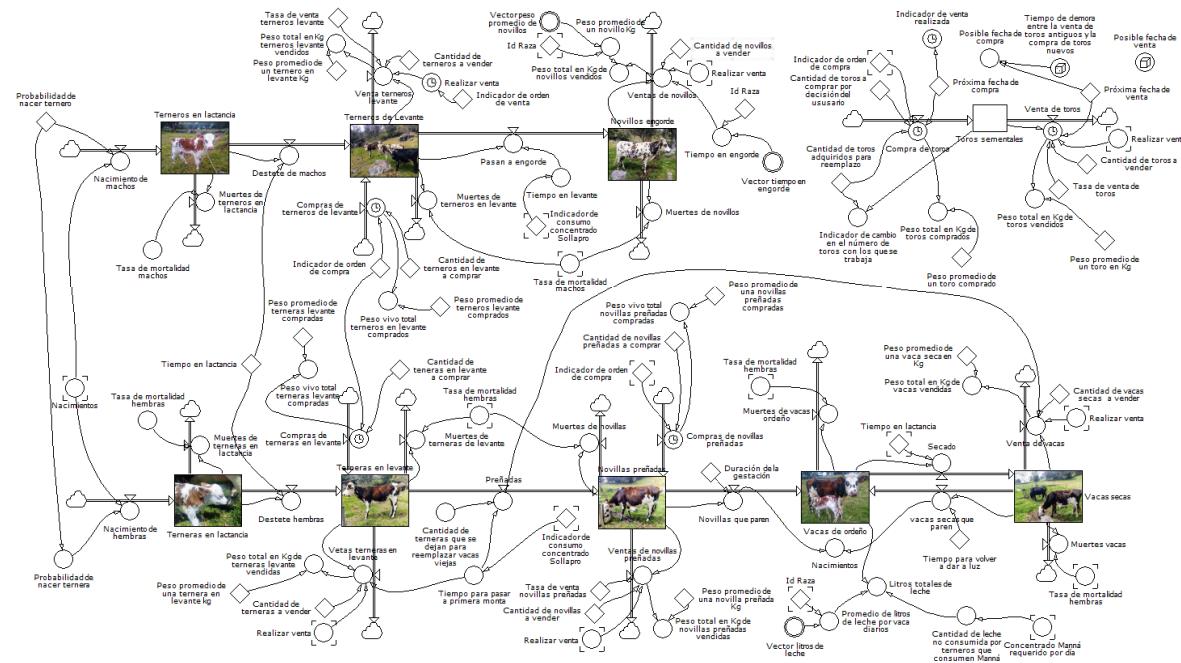


Figura 41. Diagrama de flujos y niveles sistema poblacional hato la Hoyada el Tejar
Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.2.2.2 Modelo financiero

Este modelo, que se muestra en la **Figura 42**, describe el comportamiento de las variables que afectan los niveles de utilidad obtenidos dentro del hato cada año, mostrando la relación entre los ingresos generados por la venta de reses (que depende del precio de la carne y el peso vivo de la res) o leche (que depende de la cantidad de litros producidos y el precio por litro); y los egresos que generan las compras, el pago de servicios, salarios y otros gastos. Para su elaboración, los modelos revisados en los trabajos de Gómez, Andrade y Vásquez (2015); Franco y Marulanda (2017); Garzón (2015); y, Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019); fueron de gran aporte.

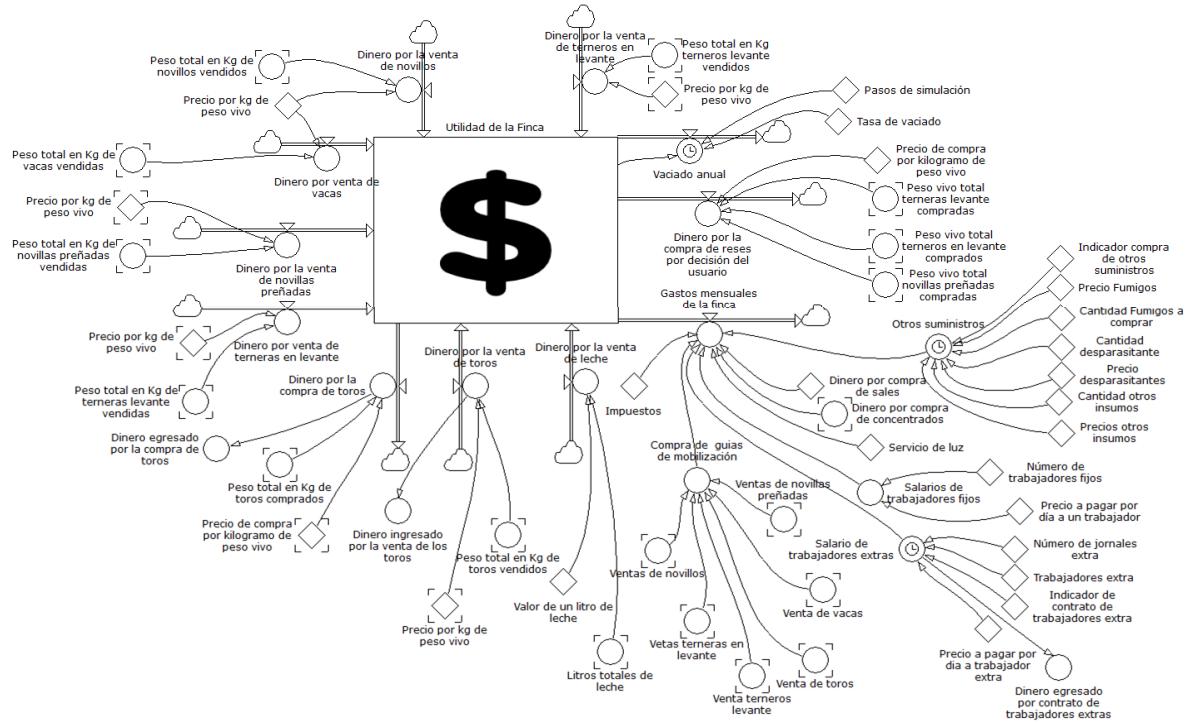


Figura 42. Diagrama de flujos y niveles sistema financiero hato la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.2.2.3 Modelo de alimentación

En este modelo se consideran las variables que afectan los niveles de concentrado y la cantidad de pasto disponibles para alimentar a las reses del hato, para su desarrollo, fue de aporte los modelos de Gómez y Andrade (2010); Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019); Gómez, Andrade y Vásquez (2015); y, Franco y Marulanda (2017).

Concentrados:

Para modelar el consumo y disponibilidad del concentrado se tuvo en cuenta cómo funciona el sistema real y una sugerencia de cómo debería funcionar, ya que, actualmente el administrador del hato compra mensualmente las mismas cantidades de concentrado y suministra la misma ración diaria a las reses; sin embargo, se modeló la posibilidad de que el simulador calcule la cantidad requerida y en base a esto determine la cantidad a comprar mensualmente.

También se consideró que el hato actualmente suministra concentrado a las vacas cuando se encuentran en las etapas ordeño o preparto y a los novillos de engorde, a los cuales les suministra el concentrado Masleche, Prepato y Engorde respectivamente, ambos de la marca Solla (Rodríguez H., 2020) y representados en la **Figura 43**, **Figura 44** y **Figura 45**.

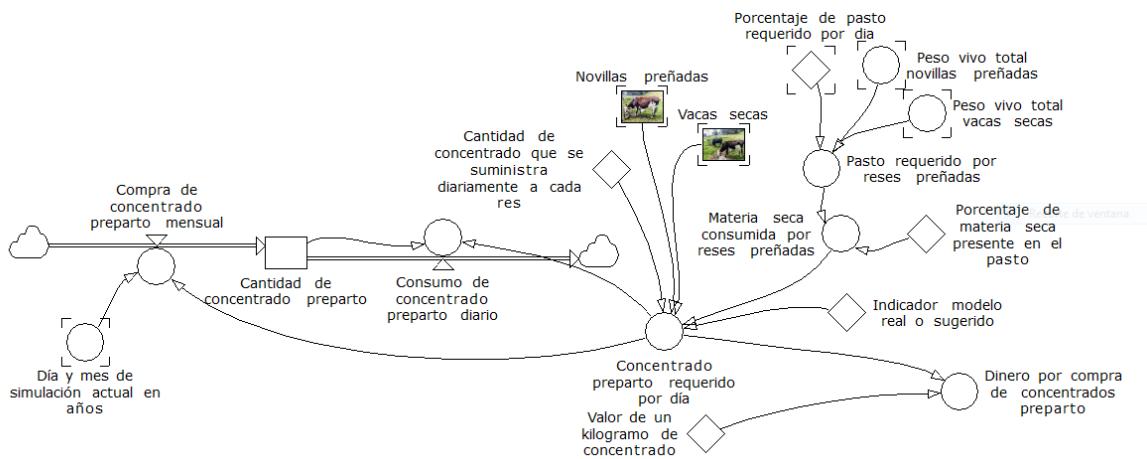


Figura 43. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Preparto en la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

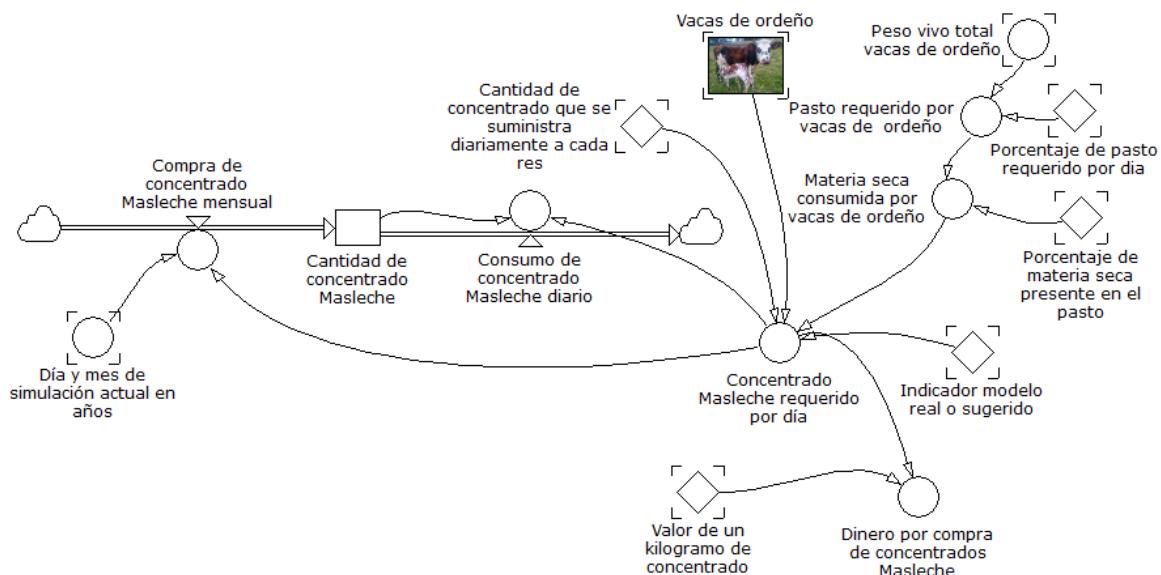


Figura 44. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Masleche en la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

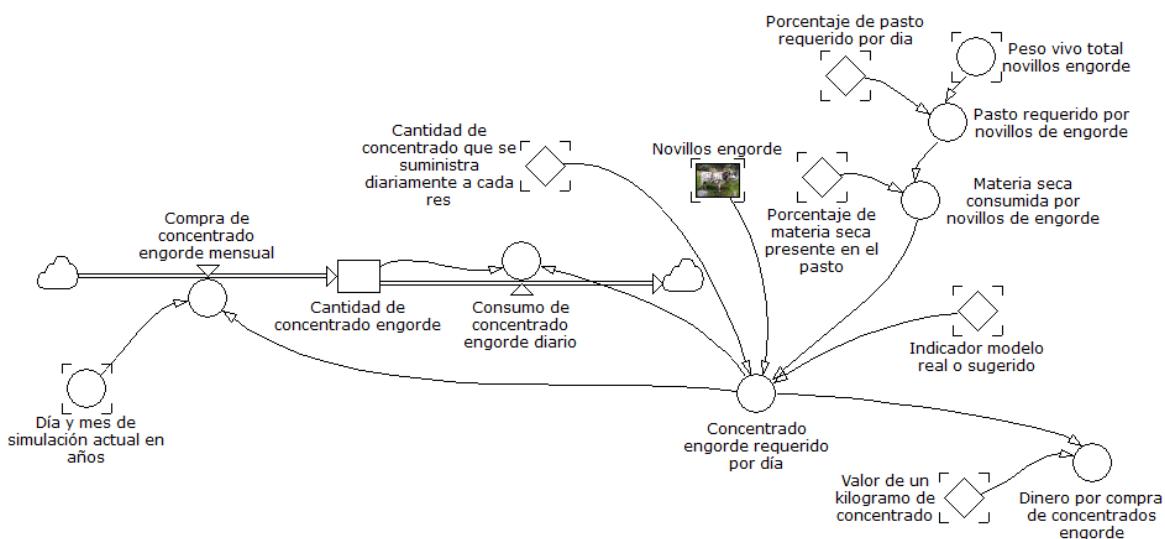


Figura 45. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado engorde en la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

Se dejó abierta la posibilidad de que el usuario de la interfaz suministre concentrado a las reses que se encuentran en aquellas etapas que actualmente no se suplementan, es decir, a los terneros en lactancia (**Figura 46**) y a los terneros en levante (**Figura 47**), con los concentrados Manná y Sollapro de la marca Solla.

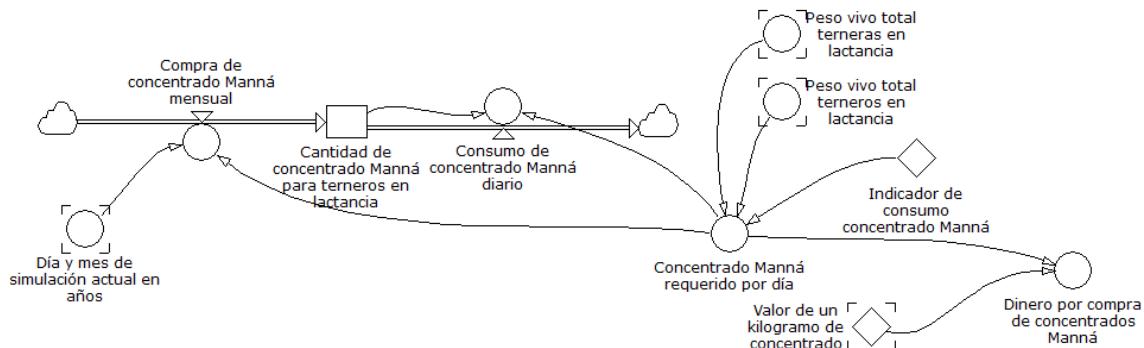


Figura 46. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Manná en la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

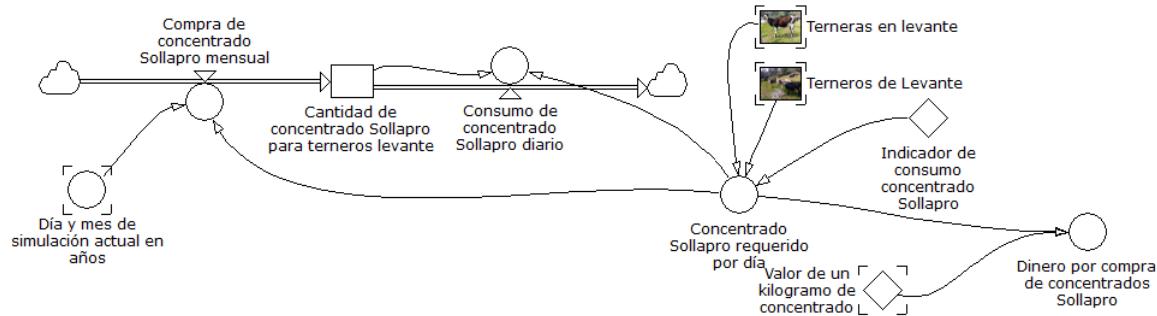


Figura 47. Diagrama de flujos y niveles submodelo de consumo concentrado Manná en la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

Por último, se realizó el cálculo de la cantidad de dinero invertida mensualmente en compra de concentrados, sumando la cantidad que consumen las reses por el valor del kilo, esto se representa en **Figura 48**.

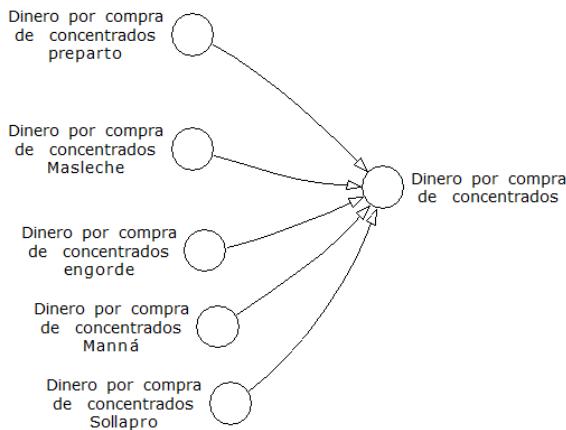


Figura 48. Modelado cálculo dinero por compra de concentrados hato la Hoyada el Tejar

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

Pastos:

Para modelar el consumo y disponibilidad de pasto, se consideró el hecho de que los potreros del hato cuentan con 5 especies de este, mezclados y en diferentes proporciones, dichos pastos son:

- Kikuyo, cuyo modelo se observa en la **Figura 49**, y representa aproximadamente el 80% del total del pasto (Rodríguez H. , 2020).
- Trébol rojo, cuyo modelo se observa en la **Figura 50**, y representa aproximadamente el 7% del total del pasto (Rodríguez H. , 2020).

- Ray Grass, cuyo modelo se observa en la **Figura 51**, y representa aproximadamente el 2% del total del pasto (Rodríguez H. , 2020).
- Falsa Poa, cuyo modelo se observa en la **Figura 52**, y representa aproximadamente el 10% del total del pasto (Rodríguez H. , 2020).
- Elefante, cuyo modelo se observa en la **Figura 53**, y representa aproximadamente el 0.5% del total del pasto (Rodríguez H. , 2020).
- Imperial, cuyo modelo se observa en la **Figura 54**, y representa aproximadamente el 0.5% del total del pasto (Rodríguez H. , 2020).

Este modelo se trabajó bajo el supuesto de que la cantidad de pasto por especie consumido por las reses es proporcional al porcentaje de cubrimiento de cada tipo y para el cálculo del consumo diario se tuvo en cuenta el peso vivo total de las reses, por lo que fue necesario modelar esta parte, como se observa en la **Figura 55**.

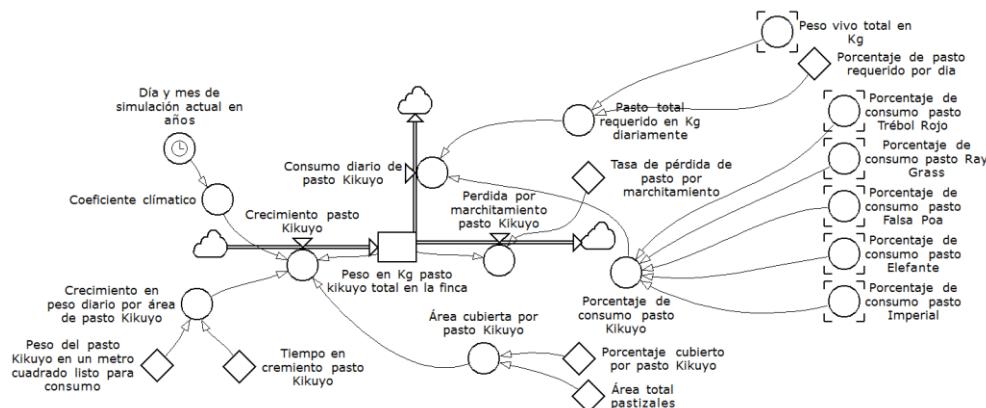


Figura 49. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Kikuyo
Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

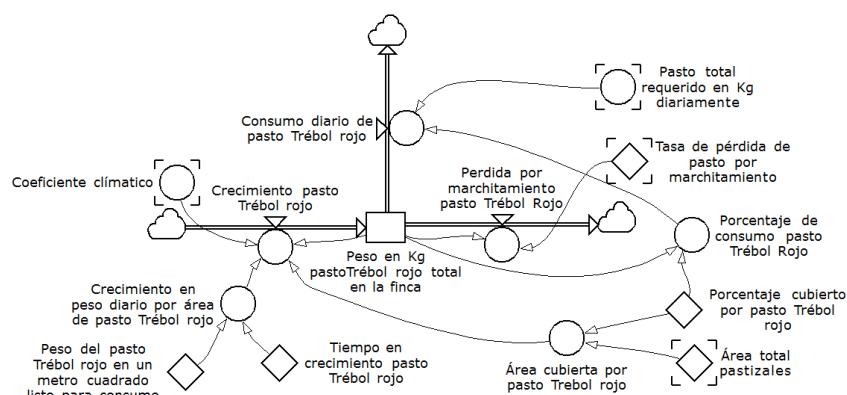


Figura 50. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Trébol rojo
Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

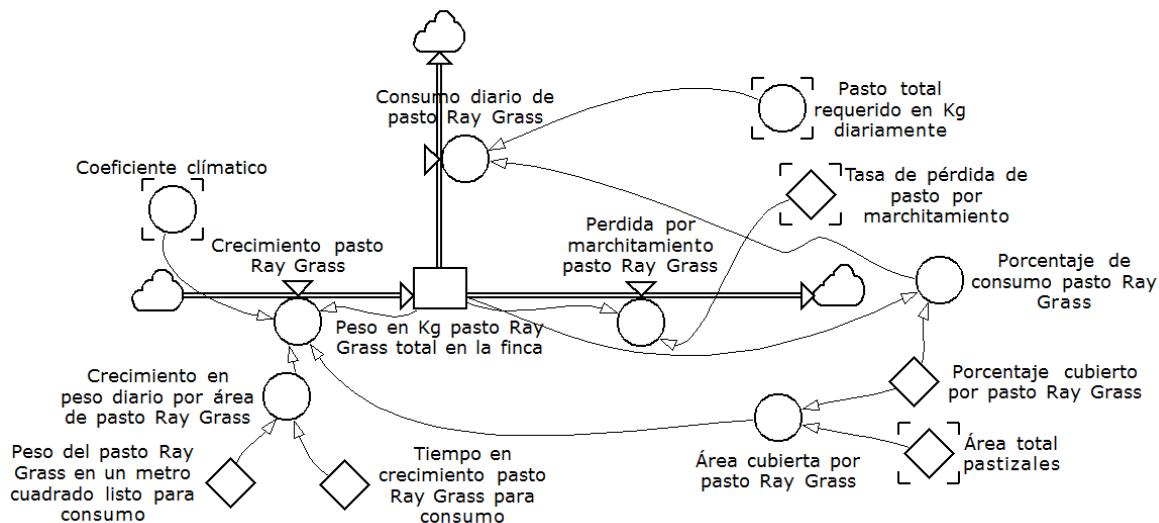


Figura 51. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Ray Grass

Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta Powersim (2017)

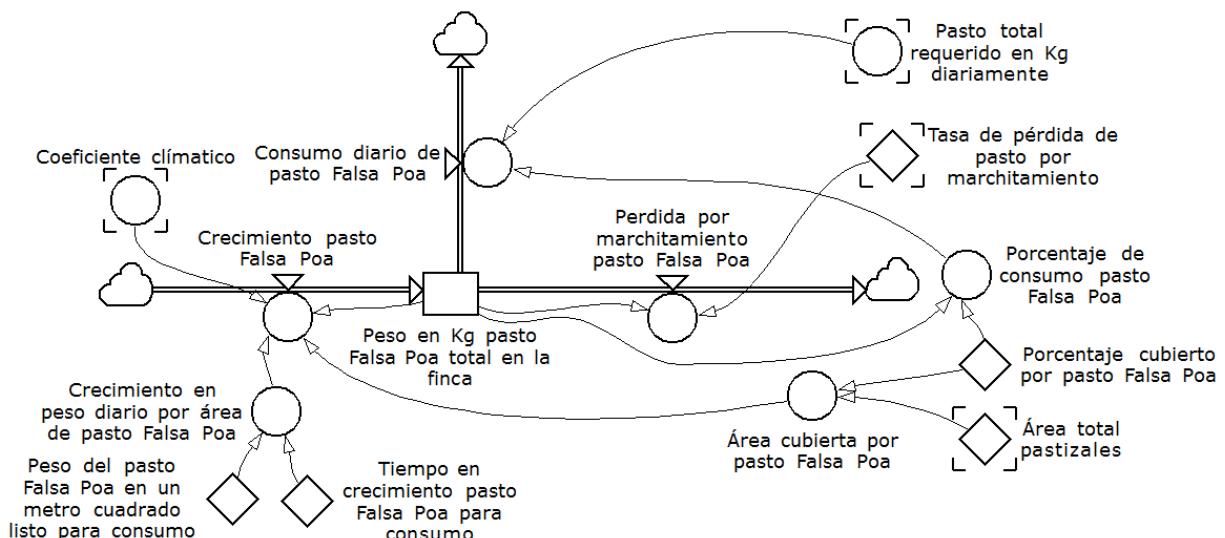


Figura 52. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Falsa Poa

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

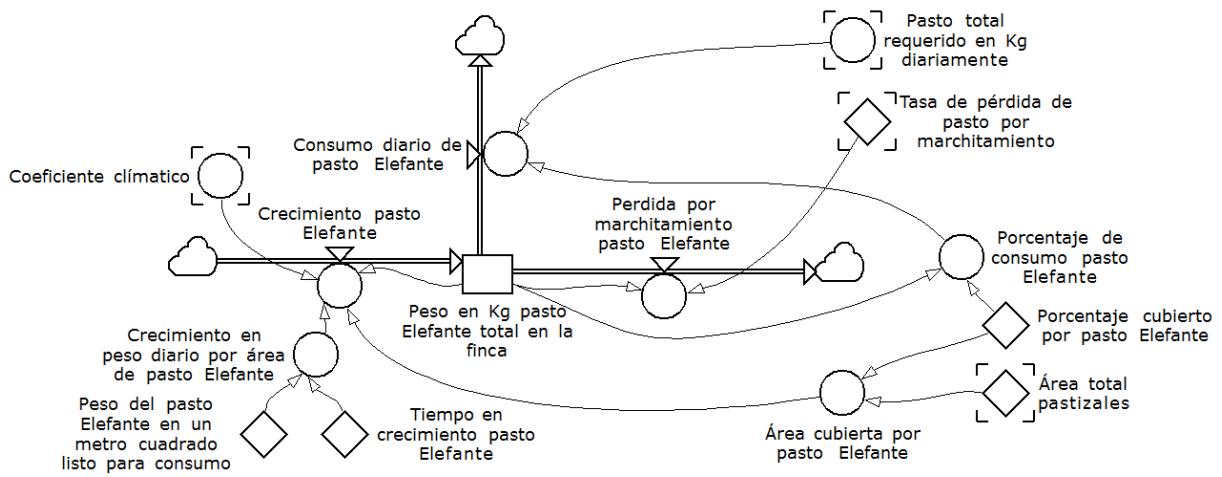


Figura 53. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Elefante
 Fuente: elaboración propia utilizando, la herramienta Powersim (2017)

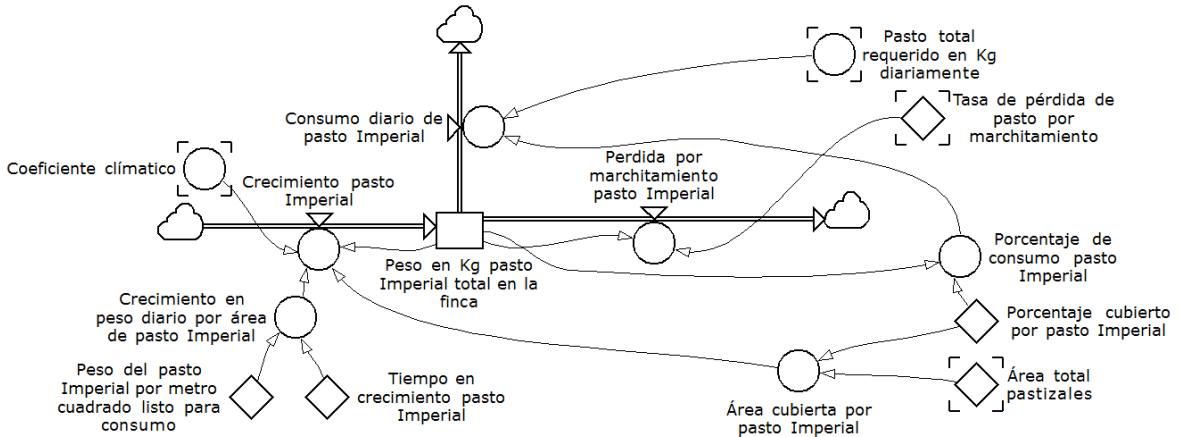


Figura 54. Diagrama de flujos y niveles submodelo pasto Imperial
 Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

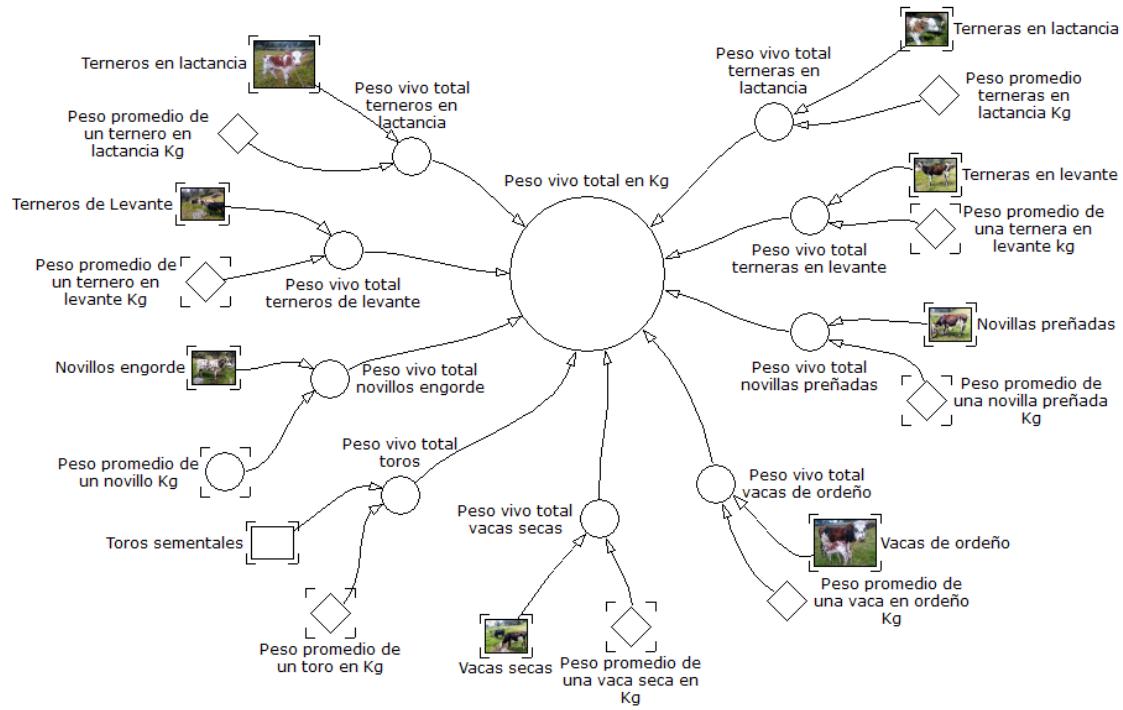


Figura 55. Modelado cálculo peso vivo total de las reses en el Hato

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.2.3 Validación del modelo

La validación del modelo con DS que representa el hato ganadero la Hoyada el Tejar es importante, ya que permite crear confiabilidad en datos resultantes que son generados en el proceso de simulación y de esta manera determinar si se hace una correcta representación del sistema real en estudio. Para este proceso se tuvo en cuenta las pruebas que mencionan Lisaura Rodríguez y Miguel López (2016) en su artículo, las cuales constituyen una validación estructural y de comportamiento del modelo.

En la primera parte, se realiza la validación estructural del modelo la cual es muy importante para obtener un buen comportamiento del mismo, es ésta se tiene en cuenta la adecuada representación de las problemáticas en las cuales se fundamenta el modelo, la estructura que concuerde con el funcionamiento del sistema ganadero real del hato y la relación entre las variables identificadas. Algunas de las etapas que se consideraron para el proceso de validación estructural fueron identificadas en el trabajo de Lisaura Rodríguez y Miguel López (2016); la primera etapa hace referencia a la prueba de límites adecuados en la cual, se identificaron las variables y las relaciones necesarias para realizar un correcta representación del sistema del hato, para lo cual se contó con la participación del administrador del hato y sus trabajadores quienes realizaron una descripción del funcionamiento del sistema de producción y comercialización llevado a cabo actualmente y de esta manera realizar un modelo causal o de influencias que lo represente y que permitiese de manera más clara la

construcción del modelo de flujos y niveles; la segunda etapa se refiere a la verificación de la estructura, en la cual, se tuvo en cuenta la revisión de literatura realizada en cuanto a la aplicación de la DS en los procesos productivos pecuarios, los modelos de los 10 trabajos que se priorizaron en esta revisión son un referente de verificación y enriquecimiento, ya que, brindan una estructura comparativa y además se integraron elementos de cada uno de ellos en el modelo generado en este proyecto, en esta etapa también se contó con la ayuda de los actores involucrados en el hato, en este caso el administrador Humberto Rodriguez y Yeison Felipe Rodriguez trabajador del hato y estudiante de zootecnia, los cuales gracias a sus conocimientos en el tema de ganadería bovina realizaron sus observaciones y sugerencias sobre el modelo; la tercera etapa, hace referencia a la verificación de la consistencia dimensional del modelo para lo cual se evaluaron todas las ecuaciones matemáticas, los parámetros, las unidades y las relaciones entre de las diferentes variables que lo constituyen, este proceso se realizó con la ayuda del software Powersim que identifica y resalta todo los errores e inconsistencias en la estructura del modelo; en la última etapa de validación estructural, se realizó la verificación de parámetros en la cual se revisó la consistencia numérica con los datos de la vida real para esto en el proceso de captura-registro de información se contó con la participación del personal del hato quienes suministraron gran parte de los parámetros iniciales de entrada del modelo (el hecho de que la información sea suministrada directamente por el personal involucrado en el hato genera un alto grado de confiabilidad en dicha información), y las consultas en fuentes confiables de información que soporten los parámetros del modelo.

En la última parte, se encuentra las pruebas de validación relacionadas con el comportamiento del modelo a través de las simulaciones tomando como referencia los datos históricos del sistema real, en la **Figura 34** se muestra uno de los registros de vacunación emitidos por el ICA y facilitado por el administrador del hato, en total se contó con 10 registros poblacionales de los bovinos desde el año 2014 hasta el año 2019, con estos datos se realizó la simulación del pasado y se verificó que las proyecciones del comportamiento poblacional fueran cualitativamente similares al de los datos reales suministrados; cabe resaltar que las variables poblaciones son vitales y representativas para el modelo, los resultados de este proceso se encuentran de manera detallada a continuación.

5.2.3.1 Número de bovinos totales

El modelo demostró tener un comportamiento similar a la tendencia de los datos reales y logra coincidir en algunos de los espacios de tiempo como se puede observar en la **Figura 56**.

5.2.3.2 Terneros en lactancia

La simulación logró acercarse significativamente a la tendencia lineal de los datos reales y llega a coincidir en varios espacios de tiempo, sin embargo, cuando en el sistema real se presentaron cambios abruptos, en la simulación no se vieron reflejados.

Esta comparativa de validación se puede observar en la **Figura 57**.

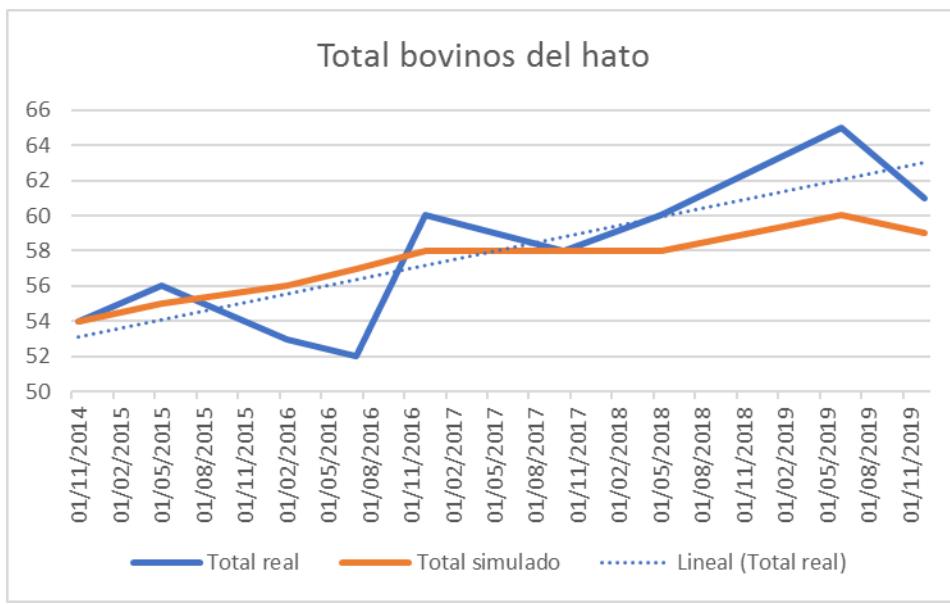


Figura 56. Gráfica del total de bovinos, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

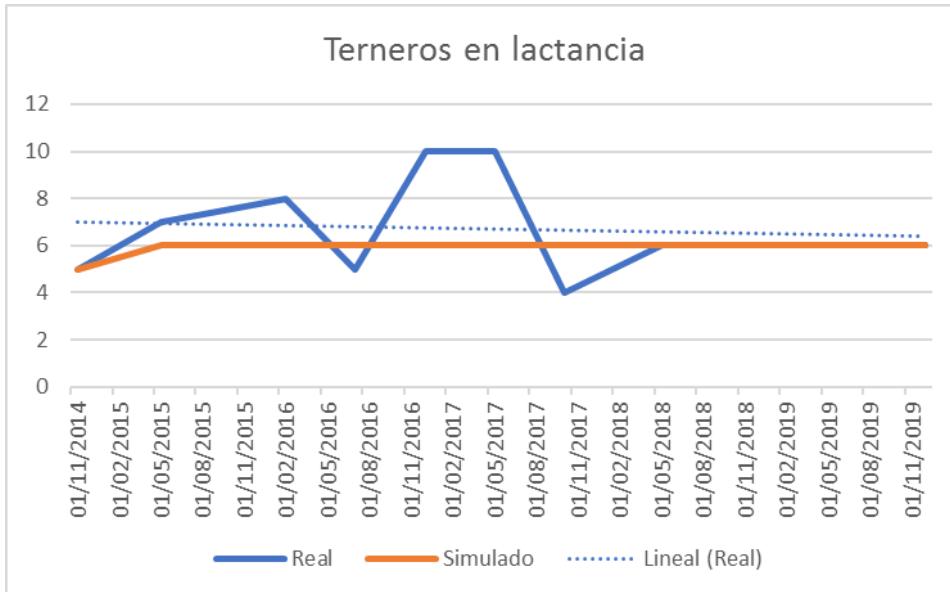


Figura 57. Gráfica de terneros en lactancia, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.3 Terneros en levante

La simulación logra acercarse a la tendencia lineal de los datos reales, incluso logra coincidir con ellos en varios puntos. En algunos momentos, la diferencia entre el valor real y el simulado es considerable, debido a que, en el sistema real se produjeron cambios abruptos no considerados por el modelo.

Esta comparativa de validación se puede observar en la **Figura 58**.

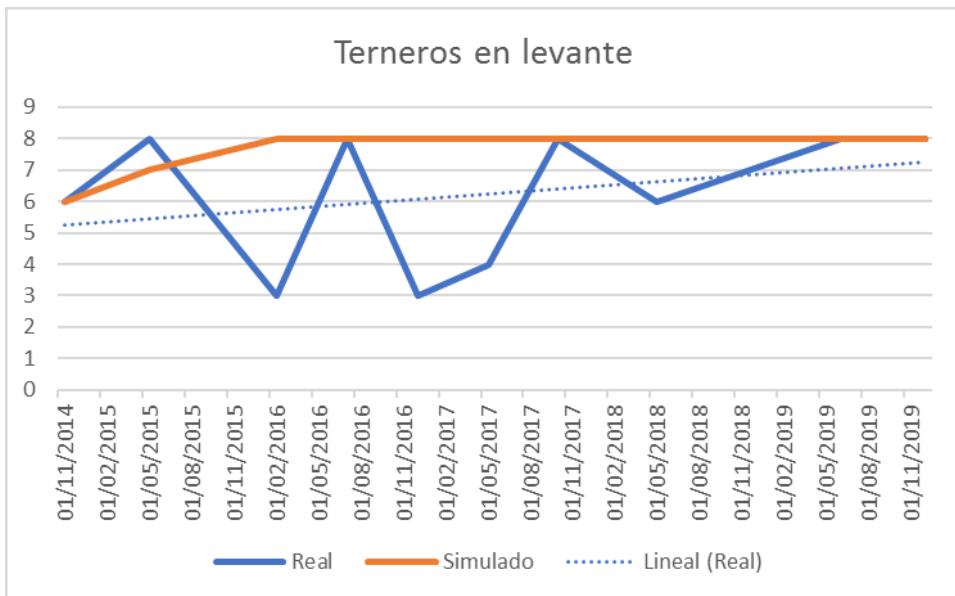


Figura 58. Gráfica terneros en levante, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.4 Novillos de engorde

La aproximación de la simulación con la tendencia lineal de los datos reales es bastante considerable, como se observa en la **Figura 59**, sin embargo, en los históricos se realizaron cambios abruptos que el simulador no consiguió replicar, algunos de estos cambios pueden deberse a decisiones repentinas del administrador del hato.

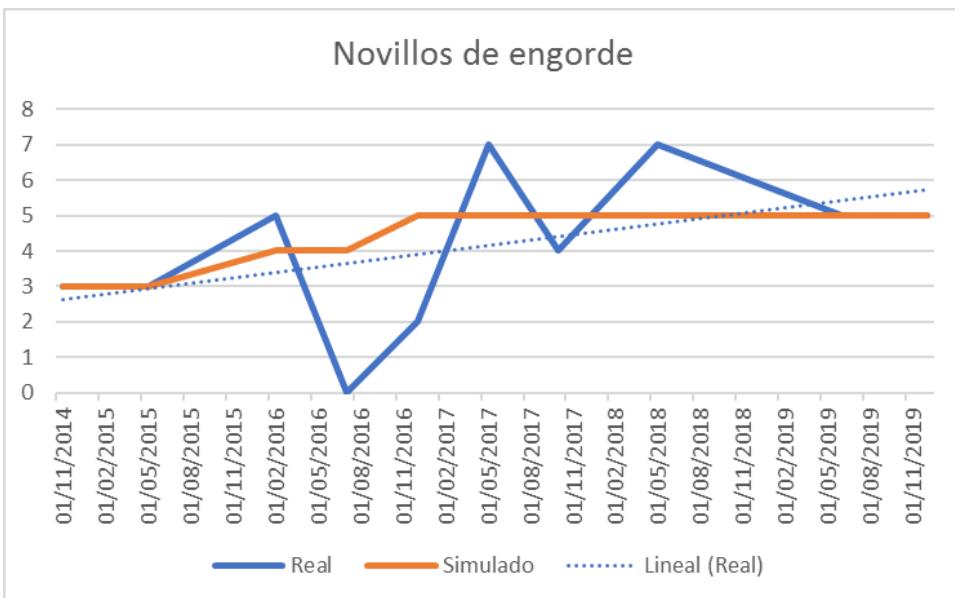


Figura 59. Gráfica de novillos de engorde, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.5 Toros sementales

El comportamiento de este nivel es siempre lineal, por lo tanto, los valores reales y simulados concuerdan en todos los períodos de tiempo como se observa en la **Figura 60**.

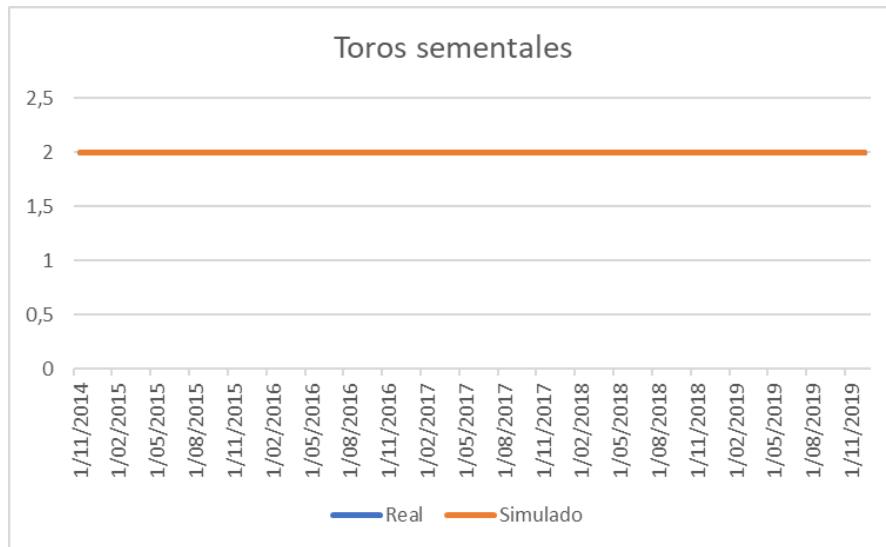


Figura 60. Gráfica de toros sementales, valor real versus valores simulados.

Fuente: elaboración propia.

5.2.3.6 Terneras en lactancia

La simulación estuvo bastante cercana a la tendencia lineal de los datos reales y como se observa en la **Figura 61** logra coincidir con estos en varios puntos, sin embargo, discrepa en algunos intervalos.

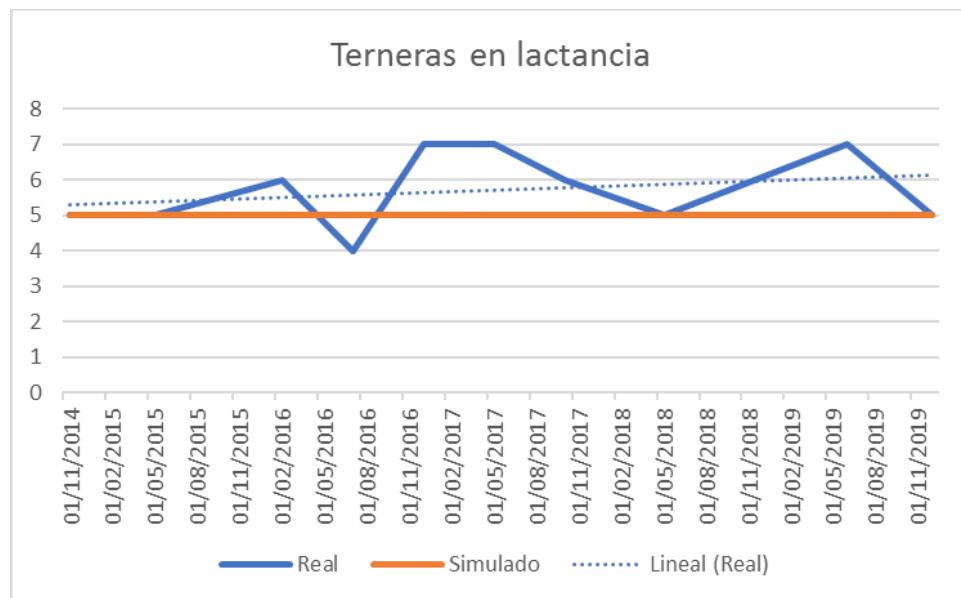


Figura 61. Gráfica de terneras en lactancia, valor real versus valores simulados.

Fuente: elaboración propia.

5.2.3.7 Terneras en levante

En este caso los valores simulados estuvieron por encima de los reales, como se puede observar en la **Figura 62**, concordando al inicio y al final del periodo de tiempo considerado y estrechándose con la tendencia lineal de los datos reales.

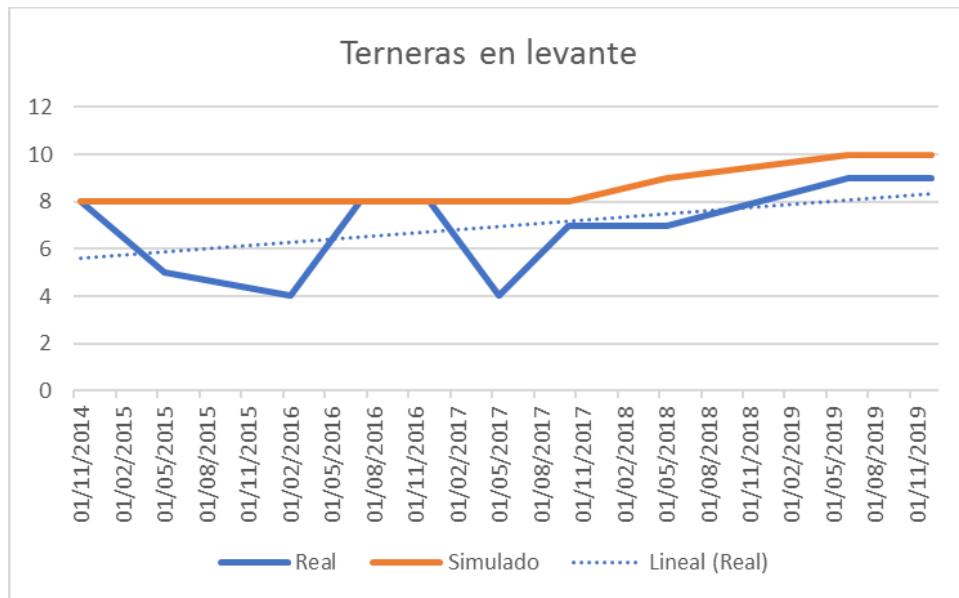


Figura 62. Gráfica de terneras de levante, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.8 Terneras preñadas

Como se observa en la **Figura 63**, los valores simulados solo concuerdan en algunos puntos de tiempo, sin embargo, la tendencia lineal de los datos reales y los datos simulados se encuentran en los mismos valores durante un intervalo de tiempo.

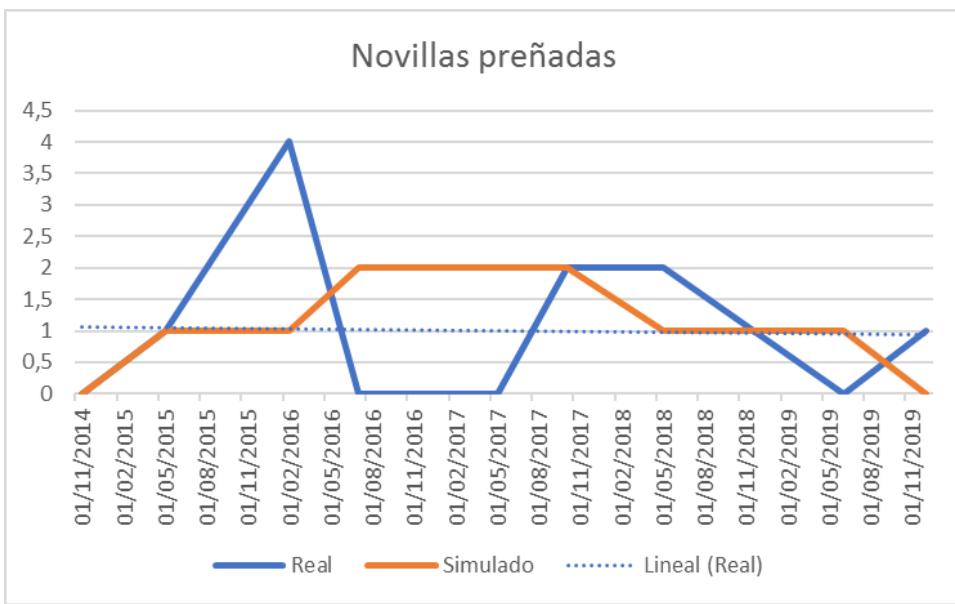


Figura 63. Gráfica de novillas preñadas, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.9 Vacas de ordeño

Como se observa en la **Figura 64** la tendencia de los datos reales se asemeja a los datos simulados, y, al igual que las validaciones anteriores, se encuentran discrepancias cuando hay cambios abruptos en el sistema.

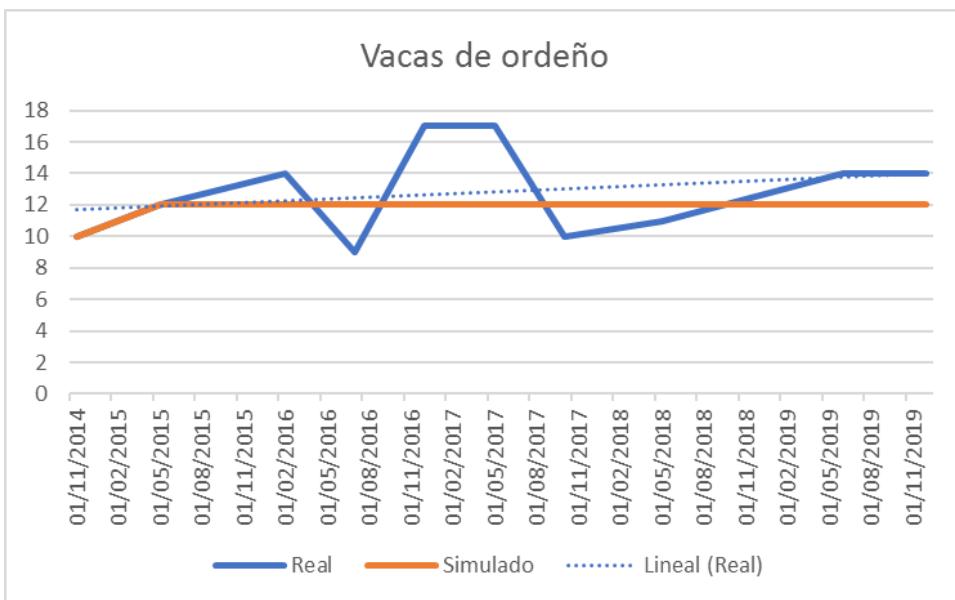


Figura 64. Gráfica de vacas de ordeño, valor real versus valores simulados.
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.10 Vacas de secas

En este caso, los valores simulados se aproximaron a la tendencia lineal de los datos reales, llegando a concordar en algunos puntos con estos y diferenciarse en algunos intervalos.

Esta comparativa de validación se puede observar en la **Figura 65**.

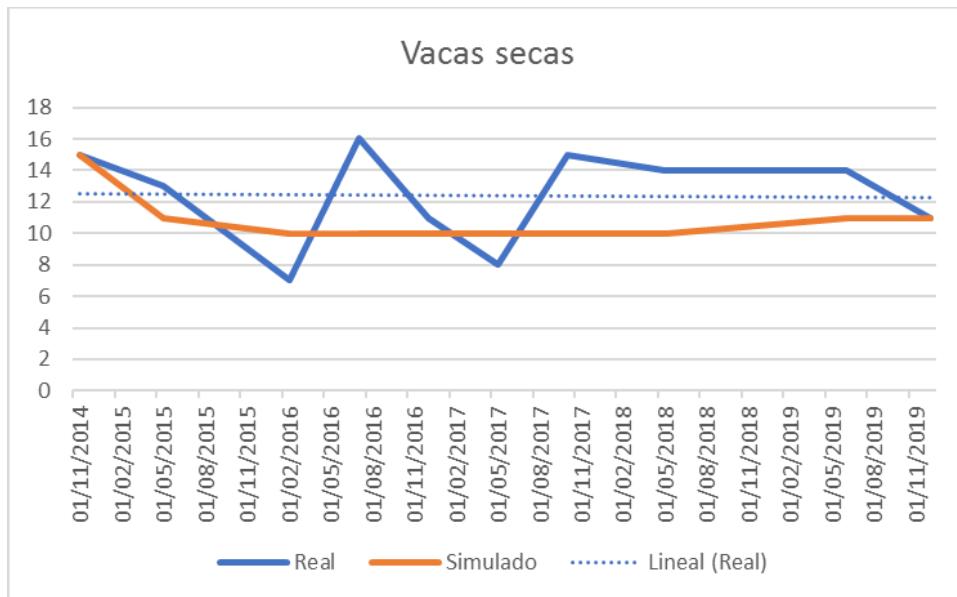


Figura 65. Gráfica de vacas secas, valor real versus valores simulados.

Fuente: elaboración propia.

5.3 PROTOTIPO ILUSTRATIVO DE INTERFAZ DE SIMULACIÓN.

Una vez construido los modelos, se diseñó la interfaz de simulación, donde se muestran los datos que consideramos de interés para nuestro usuario objetivo, que en este caso es el administrador del hato. Para lo cual se realizó un levantamiento de requerimientos del software que se encuentran representados en el diagrama de casos de uso en la **Figura 66**.

Para mostrar los datos necesarios para dar cumplimiento a los requerimientos planteados se decidió ordenarlos en seis vistas: finanzas, inventarios, compras, ventas, escenarios y trabajadores; todas cuentan con los controles de simulación y con la opción de establecer una fecha de pausa, en caso de que el usuario quiera detener la simulación en un punto específico para tomar una decisión.

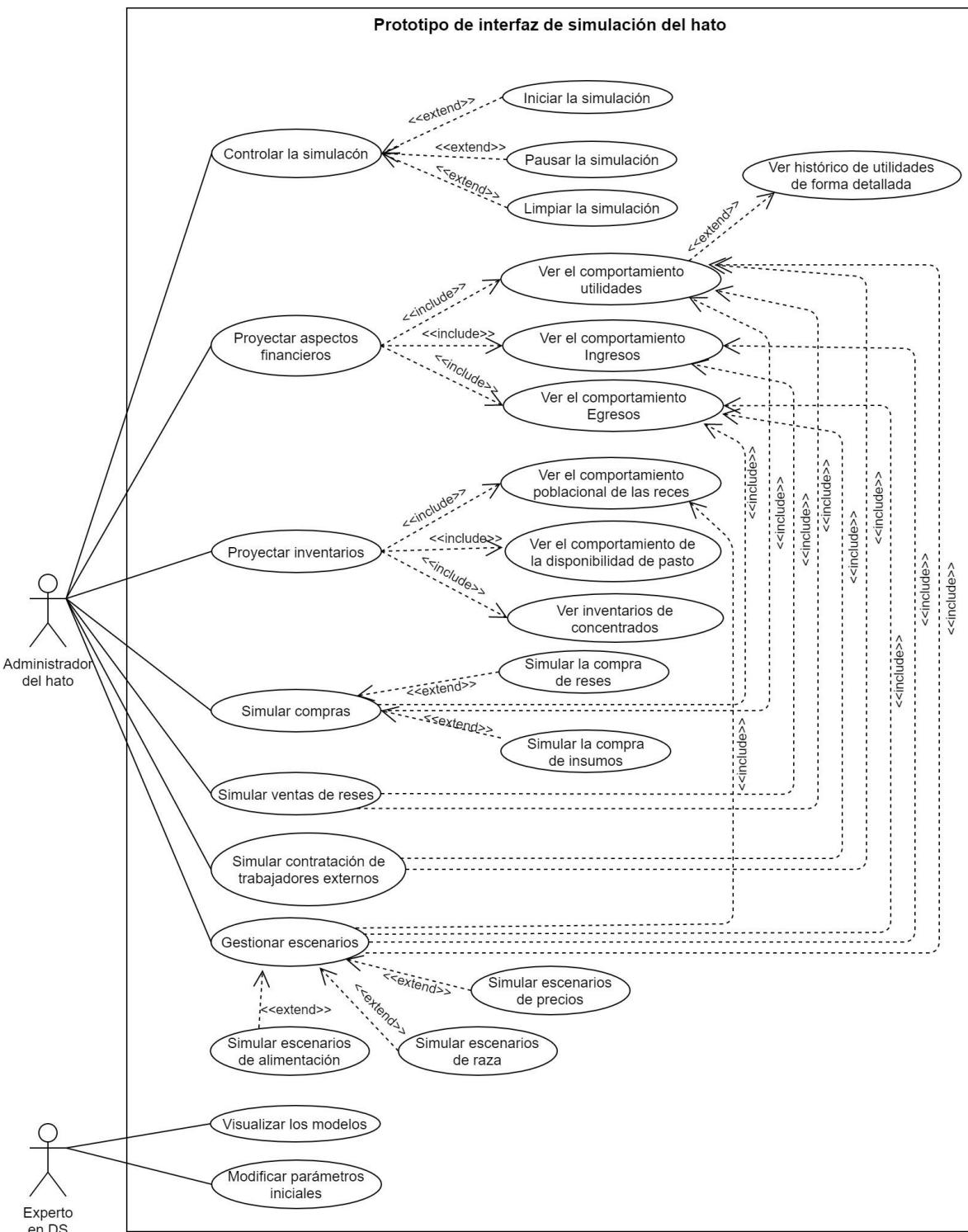


Figura 66. Diagrama de casos de uso del prototipo simulador
Fuente: elaboración propia

5.3.1 Interfaz de finanzas

En esta interfaz se muestra al cliente lo relacionado a las utilidades acumuladas anualmente, así como un reporte del comportamiento de los ingresos y egresos mensuales registrados dentro de la simulación, también se le da la opción de conocer el reporte detallado por día en caso de que desee ver datos más específicos.

Esta interfaz se puede apreciar en la **Figura 67**.



Figura 67. Interfaz financiera del simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.3.2 Interfaz de inventario

En esta vista, que se muestra en la **Figura 68**, el usuario puede apreciar el comportamiento poblacional de las reses, dependiendo si son machos o hembras; también las cantidades de reses que hay en cada etapa; y los kilogramos de concentrado y pasto disponibles en el hato.

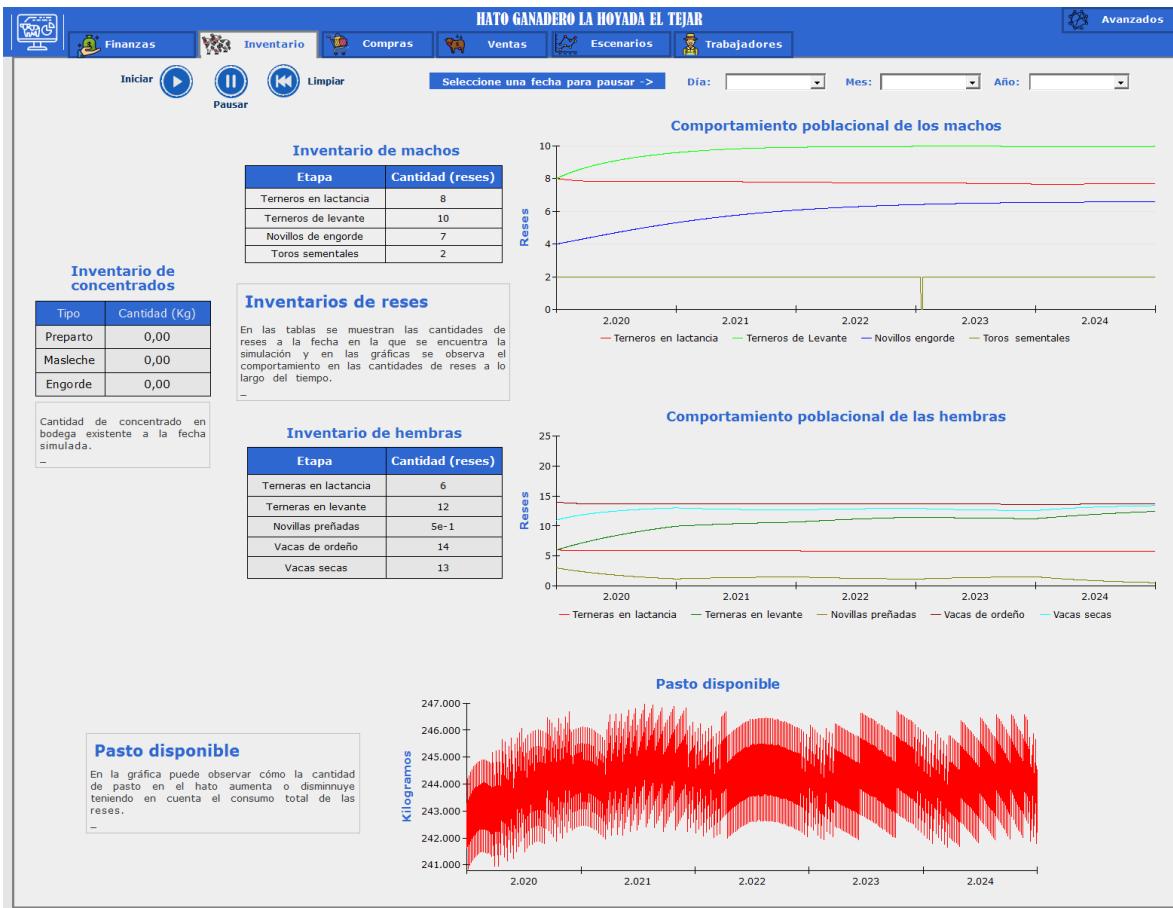


Figura 68. Interfaz de inventarios del simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.3.3 Interfaz de compras

En esta interfaz el usuario puede tomar la decisión de adquirir nuevas reses o insumos para su hato, especificando el tipo y cantidad a comprar; como se muestra en la **Figura 69**, en esta interfaz también se muestran la utilidad y los egresos del hato, con el fin de que el usuario vea inmediatamente reflejado las posibles consecuencias desencadenadas en respuesta a la decisión que toma.

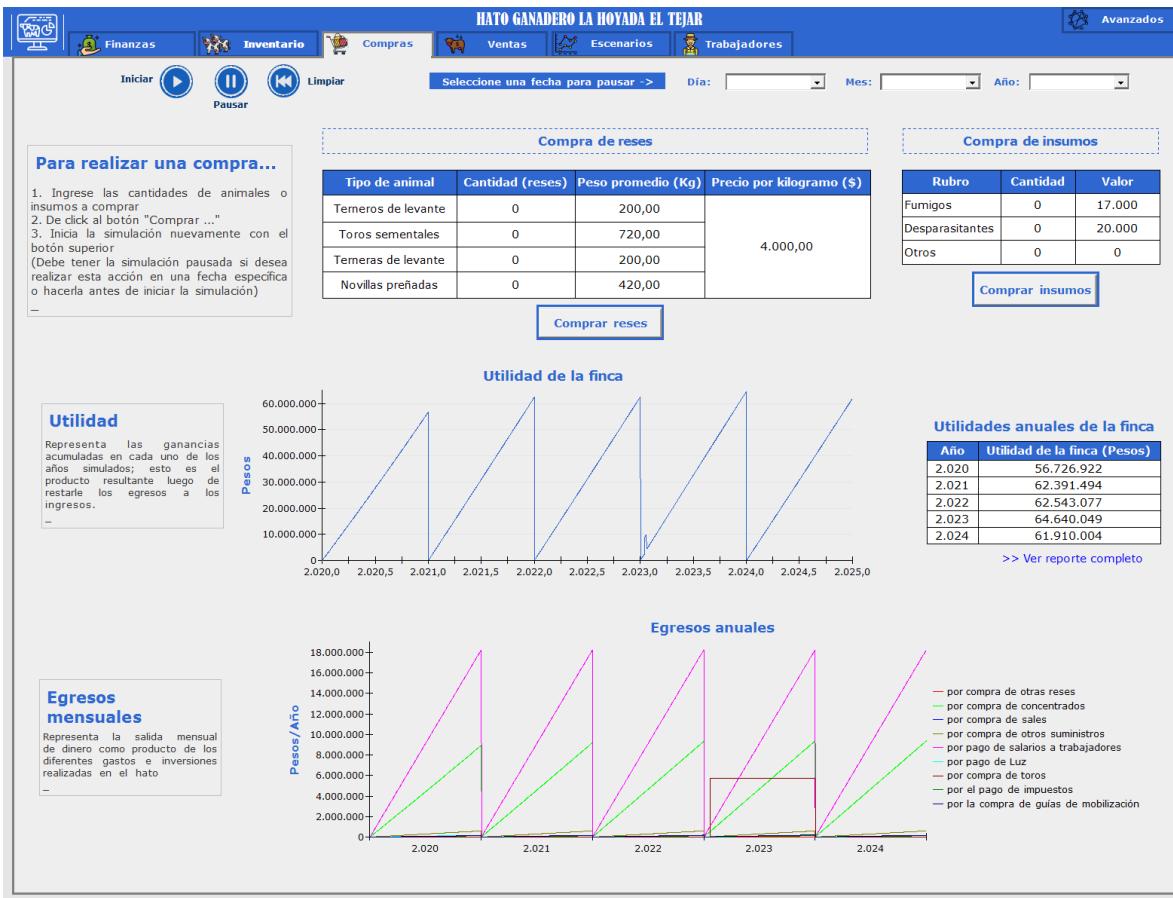


Figura 69. Interfaz de compras del simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.3.4 Interfaz de ventas

En esta interfaz el usuario, puede evaluar el impacto que puede generarse en las utilidades como consecuencia de decidir vender una cantidad determinada de reses en un mismo momento.

En la **Figura 70** se muestra el diseño de esta interfaz.

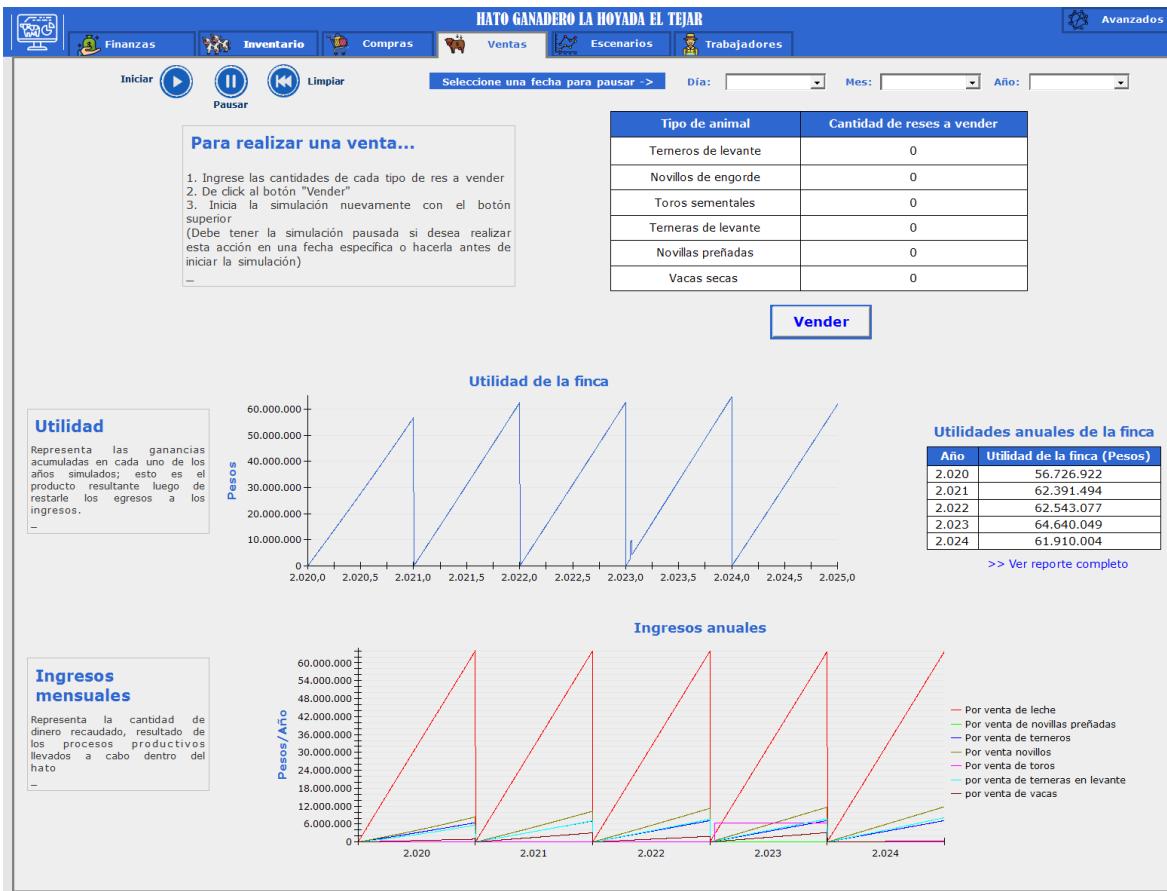


Figura 70. Interfaz de ventas del simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.3.5 Interfaz de escenarios

En esta interfaz el usuario puede considerar posibles escenarios que se generaría en caso de tomar una decisión o si alguna variable exógena del sistema adquiere un comportamiento diferente al previsto.

Entre las decisiones que puede evaluar se encuentran un posible cambio de raza en los bovinos y la suplementación alimenticia en reses que se encuentran en etapas donde actualmente solo se alimentan con pasto.

Los escenarios de variables exógenas que el usuario puede considerar tienen que ver con los precios de servicio de luz, concentrado, carne, leche y los jornales (días de trabajo), para lo cual la interfaz le da la posibilidad de proyectar la simulación con los precios más bajos, más altos o medios que han registrado estas variables en el mercado en los últimos años.

El diseño de esta interfaz se puede apreciar en la **Figura 71**.



Figura 71. Interfaz de escenarios del simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.3.6 Interfaz de trabajadores

Esta interfaz le da la posibilidad al usuario de evaluar la decisión de contratar trabajadores externos para que realicen una tarea en un número determinado de jornales, verificando que no se comprometa la utilidad del hato de forma significativa.

El diseño de esta interfaz se puede apreciar en la **Figura 72**.

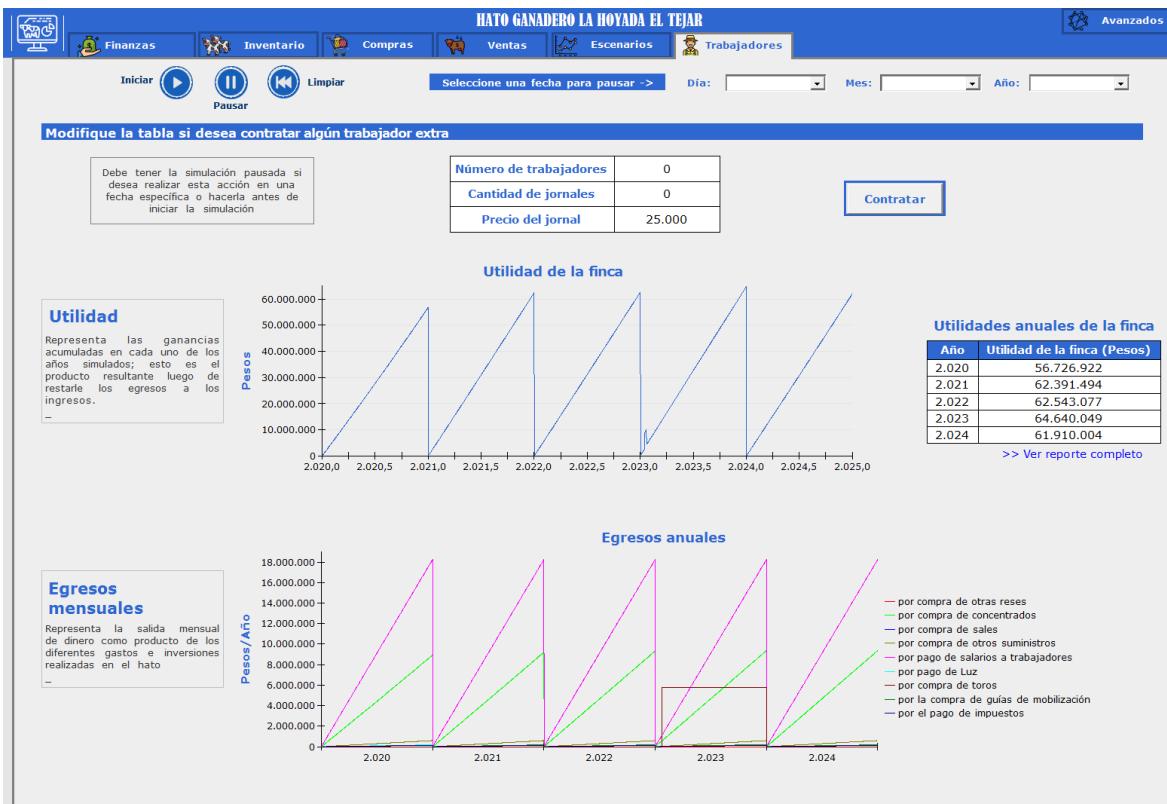


Figura 72. Interfaz de trabajadores en el simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

5.3.7 Interfaz de opciones avanzadas

Esta interfaz se divide en cuatro partes, en las primeras tres se enseñan los modelos de Forrester propuestos para los subsistemas poblacional, financiero y de alimentación del hato; en la última parte, el usuario puede modificar los valores iniciales de algunas variables del sistema, como lo son: la cantidad de reses en cada etapa productiva, los tiempos que duran las reses en algunas de estas etapas, el número de trabajadores fijos contratados y los precios de mercado de algunos productos y servicios; esto con el fin de dejar abierta la posibilidad de que el usuario utilice el prototipo en el futuro, donde probablemente los valores de algunas variables no son iguales a los modelados por defecto.

El diseño de esta interfaz se puede apreciar en la **Figura 73**.

HATO GANADERO LA HOYADA EL TEJAR

[Volver al simulador](#)

Modelo poblacional Modelo financiero Modelo de alimentación Parametrización

Iniciar Pausar Limpiar Selezionee una fecha para pausar -> Día: _____ Mes: _____ Año: _____

Población inicial de machos	
Etapa	Cantidad (reses)
Terneros en lactancia	8
Terneros de levante	8
Novillos de engorde	4
Toros seminales	2

Población inicial de hembras	
Etapa	Cantidad (reses)
Terneras en lactancia	6
Terneras en levante	6
Novillas preñadas	3
Vacas de ordeño	14
Vacas secas	11

Tiempos	
Parámetro	Meses
Tiempo en lactancia	6,00
Tiempo en levante de machos	18,00
Tiempo en engorde	12,00
Tiempo para pasar a primera monta	14,00

Aplicar cambios

Precios	
Rubro	Valor (pesos)
Kg de peso vivo	4.000
Litro de leche	900
Impuestos	126.632
Sales	50.000
Jornal	25.000
Servicio de luz	15.000
Kg de concentrado	1.500

Concentrados	
Tipo	Cantidad (Kg)
Preparto	0,00
Masleche	0,00
Engorde	0,00
Manná	0,00
Sollapro	0,00

Precios

Esta sección permite modificar los valores iniciales de algunas variables que influyen en la utilidad del hato.

Trabajadores fijos que hay en el hato

2

Modificar el número de trabajadores.

Figura 73. Interfaz de opciones avanzadas en el simulador.

Fuente: elaboración propia, utilizando la herramienta Powersim (2017)

6. CONCLUSIONES

El presente capítulo tiene el propósito de enunciar los principales aportes y logros obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

Con este proyecto se logró indagar acerca de los diferentes trabajos de investigación llevados a cabo en el sector agropecuario, lo cual permitió realizar una identificación de las problemáticas de los productores pecuarios, así como determinar las variables que normalmente influyen en los procesos productivos dentro de este sector y que permitieron la caracterización del mismo; posibilitando de este modo modelar el sistema productivo del hato ganadero la Hoyada el Tejar, mostrando las diferentes dinámicas que suceden dentro de su funcionamiento y el desarrollo de los bovinos que lo integran, con dicho modelado se logró representar las etapas y tiempos por los que las reses transcurren normalmente para adquirir las condiciones fisiológicas necesarias para dar cumplimiento al fin productivo determinado por el administrador del hato, los factores que de una u otra manera afectan la rentabilidad del negocio ganadero y el manejo que se da a los recursos con los que cuenta el hato.

Como producto final se obtuvo un prototipo de interfaz de simulación que permite evaluar los efectos y escenarios que podrían presentarse a mediano y largo plazo como respuesta a las decisiones que el ganadero tome en el hato. Algunos de los posibles escenarios que el usuario puede estimar son: trabajar con bovinos de una raza diferente dentro del hato; suministrar concentrados a animales que se encuentran en etapas productivas a los cuales no se les suplementa la alimentación actualmente; y un aumento o disminución en los precios de la leche, carne, concentrados, servicios y salarios. Dentro de este prototipo el usuario puede analizar la posibilidad de comprar o vender reses en un tiempo determinado, contratar trabajadores extra para realizar una labor y comprar antiparasitarios, medicamentos u otros insumos.

Con respecto a los resultados obtenidos con el simulador y comparándolos con los datos históricos poblacionales, proporcionados por el administrador del hato, podemos deducir que, los datos de la simulación son bastante cercanos a los datos reales, sin embargo, el modelo no predice con exactitud los cambios bruscos que se producen en el sistema real como respuesta a las decisiones repentinamente tomadas por el administrador o a posibles represamientos que se generaron en alguna etapa.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos inferir que la DS si puede ser utilizada para apoyar decisiones en un hato ganadero, lo cual daría cumplimiento a lo planteado en los supuestos iniciales, con respecto a la alimentación, el modelo permite evaluar la posibilidad de suplementarla en los bovinos, ya que, se vería reflejado en la productividad y en los índices de utilidad de la finca; en cuanto a realizar una posible inversión, por ejemplo, en la compra de más reses, el modelo refleja la manera en que se ve afectada la productividad, la cantidad

de recursos naturales del hato y la rentabilidad generada; referente al momento adecuado para realizar la venta de una res, el modelo posibilita evaluar la opción de vender en etapas o cantidades diferentes con las que normalmente se trabaja en el hato y observar la manera en que afecta variables como la utilidad.

Respecto a cómo contribuyó este proyecto en nuestra carrera como ingenieros de sistemas, podemos decir que, logramos un aprendizaje y conocimiento en cuanto al uso de la perspectiva sistémica para abordar problemáticas en áreas como la ganadería y la necesidad de apoyar a los pequeños y medianos productores pecuarios en su actividad diaria con herramientas tecnológicas que les faciliten la forma en que realizan sus procesos.

7. RECOMENDACIONES

El presente capítulo tiene el propósito de describir las actividades o elementos que se deben considerar a futuro para complementar los resultados obtenidos en este proyecto.

Para darle continuidad al proyecto se deberían tener en cuenta aspectos como:

- Licenciamiento del software de modelado: en el desarrollo de la fase de modelado se presentaron inconvenientes con la licencia del software PowerSim, debido a que, contaba con límite de tiempo, el cual se venció en medio de esta fase, por lo cual se recomienda adquirir una licencia comercial-académica o utilizar otra herramienta para el apoyo en la fase de modelamiento con DS, lo que evitaría estos inconvenientes y daría la posibilidad de crear aplicaciones web de simulación a partir de modelos diseñados en herramientas como Forio o MAS consulting.
- Uso de números enteros en la definición de variables del modelo: teniendo en cuenta que, lo que se pretende modelar es un sistema de animales, el hecho de que se hablara en cifras enteras lo haría más conciso, para ello se deberían definir todos los parámetros del modelo matemático en unidades de tipo integer.
- Formato de fecha en el tiempo de simulación: actualmente el modelo trabaja el tiempo en años, es decir, tanto a los meses como a los días los considera hallando su equivalente en años, sin embargo, esta forma de representarlo dificulta un poco la compresión.
- Escalabilidad: considerando que cada hato cuenta con condiciones diferentes que podrían realizar cambios en el prototipo a nivel del modelo, sería pertinente la elaboración de una guía que permita a usuarios de hatos diferentes realizar dichos cambios para adaptarlo a su sistema productivo.
- Enriquecimiento del modelo: para aumentar la precisión de la herramienta, sería pertinente representar en el modelo de manera detallada los componentes biofísicos del sistema como lo son, la alimentación y su influencia en la ganancia de peso de los animales, teniendo en cuenta los minerales y demás nutrientes que contienen las pasturas; la suplementación pertinente para los bovinos teniendo en cuenta la composición química de los concentrados y las respuestas metabólicas que estos generan; y la posibilidad de trabajar con más o diferentes razas al tiempo. Para ello se debería contar con el asesoramiento de un zootecnista o profesional en el área.
- Mejoras gráficas: contemplar la posibilidad de hacer la interfaz más gráfica, haciendo uso de plataformas de creación de interfaces didácticas como por ejemplo Unity, GameSalad, GameMaker Studio, entre otros; lo que lo haría más intuitivo y facilitaría el uso del simulador.
- Aleatoriedad de variables exógenas del modelo: es necesario considerar que los precios de mercado de algunos productos no se comportan de forma lineal, por ende, se debería considerar la creación de un algoritmo que permitiera hacer predicciones de dicha variabilidad y reflejarla en la utilidad.

REFERENCIAS

- AGRONEGOCIOS. (15 de Julio de 2015). *Elija el ganado que se ajuste a las necesidades de su hato.* Recuperado el 24 de Agosto de 2019, de <https://www.agronegocios.co/ganaderia/elija-el-ganado-que-se-ajuste-a-las-necesidades-de-su-hato-2621503>
- Aguilar, C., Cortés, H., & Allende, R. (2002). *Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria.* Santiago: ALPA. Recuperado el 23 de Septiembre de 2019, de <https://docplayer.es/26946686-Los-modelos-de-simulacion-una-herramienta-de-apoyo-a-la-gestion-pecuaria-1-the-simulation-models-a-supporting-tool-for-the-livestock-management.html>
- Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas* (Vol. 3). (c. Edison, Ed.) Madrid, España: Isdefe. Recuperado el 22 de Septiembre de 2019
- Brigham, B. (2011). Decision support system for cow-calf producers. *Tesis de maestría.* Universidad Estatal de Colorado, Fort Collins. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/70680/Brigham_colostate_0053N_10847.pdf?sequence=1
- Bunge, M. (1999). Prefacio. En *Sistemas Sociales y Filosofía* (Tercera ed., págs. 1-2). Buenos Aires: Editorial Sudamericana. Recuperado el 19 de Abril de 2020, de https://issuu.com/hernandezcortez/docs/sistemas_sociales_y_filosof_a_de_m
- Castellaro , G., Klee , G., & Chavarría , J. (Junio de 2006). Un Modelo de Simulación de Sistemas de Engorda de Bovinos a Pastoreo. *SciELO*, 67(2). doi:10.4067/S0365-28072007000200006
- Castro Murillo, J. H. (1 de Enero de 2016). *Implementación de un modelo de partos estacionales en un sistema de cría doble propósito bovino en el Piedemonte Llanero.* Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1255&context=zootecnia>
- Ceballos, Y., Uribe, M., & Sánchez, G. (2013). Modelo de Dinámica de Sistemas para la Predicción del Comportamiento del Mercado Porcícola. *SciELO*, 24(4). doi:10.4067/S0718-07642013000400013
- Chiara, G., & Ferreira, G. (26 de Septiembre de 2011). DINÁMICA DE LA GANADERÍA VACUNA EN URUGUAY: UN MODELO DE SIMULACIÓN. *INIA*(26). Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429130112153041.pdf>
- Comba, S., & Toledo, E. (05 de Mayo de 2011). *Interfaz gráfica y simulación.* (InmigrantesVirtuales) Recuperado el 15 de Abril de 2020, de <https://inmigrantesvirtuales.blogia.com/2011/050501-interfaz-gr-fica-y-simulaci-n.php>

- CONtexto ganadero. (11 de Octubre de 2016). *5 factores que generan la quiebra de un ganadero*. Recuperado el 12 de Febrero de 2020, de <https://www.contextoganadero.com/regiones/5-factores-que-generan-la-quiebra-de-un-ganadero>
- CONtexto ganadero. (21 de Junio de 2017). *Estas son las propiedades nutritivas del trébol para el ganado*. (INTERLAT.CO, Editor) Recuperado el 09 de Marzo de 2020, de CONtextoganadero: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/estas-son-las-propiedades-nutritivas-del-trebol-para-el-ganado>
- CONtexto Ganadero. (2017). Pasto Falsa Poa responde en cualquier clase de suelo. (INTERLAT.CO, Ed.) *CONtextoganadero*. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/pasto-falsa-poa-responde-en-cualquier-clase-de-suelo>
- CONtextoganadero. (09 de Septiembre de 2013). Ganadería intensiva vs. Ganadería extensiva. *CONtextoganadero*. Recuperado el 05 de Febrero de 2020, de <https://www.contextoganadero.com/blog/ganaderia-intensiva-vs-ganaderia-extensiva>
- CONtextoganadero. (31 de Julio de 2015). *Número de vacas por hectárea se duplica en fincas tecnificadas*. Recuperado el 31 de Julio de 2019, de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas>
- CONtextoganadero. (06 de Febrero de 2017). Utilización del pasto elefante. *CONtextoganadero*. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://www.contextoganadero.com/blog/utilizacion-del-pasto-elefante>
- CONtextoganadero. (22 de Agosto de 2019). *Uso correcto de concentrados para ganado de leche y doble propósito*. Recuperado el 22 de Agosto de 2019, de <https://www.contextoganadero.com/reportaje/uso-correcto-de-concentrados-para-ganado-de-leche-y-doble-proposito>
- Cuartas, B., & Mosquera, L. (2004). Simulador para el aprendizaje de toma de decisiones en mercadeo en el sector lácteos. *II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*, (págs. 428-439). Santa Marta. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de https://comunidadcolombianads.com/wp-content/uploads/2017/07/ECDS2004_Memorias.pdf
- Dieguez-Cameroni, F., & Terra, R. (2014). Aplicación del Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE) para el estudio de la sensibilidad de la producción ganadera a la amplitud de la variabilidad de la oferta de forraje. *6º Congreso Argentino de Agroinformática, CAI 2014*, (págs. 50-63). Montevideo. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/1743/c8eb504cdcc478ca405cccf9ebd8e7d5edfa.pdf>
- FEDEGAN. (Enero de 2019). *Cifras de referencia del sector ganadero*. Recuperado el 22 de Agosto de 2019, de https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Cifras_Referencia_2019.pdf&iIdFiles=674
- Finca y Campo. (2019). *Ganadería doble propósito*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2019, de <http://www.fincaycampo.com/2014/09/ganaderia-doble-proposito/>

- Fonseca, P. (17 de Junio de 2016). Así funcionan los ciclos productivos de las ganaderías. *CONtextoganadero*. Recuperado el 06 de Octubre de 2019, de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-asi-funcionan-los-ciclos-productivos-de-las-ganaderias>
- Forero, R. (13 de Junio de 2019). La raza Normando es la tercera más importante de Colombia. *CONtextoganadero*. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-raza-normando-es-la-tercera-mas-importante-de-colombia>
- Franco Correa, H., & Marulanda García, L. (2017). Diseño de un modelo de simulación dinámica para mejorar la producción de ganado bovino en una granja en el norte del Valle del Cauca. *Trabajo de grado*. Universidad del valle, Cali, Valle del Cauca , Colombia. Recuperado el 16 de Septiembre de 2019, de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/13813/1/0567379.pdf>
- Galli, J., Cangiano, C., & Fernández, H. (1996). Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos de pastoreo. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 16(2), 42-119. Recuperado el 23 de Septiembre de 2019, de http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/15-ingestivo_y_consumo_bovinos.pdf
- Garcia, H. (2017). *Proceso de comercialización de ganado en colombia y venta*. (Agromarketing, Editor, & Rehagronegocios) Recuperado el 05 de Febrero de 2020, de <https://rehagronegocios.com/venta-de-ganado/proceso-comercializacion-de-ganado-en-colombia/>
- Gélvez, L. D. (2019). Kikuyo - Pennisetum clandestinum. *Mundo Pecuario*(191). Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://mundopecuario.com/tema191/gramineas/kikuyo-1050.html>
- Gélvez, L. D. (2019). Ray Grass - Lolium multiflorum - Lolium perenne. *Mundo Pecuario*(191). Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de https://mundopecuario.com/tema191/gramineas/ray_grass-1049.html
- Gómez Prada, U. E., & Gómez Sandoval, O. F. (16 de Julio de 2019). SAMI: Serious videogame of bovine cattle farms in Unity supported in System Dynamics. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 15-22. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019, de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/8223>
- Gómez Prada, U. E., & Andrade Sosa, H. H. (2010). Propuesta de un modelo de simulación de ganadería intensiva bovina. *8º Congreso Latinoamericano y 8º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*, (págs. 185-191). Medellín. Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de https://comunidadcolombianads.com/wp-content/uploads/2017/07/ECDS2010_Memorias.pdf
- Gómez Prada, U. E., Andrade, H., & Vásquez, C. (Agosto de 2015). Lineamientos Metodológicos para construir Ambientes de Aprendizaje en Sistemas Productivos Agropecuarios soportados en Dinámica de Sistemas. *SciELO*, 26(4). Recuperado el 16 de Septiembre de 2019, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000400016

- Gonzalez, k. (06 de Marzo de 2019). *Info Pastos y Forrajes*. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://infopastosyforrajes.com/sistemas-de-pastoreo/pastoreo-en-franjas/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2004). Los métodos mixtos. En *Metodología de la investigación* (Sexta ed., pág. 532). México, México: McGraw-Hill.
- Hirooka, H., & Yamada, Y. (1990). A general simulation model for cattle growth and beef production. *AJAS*, 3(3). Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de <https://www.ajas.info/upload/pdf/3-28.pdf>
- IEEE. (1990). Standard Glossary of Software Engineering Terminology. En *IEEE Std 610.12-1990* (pág. 67). Nueva York.
- Jalvingh, A. (1993). *Dynamic livestock modelling for on-farm decision support*. Wageningen. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/29345570.pdf>
- Johansen Bertoglio, O. (1982). *Introducción a la Teoría General de Sistemas* (Octava ed.). México: EDITORIAL U MUSA, S.A. de C.V. Recuperado el 05 de Febrero de 2020, de <https://es.slideshare.net/marisol2829/introduccin-a-la-teora-general-de-sistemas-oscar-johansen-b-7707033>
- Kikuhara, K., Kumagai, H., & Hirooka, H. (2009). Development and Evaluation of a Simulation Model for Dairy Cattle Production Systems Integrated with Forage Crop Production. *AJAS*, 22(1), 57-71. doi:10.5713/ajas.2009.80098.
- Konandreas, P., & Anderson, F. (Junio de 1982). *Cattle herd dynamics: an integer and stochastic model for evaluating production alternatives*. Addis Ababa: ILRI publications. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019, de https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/4675/ILCA_RR_2.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Leon Velarde, C., & Quiroz, R. (2001). *Modeling cattle production systems: integrating components and their interactions in the development of simulation models*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019, de <https://cipotato.org/site/inrm/home/publicat/01cpb025.pdf>
- Lomba, C. R. (2019). *¿Que es una granja?* Recuperado el 15 de Septiembre de 2019, de <https://www.mundoprimaria.com/lecturas-para-ninos-primaria/que-es-una-granja>
- Machado, C. F., & Berger, H. (2012). Uso de modelos de simulación para asistir decisiones en sistemas de producción de carne. *Revista Argentina de Producción Animal*, 32(1), 87-104. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/2449/2304>
- Marco Nacional de Cualificaciones Colombia. (2017). *Sector Agropecuario Subsector Pecuario y Subsector Agrícola*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2019, de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362822_recurso.pdf
- Martinez, F. (29 de Octubre de 2011). *Pastos y Forrajes*. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <http://pastosyforrajesfernandomar911.blogspot.com/2011/10/>
- Milenioscuro. (07 de Mayo de 2019). *Localización de la provincia de García Rovira, Santander, Colombia*. (Wikimedia) Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Milenioscuro>

- Molina Benavides, R. A. (Junio de 2018). Modelo de simulación para estudiar. *Boletín de Dinámica de Sistemas*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2019, de <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/0618a.htm>
- Moreno Osorio, F., & Molina Restrepo, D. (2007). *Buenas prácticas agropecuarias [BPA] en la producción de ganado de doble propósito bajo confinamiento con caña panelera como parte de la dieta*. Medellín: CTP Print Ltda. Recuperado el 23 de Septiembre de 2019, de <http://www.fao.org/3/a1564s/a1564s00.pdf>
- Navarro, J. (Mayo de 2015). *Definición de Simulador*. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/simulador.php>
- Ospina Garzón, J. A. (2015). *Estrategias de producción para el sector de medianos productores de leche cruda en el departamento de Cundinamarca (Tesis de Pregrado)*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2940/1/OspinaGarz%C3%B3nJemmyAlejandra2015.pdf>
- Pang, H., Makarechian, M., Basarab, J., & Berg, T. (24 de Septiembre de 1999). Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Canadian Journal of Animal Science*, 79(4), 409–417. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019, de <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/A99-020>
- Parra Arango, J., Rodriguez Rodriguez , A., Beltrán Bejarano, D. M., Onofre, H. G., Bueno Guzmán, G. A., López Forero, M. T., & Uribe Parra, N. (Julio de 2005). Modelo de simulación sistema de producción bovino doble propósito Piedemonte Llanero. (C. A. Salazar, Ed.) CORPOICA(1). Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3871/1/011.pdf>
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2013). *Definición de Decisión*. Recuperado el 6 de Febrero de 2020, de Definicion.De: <https://definicion.de/decision/>
- Powersim Software AS. (2017). Powersim Studio 10 [Software].
- Powersim Software AS. (2019). *Powersim Software*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2019, de <https://www.powersim.com/info/about/company/>
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software un enfoque práctico* (Septima edición ed.). (P. R. Vázquez, Ed.) México : McGrawHill. Recuperado el 31 de Mayo de 2020, de <http://cotana.informatica.edu.bo/downloads/lde-Ingenieria.de.software.enfoque.practico.7ed.Pressman.PDF>
- Real Academia Española. (2019). *Político, ca.* Recuperado el 7 de Febrero de 2020, de Diccionario de la Lengua Española: <https://dle.rae.es/pol%C3%A9tico#Ta2HMYR>
- Rincón, A., Florez, G. Y., Redondo, J. M., & Olivari, G. (2015). Modelo Matemático de la demografía del ganado de un predio del sector de ocho letras. *EIA*, 12(24), 101-119. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n24/n24a07.pdf>
- Rincón, A., Florez, G. Y., Redondo, J. M., & Olivari, G. (2015). Modelo Matemático de la demografía del ganado de un predio del sector de ocho letras. *EIA*, 12(24), 101-119. Obtenido de <https://cutt.ly/0rXRDRR>
- Riquelme, M. (14 de Julio de 2019). *Toma De Decisiones: Concepto De Vital Importancia En La Empresa*. Recuperado el 5 de Febrero de 2020, de Web y Empresas: <https://www.webyempresas.com/toma-de-decisiones/>

- Ritchie, D., Neves, C., Alfonso, T., Begazo, O., Victoria, I. L., & Uribe, J. (2013). Ganadería de doble propósito: propuesta para pequeños productores colombianos. *Repositorio Universidad ESAN*,(33). Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de http://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/ESAN/127/Gerencia_para_el_desarrollo_33.pdf
- Rodríguez Alvarado, L. W., & López Ontiveros, M. (2016). Aplicación de Técnicas de Validación de un Modelode Simulación de Dinámica de Sistemas Caso de Estudio. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*(4), 187-196. Recuperado el 1 de Junio de 2020
- Rodríguez Gómez, L. (19 de Abril de 2013). Informe especial: Conozca las 5 razas bovinas más representativas de Colombia. *CONtextoganadero*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2019, de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-especial-conozca-las-5-razas-bovinas-mas-representativas-de-colombia>
- Rodríguez, H. (2020). Recolección de datos sobre el hato la Hoyada el Tejar. (O. Rodríguez, Entrevistador)
- Rodríguez, L. F., & Bermúdez, L. T. (1995). Usos y aplicaciones de la simulación en la investigación agropecuaria. *Agronomía Colombiana*, 12(1), 198-204. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21443>
- Sanchis Palacio, J. R., & Ribeiro Soriano, D. (1999). El management en la empresa. En *Creación y dirección de PYMES* (pág. 144). Madrid: Diaz de Santos. Recuperado el 7 de Febrero de 2020
- Santos, S. (22 de Junio de 2015). *Uso correcto de concentrados para ganado de leche y doble propósito*. Recuperado el 31 de Julio de 2019, de <https://www.contextoganadero.com/reportaje/uso-correcto-de-concentrados-para-ganado-de-leche-y-doble-proposito>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México. (10 de Noviembre de 2018). *¿Qué es un hato ganadero y cómo está conformado en México?* Recuperado el 15 de Septiembre de 2019, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-es-un-hato-ganadero-y-como-esta-conformado-en-mexico>
- Sendekia Ingenieria. (Agosto de 2017). *¿QUÉ ES UN PROTOTIPO Y PARA QUÉ SIRVE? SDK*. Recuperado el 15 de Abril de 2020, de <https://sendekia.com/que-es-un-prototipo-y-para-que-sirve/>
- Senge, P. (2012). *La Quinta Disciplina* (Novena ed.). Buenos Aires: Ediciones Granica S.A.
- Serra, F. (Junio de 2016). El enfoque sistémico y la dinámica de sistemas como metodología de la NTE para el estudio de fenómenos complejos. *Civilizar*, 119-134. Recuperado el 14 de 05 de 2020, de <https://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/800/El%20enfoque%20sistematico%20y%20la%20dinamica%20de%20sistemas%20como%20metodologia%20de%20la%20NTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Significados.com. (7 de Marzo de 2018). *Significado de Agropecuario*. Recuperado el 5 de Febrero de 2020, de <https://www.significados.com/agropecuario/>

- Significados.com. (7 de Marzo de 2018). *Significado de Ganadería*. Recuperado el 5 de Febrero de 2020, de <https://www.significados.com/ganaderia/>
- Soares de Lima Lapetina, J. M. (2009). Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay. (*Tesis Doctoral*). Universidad Politecnica de Valencia, Valencia. Recuperado el 23 de Septiembre de 2019, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/6030/tesisUPV3113.pdf>
- SOLLA. (2016). *¿Qué es un ciclo productivo Ganadero?* (Solla nutrición animal) Recuperado el 05 de Febrero de 2020, de <https://www.solla.com/productos/ganader/ciclo>
- SOLLA. (2016). *Ciclo productivo*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2019, de Sitio web de SOLLA Nutrición Animal: <https://www.solla.com/productos/ganader/ciclo>
- Sommerville, I. (2005). Ingería de software. (M. M. Romo, Ed.) (Septima edición). Recuperado el 31 de Mayo de 2020, de <https://books.google.com.co/books?id=gQWd49zSut4C&pg=PA63&dq=%22El+de+sarrollo+evolutivo+se+basa+en+la+idea+de+desarrollar+una+implementaci%C3%B3n+inicial%22&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiDrPnttd7pAhUIInOAKHTKODU0Q6AEIJzAA#v=onepage&q=%22El%20desarrollo%20evolutiv>
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamic Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. United States of America : McGraw-HillCompani. Recuperado el 31 de Octubre de 2019, de https://sa85c2e82e126a3ae.jimcontent.com/download/version/1360070105/module/6264585279/name/%E6%96%87%E5%AD%97BUSINESS_DYNAMICS.pdf
- Vargas Jarquín, E. (2009). Desarrollo de un modelo de simulación para la producción de carne bovina. *Tecnología en Marcha*, 22(1), 4-14. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835582.pdf>
- Venemedia Comunicaciones. (18 de Julio de 2019). *Ganado Vacuno o Bovino*. Recuperado el 29 de Octubre de 2019, de ConceptoDefinición: <https://conceptodefinicion.de/ganado-vacuno-o-bovino/>
- WeatherSpark. (2020). *El clima promedio en San José de Miranda*. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/25285/Clima-promedio-en-San-Jos%C3%A9-de-Miranda-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B3o>
- Zartha, J. W., Vélez, G. L., & Herrera, J. F. (2007). Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando dinámica de sistemas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 5(2), 118-125. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117962>

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro con la terminología para la búsqueda web de información

Temática	Grupos de términos
Sector agropecuario	<p>Agroindustria (Agroindustry):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Industria agraria (<i>Farming industry</i>), industria agrícola (<i>agricultural industry</i>) – Significado: Gestión integrada del conjunto de las actividades ligadas a la producción agrícola, a su transformación y a su comercialización. <p>Economía Agraria (Agricultural economics):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Agroeconomía (<i>Agroeconomy</i>) y economía agrícola – Términos relacionados: Producción agrícola (<i>Agricultural production</i>) <p>Ganado vacuno (Cattle):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Ganado bovino (<i>bovinæ</i>) <p>Ganado (Livestock):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Animales de granja (<i>Farm animals</i>) y ganadería <p>Industria lechera (Dairy industry):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Términos relacionados: Leche (<i>Milk</i>) y productos lácteos (<i>Dairy products</i>) <p>Nutrición animal (Animal nutrition):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Alimentación animal (<i>Animal feeding</i>) <p>Explotaciones agrarias (Farms):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Empresas agrarias (<i>farm enterprises</i>), explotaciones agropecuarias, fincas (<i>ranches</i>) y granjas. <p>Hatos (Herds):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Población animal (<i>animal population</i>) y rebaños (<i>flocks</i>) – Definición: Un grupo de ganado u otros animales domésticos de un solo tipo mantenidos juntos para un propósito específico. <p>Zootecnia (Animal husbandry):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Cría animal (<i>Animal breeding</i>) <p>Genética animal (Animal genetics):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Reproducción animal (<i>Animal reproduction</i>) <p>Trabajador Agrícola (Agricultural workers):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Trabajador agrario (<i>Farm worker</i>) y trabajador rural (<i>Rural worker</i>)
Dinámica de sistemas	<p>Diseño de sistemas (Systems design):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Palabras relacionadas: Análisis de sistemas (<i>Systems analysis</i>) Ingeniería de sistemas (<i>Systems engineering</i>) Sistémica (<i>Systémique</i>)
Simulador – Toma de decisiones	<p>Toma de decisiones (Decision making)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Palabras relacionadas: Sistemas de Soporte a la Decisión (<i>Decision support systems</i>) Análisis de decisión (<i>Decision analysis</i>) <p>Simulación por computadora (Computer simulation)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Palabras relacionadas: Simulación (<i>Simulation</i>) → Palabra más amplia <p>Modelo de simulación (Simulation models)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sinónimos alternativos: Modelo cibernetico (<i>Cybernetic models</i>) Técnica de simulación (<i>Simulation techniques</i>) Diseño (<i>Desing</i>)

Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Información finca la Hoyada el Tejar

Cuadro 1. Población de hembras bovinas en el hato

Etapa fisiológica	Cantidad (Reses)
Terneras en lactancia	8
Terneras en levante	6
Novillas de vientre	3
Vacas en ordeño	14
Vacas secas	5
Terneros en lactancia	7
Terneros en levante	8
Novillos de engorde	3
Toros sementales	2

Fuente: (Rodríguez H. , 2020)

Cuadro 2. Gastos mensuales del hato la Hoyada el Tejar

Gasto	Valor
Servicio de luz	Entre 10.000 y 20.000 \$/mes
Compra de sales	50.000 \$/mes
Compra de concentrados	Entre 480.000 y 550.000 \$/mes
Otros suministros	Entre 10.000 y 50.000 \$/mes
Salarios de 2 trabajadores	1.755.606 \$/mes
Guías de movilización de animales	7.200 \$/res vendida
Impuestos de la finca	250.000 \$/año

Fuente: (Rodríguez H. , 2020)

Cuadro 3. Peso promedio de los bovinos

Etapa fisiológica	Peso aproximado (Kg/res)
Terner@s en lactancia	35 – 90
Terner@s en levante	100 – 300
Novillos engorde	300 - 700
Novillas preñadas	350 - 500
Vacas ordeño	300-450
Vacas secas	280-400

Fuente: (Rodríguez H. , 2020)

Cuadro 4. Características de los pastos presentes en el hato la Hoyada el Tejar

Tipo de pasto	Tiempo de crecimiento (Días)	Porcentaje de cubrimiento del área de la finca
Kikuyo	42	80 %
Trébol rojo	40-45	7%
Ray Grass	45	2%
Falsa Poa	120	10%
Pasto Elefante	120	0,5 %
Pasto imperial	90-110	0,5%

Fuente: (Rodríguez H. , 2020)

Anexo 3. Descripción de experimentos realizados para obtener datos en el hato

Los datos que se obtuvieron mediante el proceso de experimentación fueron los pesos de cada uno de los tipos de pastos presentes en la finca, para lo cual se llevó el siguiente paso a paso con cada uno de ellos:

- Se identificó en cuál potrero el pasto estaba en su nivel máximo de maduración.
- Se midió un metro cuadrado de pasto y se cortó en su totalidad presente en esta área



Figura 1. Proceso de medición y corte de pastos de un metro cuadrado

Fuente: Autores.

- Por último, se pesó el pasto cortado.

Los datos obtenidos se encuentran consignados en el **Cuadro 1**:

Cuadro 1. Pesos aproximados por tipo de pasto

Tipo de pasto	Kilogramos de pasto por metro cuadrado
Kikuyo	4
Trébol rojo	2
Ray Grass	1,5
Falsa Poa	2
Pasto Elefante	20
Pasto imperial	10

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Documentación detallada de documentos priorizados en la revisión de literatura

1. Modelo de simulación para estudiar la dinámica poblacional de un hato ganadero, basado en un modelo de simulación con Vensim

Implementación de la dinámica de sistemas (DS):

En este trabajo se utilizó la DS como herramienta de aprendizaje acerca de la dinámica poblacional de un hato ganadero, buscaban lograr comprender la complejidad de los sistemas de producción ganadera, en todos sus componentes (bióticos y abióticos) desde una perspectiva sistémica (Molina Benavides, 2018).

Este enfoque sirve para evaluar estrategias (resultado de la simulación) para mejorar el manejo que se le da al crecimiento y producción (de leche y carne) utilizando la herramienta metodológica propuesta, en este caso la creación de un modelo de simulación.

Modelo

En la **Figura 1** se muestra el modelo planteado por Molina (2018)

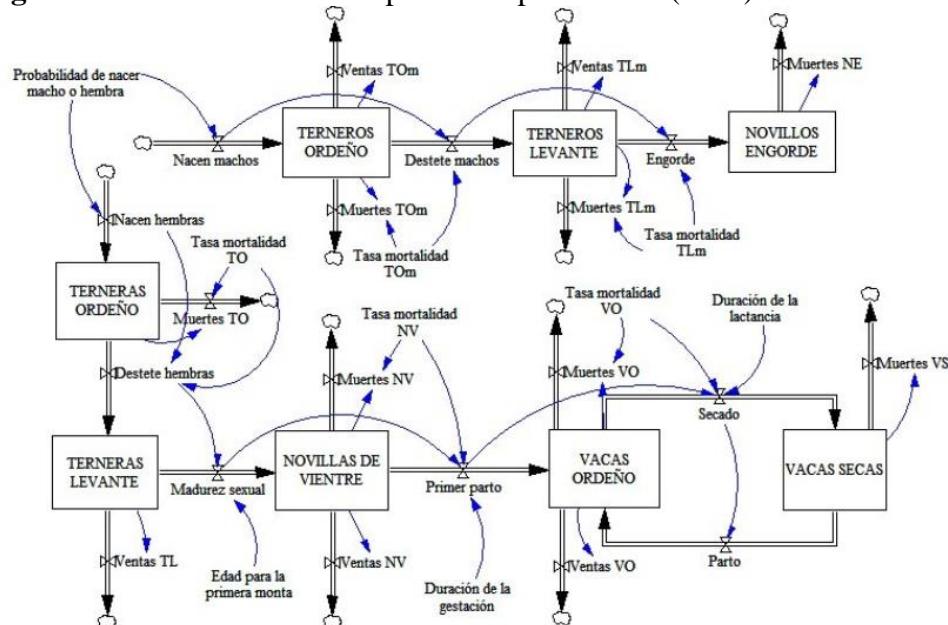


Figura 1. Representación de un hato ganadero mediante flujos, niveles y variables

Fuente: Molina (2018)

Herramienta utilizada: el modelo de simulación fue desarrollado en Vensim ®PLE Plus 7.2.

Método: El modelo fue construido bajo la metodología de DS, este estudio, ayudó a conocer y entender las múltiples interacciones que influyen sobre un hato ganadero, para lo cual fue establecido para un horizonte de tiempo de 12 años utilizando los principales

componentes de la metodología: flujos, niveles, retrasos, bucles de retroalimentación, entre otros (Molina Benavides, 2018).

Se consideraron grupos (No individuos) de animales que pasan por varios estados fisiológicos durante su vida productiva y con características similares. “La dinámica de los animales se logró introduciendo parámetros reproductivos (intervalo entre partos, intervalo entre parto y concepción, entre otros), tasas de mortalidad y tasas de ventas” (Molina Benavides, 2018).

Decisiones que apoya: Este modelo “permite a los ganaderos, investigadores y tomadores de decisiones, actuar en diferentes escenarios, ensayar distintas políticas y experimentar las consecuencias de sus propias decisiones” (Molina Benavides, 2018) en la administración de un hato ganadero. Unos ejemplos de las políticas que se pueden analizar son: no vender las vacas de ordeño; y la reducción del intervalo entre parto y concepción en determinados meses. Una de las ventajas de trabajar con modelos de simulación, es observar la reacción del sistema a una medida tomada.

2. Lineamientos Metodológicos para construir Ambientes de Aprendizaje en Sistemas Productivos Agropecuarios soportados en Dinámica de Sistemas

Implementación de la (DS):

Se utilizó para representar la dinámica de sistemas agropecuarios en modelos matemáticos de simulación y generar escenarios para evidenciar cambios en las variables de decisión, esto con el fin identificar los lineamientos metodológicos, que permitieran la representación de dichos sistemas para la toma de decisiones y facilitar la evaluación de los posibles efectos derivados de diversas alternativas de política de gestión y/o del uso de tecnologías como de mejora de razas, inversión en equipos, recuperación de pastos, control de plagas, entre otras (Gómez Prada, Andrade, & Vásquez, 2015).

Método: Para representar de una manera adecuada los sistemas de producción agropecuaria Gómez, Andrade, y Vásquez (2015) lo dividieron en los subsistemas demográfico, biofísico, productivo y económico relacionados entre sí constituyendo un sistema dinámico, como se muestra en la **Figura 2**.

El modelado planteado integra una serie de componentes similares en los diversos sistemas productivos agropecuarios con lo cual se logró un modelo global común que posteriormente puede considerar las características particulares de cada sistema productivo, en el **Cuadro 1** se encuentran algunas características de los sistemas de producción agropecuaria (Gómez Prada, Andrade, & Vásquez, 2015).

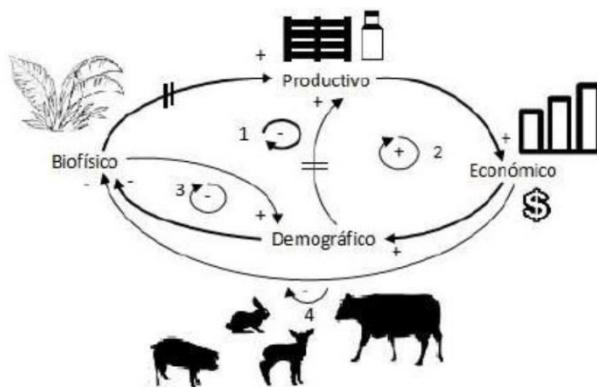


Figura 2. Hipótesis Dinámica Básica del Sistema Productivo Agropecuario
Fuente: Gómez, Andrade y Vásquez (2015)

Cuadro1. Características generales de los sistemas de producción

Características Generales	Bovino	Porcino	Caprino	Cunicola
Gestación (Incubación) [días]	270	114	150	31
Crías promedio al parir	1	9	2	7 a 9
Lactancia [días]	270	21	100	56
Recuperación hembras [días]	90	14	50 a 60	17
# Ideal de partos por año	1	2.7	1.7	5 a 7
# Promedio de crías por año	1	24	1	35

Fuente: Gómez, Andrade y Vásquez (2015)

Modelo: El modelo planteado por Gómez, Andrade, y Vásquez (2015) y que contiene una estructura básica común para los sistemas de producción agropecuaria es el mostrado en la **Figura 3**

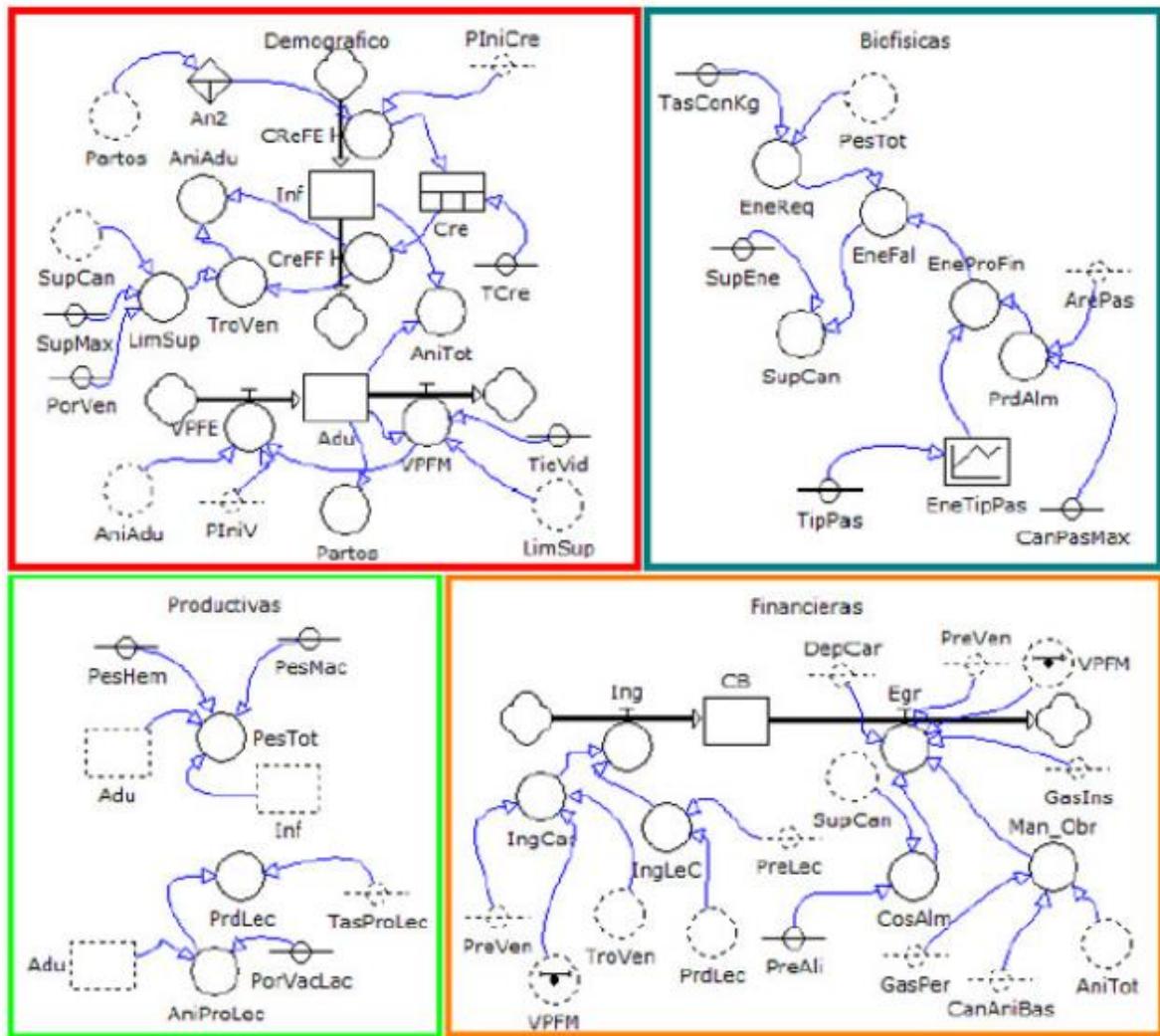


Figura 3. Modelo resumido de la hipótesis de la dinámica básica en Flujos y Niveles
Fuente: Gómez, Andrade y Vásquez (2015)

Herramientas: Stella como software para modelamiento con dinámica de sistemas y AgroDiSi (Software desarrollado por los autores) como ambiente informático para el uso del modelo.

Decisiones que apoya:

Las decisiones que apoya están orientadas a los roles específicos de los actores que definieron como objetivos.

Al usuario experto le permite realizar un análisis de sensibilidad de la variación en el sistema como respuesta decisiones administrativas relativas a la productividad; al usuario aprendiz le facilita la comprensión del funcionamiento de los modelos recreando posibles escenarios y evaluando sus resultados; por último, al administrador le permite realizar

cambios en variables del modelo y los parámetros con los cuales van a interactuar los aprendices (Gómez Prada, Andrade, & Vásquez, 2015).

Interfaces:

En la **Figura 4** se muestra, una de las interfaces de AgroDiSi

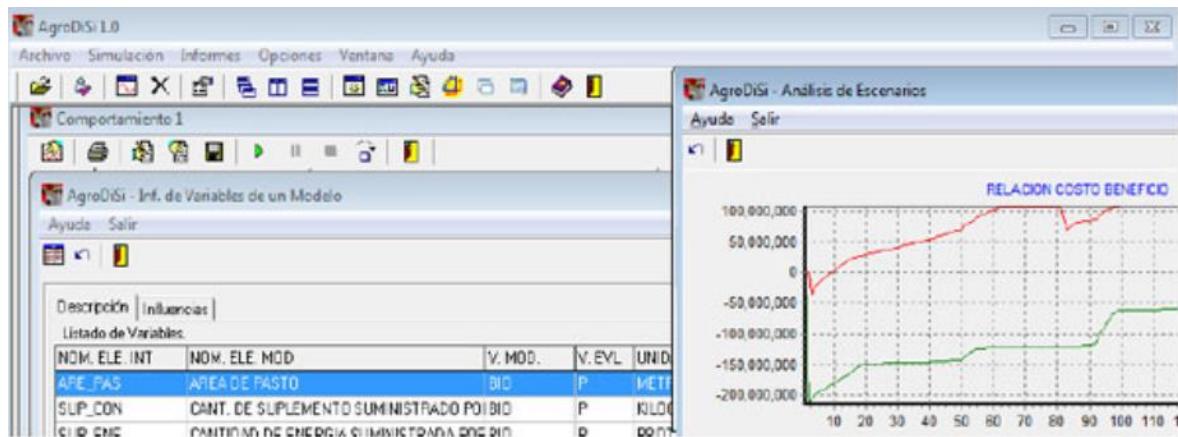


Figura 4. Interfaz de AgroDiSi [Captura de pantalla]

Fuente: Gómez, Andrade y Vásquez (2015)

3. Diseño de un modelo de simulación dinámica para mejorar la producción de ganado bovino en una granja en el norte del valle del cauca

Implementación de la DS: En este proyecto, se implementaron los elementos que brinda la DS en el diseño del modelo de simulación dinámica que buscó mejorar y plantear alternativas la producción de ganado bovino de ceba en una granja del Norte Del Valle del Cauca.

Se implementaron modelos de simulación para evaluar manejos alternativos de praderas, en distintos suelos y climas., diseñando una herramienta que permite evaluar las diferencias en el manejo del sistema productivo de la Granja, basándose en las soluciones obtenidas por el modelo (Franco Correa & Marulanda García, 2017).

para así “apoyar la toma de decisiones tanto de los expertos, como de los productores, con el propósito de que no se tenga que incurrir en los grandes costos que implica esperar los resultados en un sistema real de ganadería” (Franco Correa & Marulanda García, 2017).

Método: Inicialmente Franco y Marulanda (2017) realizaron una caracterización del sistema de producción de ganado bovino implementado en la granja objeto estudio, con lo que se pudo extraer parámetros de entrada para el modelo. Posteriormente, realizaron el diseño de un modelo de simulación dinámica que permitiese el análisis de posibles escenarios para buscar la mejora en la producción de ganado en la granja. El modelo que diseñaron está compuesto por los subsistemas financiero, biofísico y productivo, como se

muestre en la **Figura 5**. Por último, realizaron la validación del modelo de simulación frente a escenarios generados anteriormente dentro del mismo sistema de producción de ganado bovino y de esta manera determinar las mejores estrategias para la granja.

Modelo:

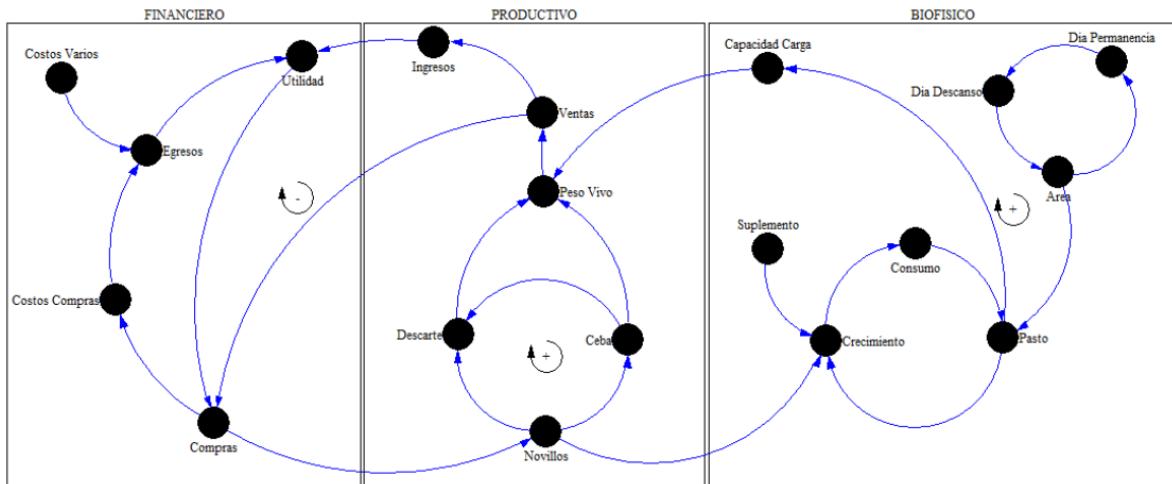


Figura 5. Diagrama causal del sistema productivo de la granja

Fuente: Franco Correa y Marulanda García (2017)

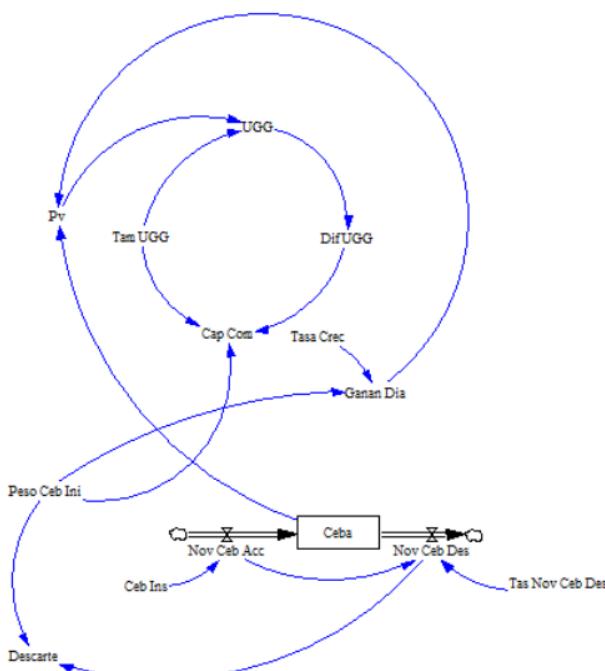


Figura 6. Diagrama de flujo-nivel del subsistema productivo

Fuente: Franco Correa y Marulanda García (2017)

Variables identificadas por Franco y Marulanda (2017) para el subsistema productivo:

- Ceba: Cantidad de novillos en el proceso.
- Nov Ceb Acc: Numero de novillos que entran al sistema de producción ganadera.
- Nov Ceb Des: Novillos que por alguna razón salen del sistema.
- Descarte: Kilogramos descartados del sistema de producción ganadera.
- UGG (Unidades de Gran Ganado): Cantidad de animales que pueden mantenerse en un área determinada.
- Cap Com: Cantidad de animales puedo comprar, teniendo en cuenta la disponibilidad de pasto o forraje.
- Dif UGG: Disponibilidad de pasto o forraje.
- Ganan Día: Gramos de ganancia diaria en peso vivo que obtienen los animales.
- Pv: Peso vivo de los animales, esta medida está en kilogramos.
- Ceb Ins: Cantidad de animales que ingresan al sistema.
- Peso Ceb Ini: Es el peso inicial con el que entran los animales al proceso de ceba.
- Tas Nov Ceb Des: Es la tasa de que haya un descarte o que un Novillo sea retirado del sistema.
- Tam UGG: Representación de la cantidad de animales en unidades de UGG.
- Tas Crec: Indica a razón de que crece el animal.

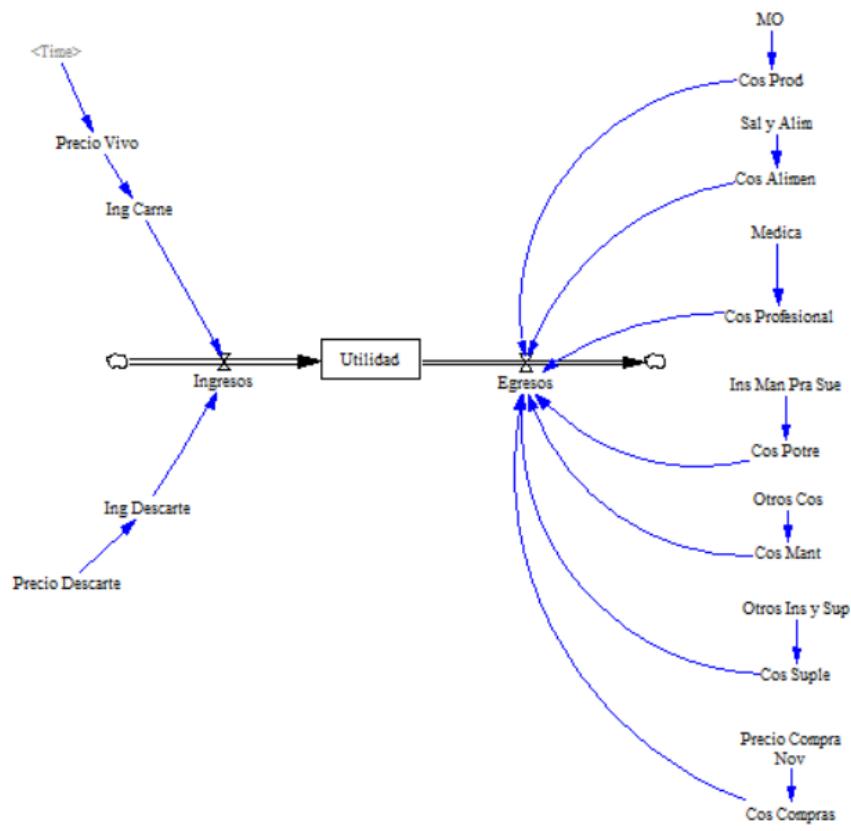


Figura 7. Diagrama de flujo-nivel del subsistema financiero

Fuente: Franco Correa y Marulanda García (2017)

Variables identificadas por Franco y Marulanda (2017) para el subsistema financiero:

- Utilidad: Diferencia de los ingresos y egresos del sistema producción.
- Ingresos: Cantidad de dinero que ingresa de la actividad ganadera.
- Egresos: Costos que demanda la producción ganadera.
- Cos Prod: Costos varios.
- Cos Alimen: Costos alimenticios y suplementarios.
- Cos Profesional: Costos generados por asesoramientos de los profesionales.
- Cos Sani: Gastos generados por el plan sanitario.
- Cos InsyMant: Costos de instalación y manutención de lo requerido para la actividad.
- Cos Compras: Costos dados por los gastos que genera la compra, como costos de transporte, permisos, etc.

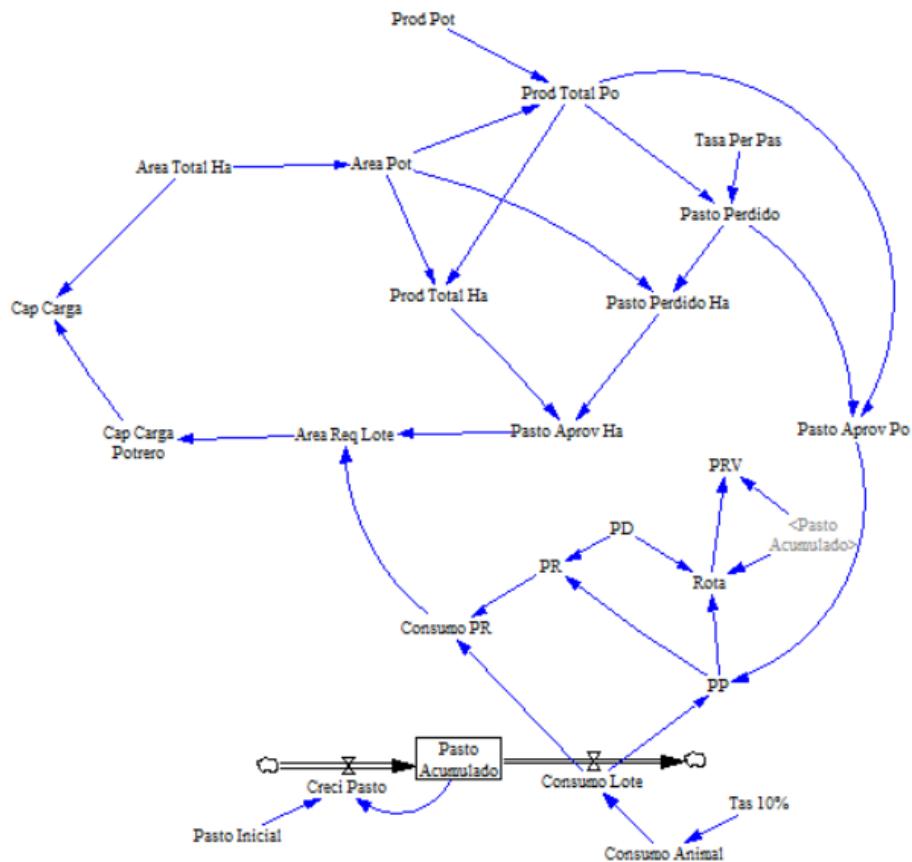


Figura 8. Diagrama de flujo-nivel del subsistema Biofísico

Fuente: Franco Correa y Marulanda García (2017)

Variables identificadas por los Franco y Marulanda (2017) para el subsistema biofísico:

- Pasto Acumulado: Cantidad de forraje acumulado diariamente.
- Creci Pasto: Indica la cantidad de pasto o forraje ha crecido.
- Consumo del Lote: Cantidad total de forraje que consume todo el lote de animales por día.
- Prod Total Pot: Es la producción total de forraje en el potrero.
- Prod Total Ha: Es la producción total de forraje por Hectárea.
- Pasto Perdido: Cantidad de pasto que se pierde por pisoteo, heces, orina, etc.
- Perdida Por Hectárea: Cantidad de pasto perdido por hectárea.
- Pasto Aprovechable: Cantidad de pasto aprovechable o consumible por los animales.
- Tamaño del Lote: Expresado en términos de Unidades de Gran Ganado.
- Consumo Animal: Cantidad de forraje que consume el animal por día.
- Periodo de Permanencia (PP): Número de días que puedo ocupar el potrero.
- Rota: Esta variable permite la rotación de los novillos en los diferentes potreros.

- PRV Pastoreo Racional de Voison: “Esta variable integra las cuatro leyes del pastoreo Voison, La ley del descanso, La ley de la ocupación, La ley de la ayuda y La ley de los rendimientos regulares”.
- Prod Pot: Producción Potencial
- Periodo de Descanso (PD): Es el tiempo que mantiene en descanso un potrero, mientras crece el pasto.

Herramienta utilizada: Programa de simulación dinámica Vensim PLE, Versión 6.4b.

Decisiones que apoya: Apoya la toma de decisiones tanto de los expertos, como de los productores, ya que, permite evaluar el manejo del sistema productivo de la Granja, basándose en los resultados del modelo con el propósito de que no se tenga que incurrir en los grandes costos que implica el esperar los resultados en un sistema real de ganadería. Algunas de las decisiones que se pueden evaluar son: la cantidad de animales que se pueden tener en un determinado potrero y el tiempo que puede durar un lote en un área específica con el fin de lograr el máximo aprovechamiento del pasto y beneficiar el desarrollo de los bovinos (Franco Correa & Marulanda García, 2017).

4. Propuesta de un modelo de simulación de ganadería intensiva bovina

Implementación de la DS: En este trabajo se evidencia el uso de la DS en la representación de la ganadería bovina intensiva, mediante modelos que logran la identificación de estrategias que permiten maximizar el beneficio en el menor tiempo posible, con el fin de evaluar los posibles riesgos y evitar futuras pérdidas (Gómez Prada & Andrade Sosa, 2010).

Método: Para la lograr la elaboración de la interfaz de simulación los Gómez y Andrade (2010) hicieron uso de las herramientas que brinda la DS, permitiendo así mediante la identificación de parámetros en la elaboración de los modelos para los siguientes prototipos (Los cuales representan escenarios diferentes):

- Prototipo 1: Doble propósito – demográfico.
- Prototipo 2: Ceba intensiva - demográfico financiero.
- Prototipo 3: Lechería - demográfico y financiero.
- Prototipo 4: Componente biofísico.
- Prototipo 5: Modelo General de Ceba Intensiva.
- Prototipo 6: Dinámica de producción de pasto - Aumento de peso.

Posteriormente se integraron en un modelo general que permite la realización de proyecciones y evaluar el comportamiento e influencia de las variables en el sistema ganadero.

Modelo:

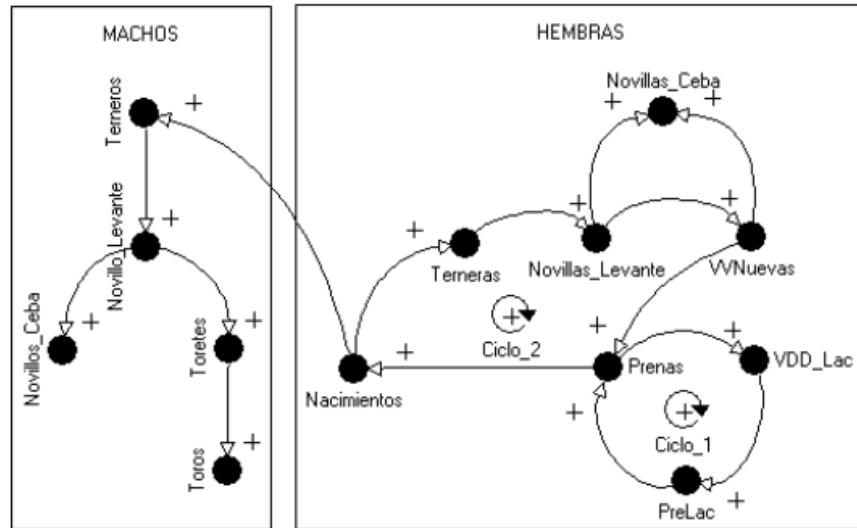


Figura 9. Diagrama de influencias prototipo 1 doble propósito – demográfico

Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)

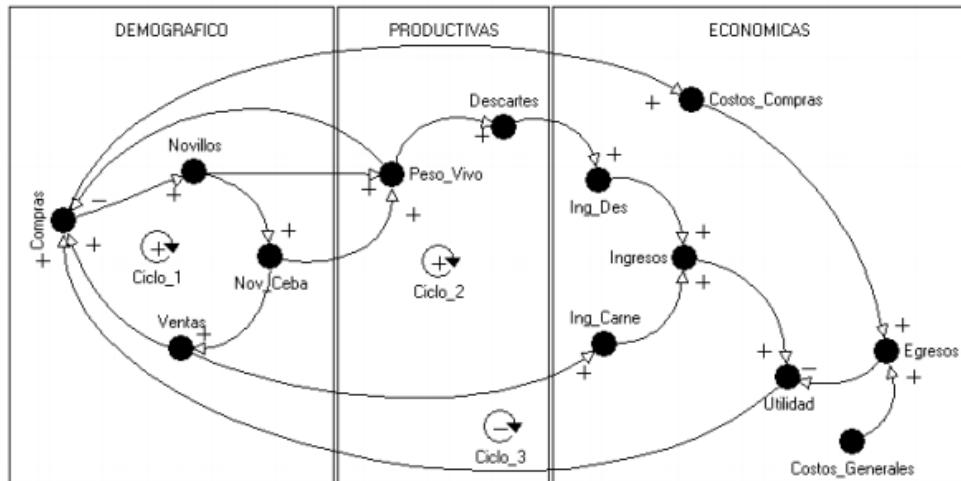
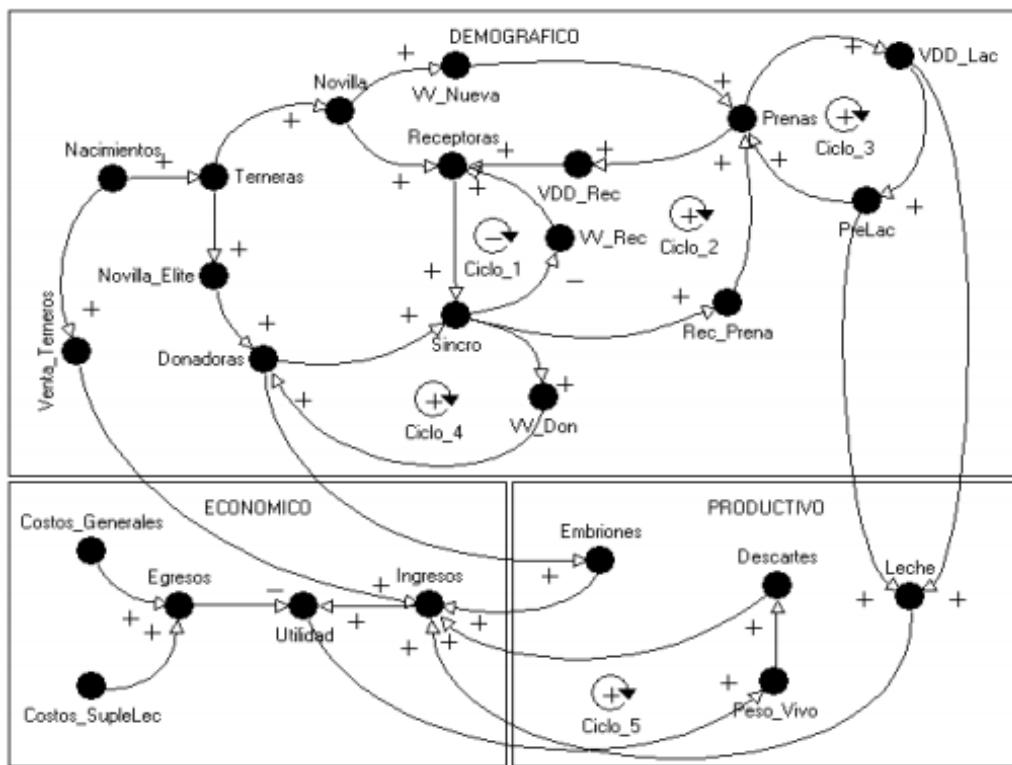


Figura 10. Diagrama de influencias prototipo 2 ceba intensiva - demográfico financiero

Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)



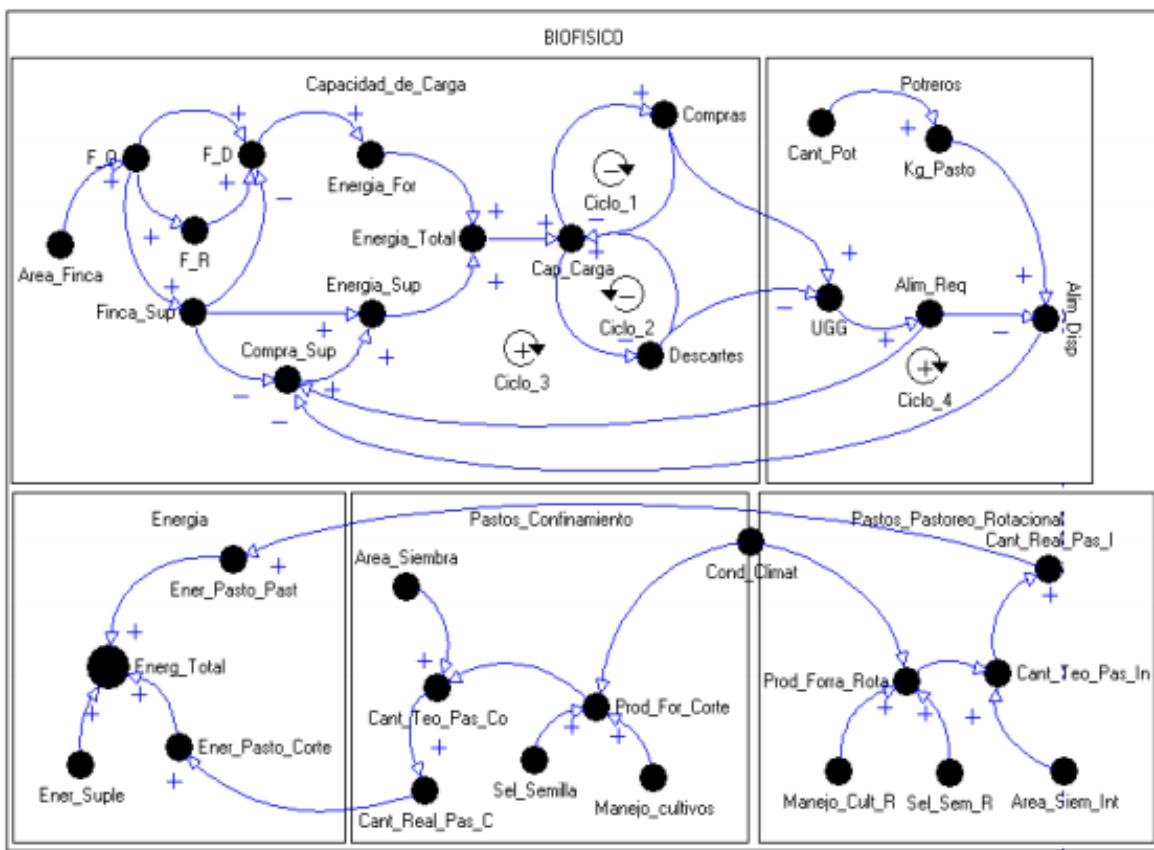


Figura 12. Diagrama de influencias prototipo 4 componente biofísico

Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)

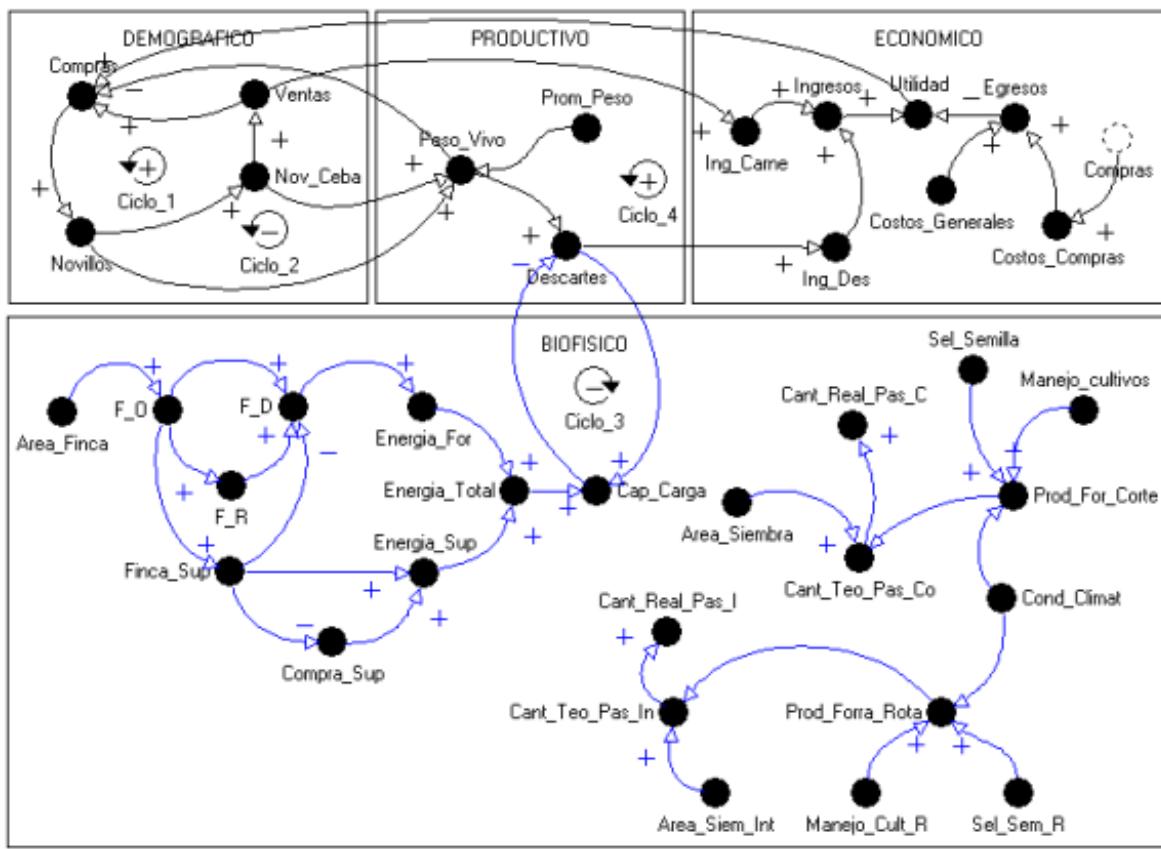


Figura 13. Diagrama de influencias prototipo 5 modelo general de ceba intensiva.

Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)

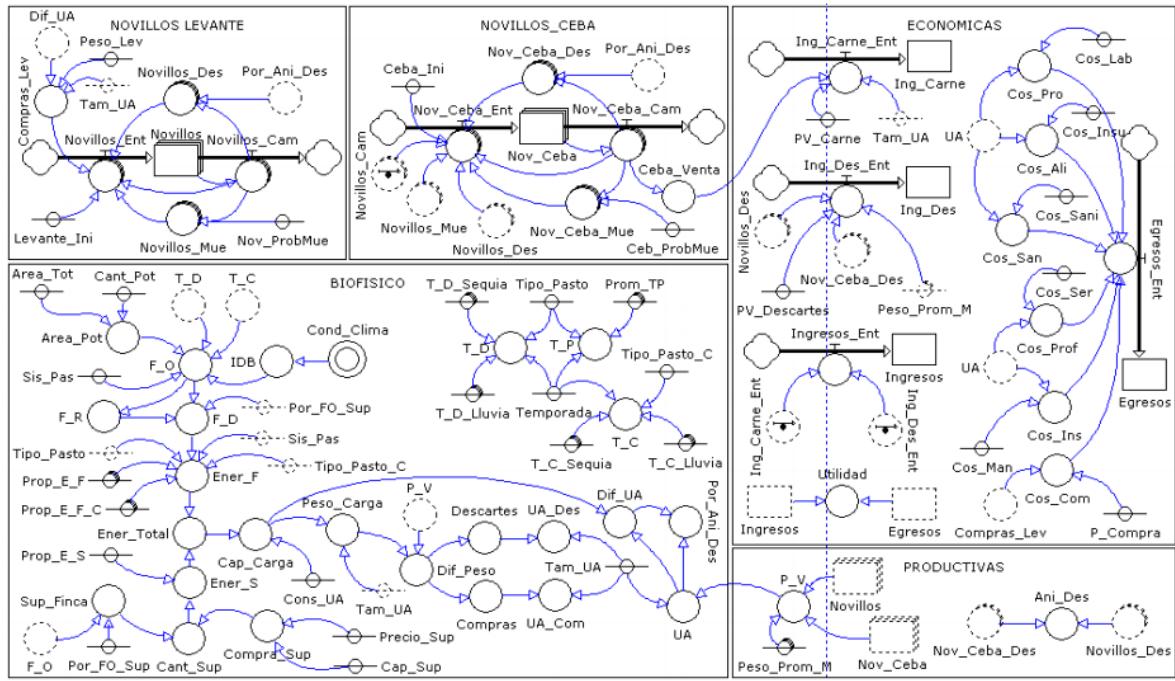


Figura 14. Diagrama de flujo modelo general de ceba intensiva

Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)

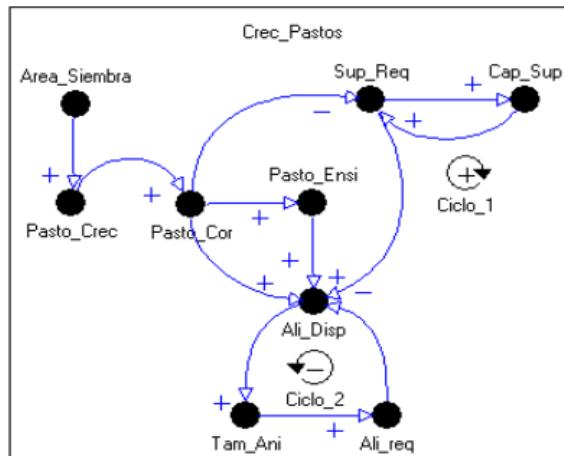


Figura 15. Diagrama de influencias prototipo 6 dinámica de producción de pasto - Aumento de peso

Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)

Decisiones que apoya: Esta es una herramienta de aprendizaje útil para la intensificación de rutinas alimentarias en ganadería bovina extensiva, evaluando si se generan mayores

ganancias de peso y mayor producción de leche y carne, en períodos de tiempos más cortos (Gómez Prada & Andrade Sosa, 2010).

Interfaz: La interfaz, que se muestra en la **Figura 16**, es flexible, es decir, permite elegir cuál de los prototipos anteriormente mencionados desea trabajar el usuario del simulador, cada uno de los prototipos realiza ciertos ajustes al modelo general antes de empezar a proyectar. (Gómez Prada & Andrade Sosa, 2010).

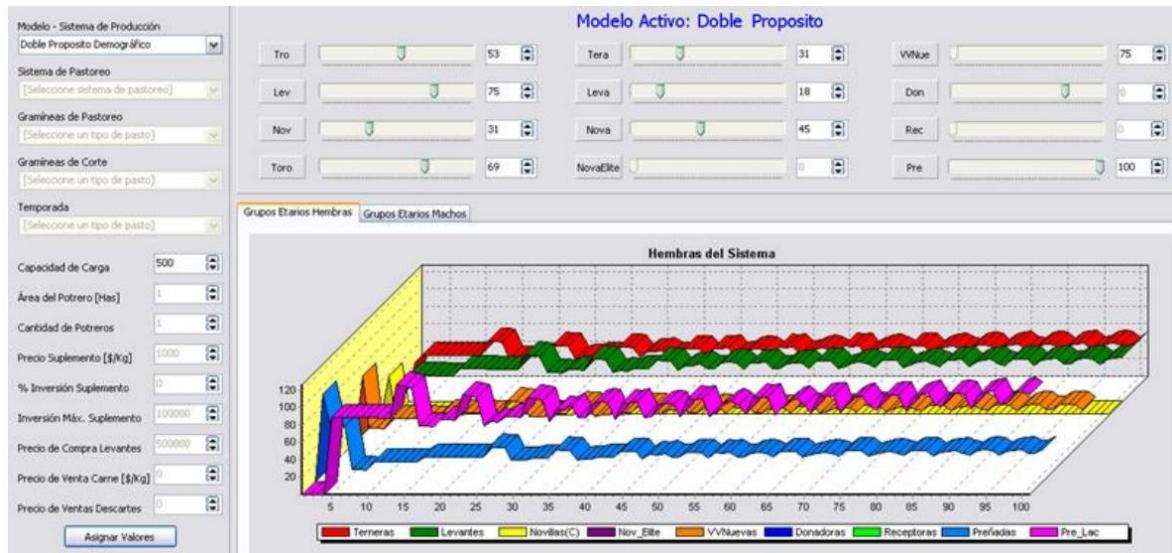


Figura 16. Interfaz para el uso del modelo
Fuente: Gómez Prada y Andrade Sosa (2010)

5. Simulador para el Aprendizaje de Toma de Decisiones en Mercadeo en el Sector Lácteos

Implementación de la DS: Cuartas y Mosquera (2004) utilizan el enfoque de la DS para la elaboración de un micromundo empresarial aplicado a la toma de decisiones en el mercado de productos lácteos bajo un ambiente amigable e interactivo, permitiendo así mediante las simulaciones el aprendizaje en esta área.

Método: Para la elaboración del micromundo inicialmente Cuartas y Mosquera (2004) describen la estructura del mercado lácteo (agentes oferentes y demandantes), se caracterizó su conducta específicamente para la leche líquida de corta duración, con esto lograron representar mediante diagramas de influencias las variables y elementos que componen el sistema. En base a los modelos planteados realizaron el prototipo de un micromundo que facilita el aprendizaje relativo a los impactos de diferentes políticas de mercadeo en el sector lácteo.

Modelo: Los bucles que conforman el modelo de simulación utilizado por los autores son los presentados a continuación:

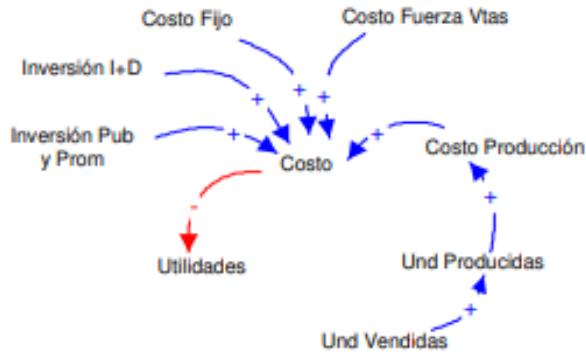


Figura 17. Modelo de costos
Fuente: Cuartas y Mosquera (2004)

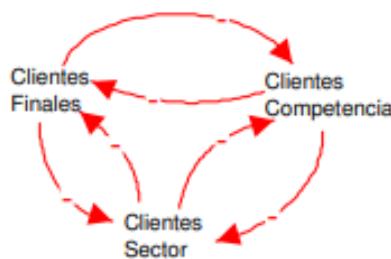


Figura 18. Modelo clientes
Fuente: Cuartas y Mosquera (2004)



Figura 19. Modelo de participación en el mercado
Fuente: Cuartas y Mosquera (2004)

Decisiones que apoya: Los jugadores pueden tomar decisiones sobre las variables de mercadeo como precio, canales de distribución, publicidad, promoción y fuerza de ventas.

El micromundo simula las reacciones de los consumidores y de los competidores, frente a diferentes estrategias organizacionales (Cuartas & Mosquera, 2004).

6. Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando dinámica de sistemas.

Implementación de la DS: El uso de DS como metodología de trabajo sirvió para establecer un modelo que integrara la influencia directa e indirecta que presentan algunos factores sobre el consumo de carne bovina en Antioquia, estableciendo diferentes escenarios de simulación que permiten la identificación de las variables con más influencia en el sistema. Además, los modelos de simulación fueron usados como instrumentos para la evaluación del comportamiento de los sistemas, su funcionamiento, características y respuesta a ciertas condiciones debido al entorno (Zartha, Vélez, & Herrera, 2007).

Métodos: Para realizar el levantamiento del modelo Zartha, Vélez y Herrera (2007) usaron técnicas tales como, matrices de impacto cruzado, metodología DELPHI y la metodología sistémica. Inicialmente plantearon una matriz de impactos cruzados (MIC) donde se tuvo en cuenta toda la información obtenida de las encuestas, documentación y las entrevistas con los expertos, identificando así en total 57 variables, agrupadas en los grupos de manejo y adecuación, producción primaria, transformación, comercialización, características del producto, culturales, políticas sectoriales, demanda y política externa.

Modelo: En la siguiente **Figura 20** se observa el producto del análisis de Zartha, Vélez y Herrera (2007) en los puntos críticos del consumo de carne en la región de Antioquia, es

un diagrama causal o de influencias, donde se muestran algunas variables y el tipo de influencia que hay entre ellas:

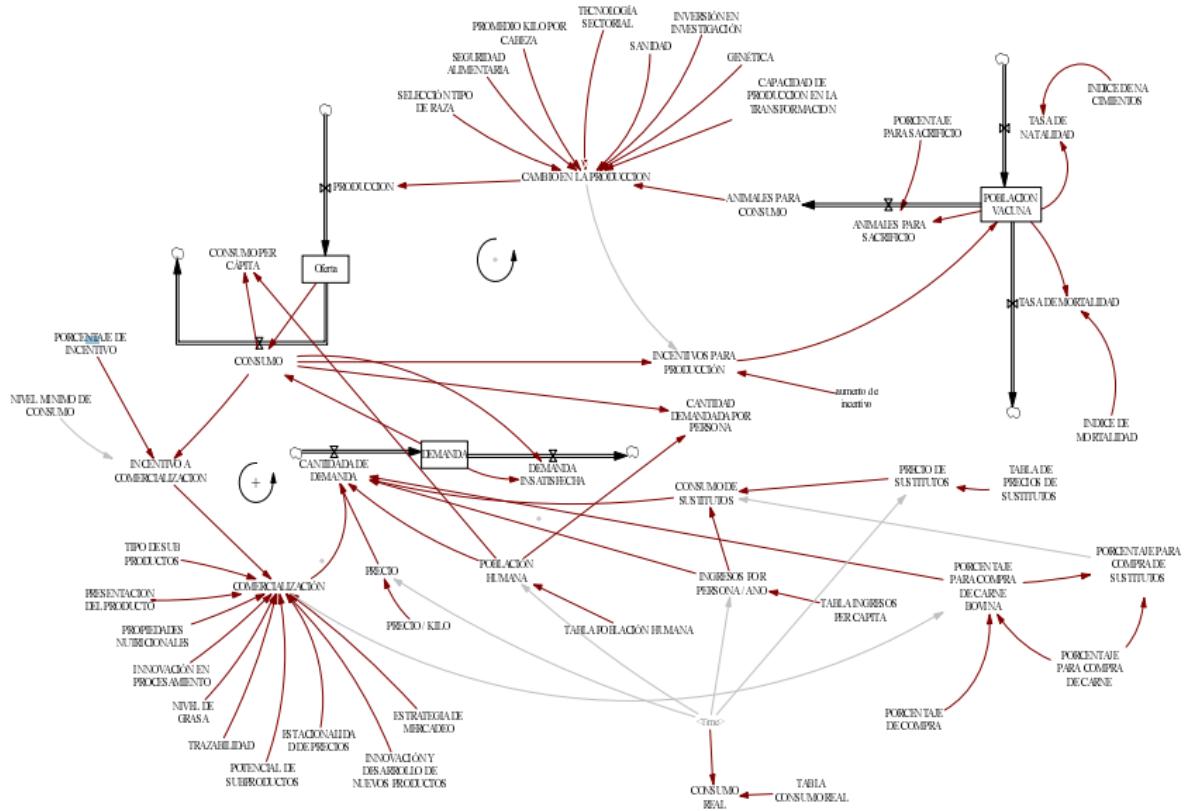


Figura 20. Modelo de consumo de carne bovina en Antioquia

Fuente: Zártha, Vélez y Herrera (2007).

Decisiones que apoyan: El modelo propuesto permite evaluar variaciones en: “el precio (el cual afecta el consumo), variables como la comercialización del producto, el consumo de los sustitutos, la oferta, el ingreso per cápita, la innovación, la selección del tipo de raza, la tecnología del sector, entre otros” (Zártha, Vélez, & Herrera, 2007). Lo cual sirve como base para plantear estrategias de mejora y crecimiento en el sector.

7. Dinámica de la ganadería vacuna en Uruguay: un modelo de simulación.

Implementación de la DS: En este trabajo se describe una herramienta de análisis elaborada con el enfoque y técnicas de dinámica de sistemas que capta la estructura y funcionamiento del sector de ganadería de carne vacuna en Uruguay, con el propósito de contar con una herramienta de investigación sobre el funcionamiento de este sector (Chiara & Ferreira, 2011)

Método: Para el desarrollo del modelo Chiara y Ferreira (2011) desarrollaron un modelo que muestra el inventario de carne y el recurso forrajero junto con las variables de precio y variables exógenas (Chiara & Ferreira, 2011).

Modelo:

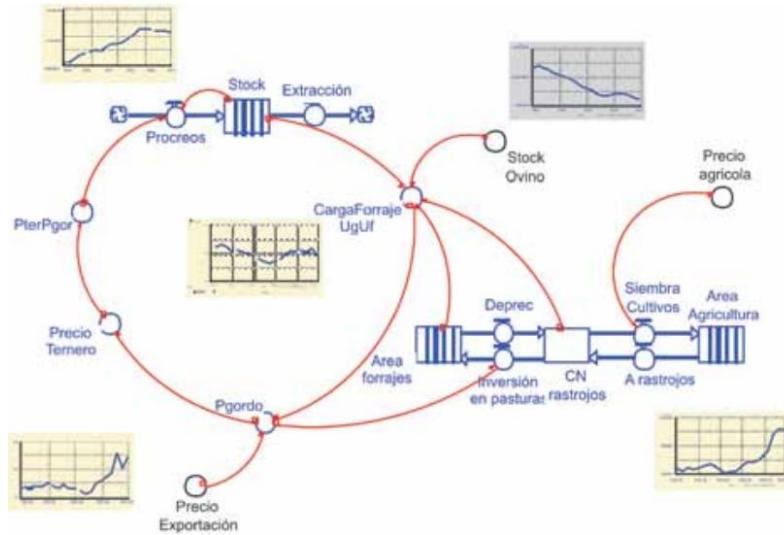


Figura 21. Estructura del sistema productor de carne vacuna

Fuente: Chiara y Ferreira (2011)

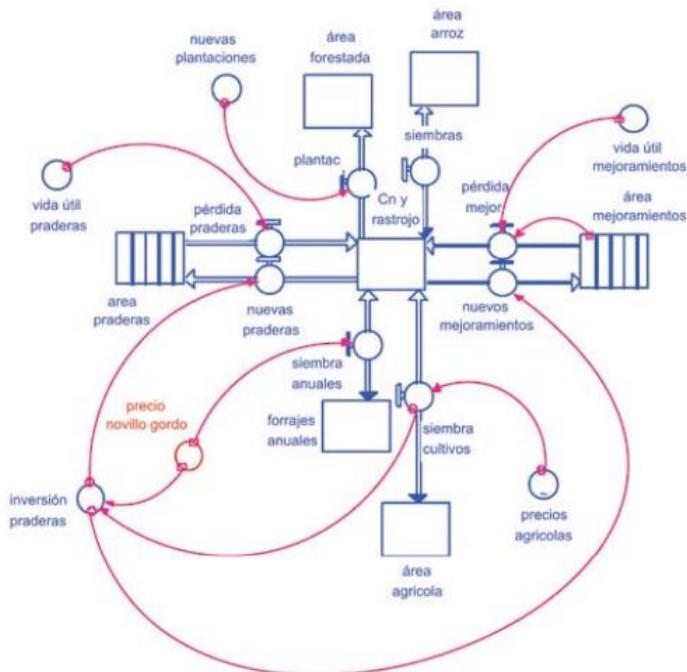


Figura 22. Esquema de la dinámica del uso del suelo

Fuente: Chiara y Ferreira (2011)

Herramienta utilizada: iThink-2

Decisiones que apoyan: Permite al usuario realizar experimentos, sometiendo el modelo a diferentes perturbaciones tales como alternativas de precios de exportación de carne, precios agrícolas y exportaciones de ganado en pie (Chiara & Ferreira, 2011).

8. Estrategias de producción para el sector de medianos productores de leche cruda en el departamento de Cundinamarca

Implementación de la DS: en este estudio se utilizó la DS como método de estudio principal de la problemática abordada.

Método: Se determinó como población objetivo los medianos productores de leche, es decir, aquellos que poseen entre 12 y 55 vacas; los datos fueron tomados de la finca San Pedro perteneciente al Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, ubicado en el municipio de Mosquera; después, teniendo en cuenta que el promedio de la edad productiva de las vacas es de 10 años, se simuló en un periodo de tiempo de 20 años, es decir, para 2 generaciones; finalmente para validar los datos generados por el modelo se realizó una comparación con los registros que se tenían del periodo comprendido entre Junio de 2014 y Mayo de 2015 (Ospina Garzón, 2015).

Modelo: la siguiente figura muestra las variables que identificó Ospina (2015) que afectan de una manera u otra la producción lechera de la finca, especificando las relaciones, el tipo de retroalimentación que poseen (negativo o positivo) y si hay un retardo en el tiempo de transición de información de una variable a otra.

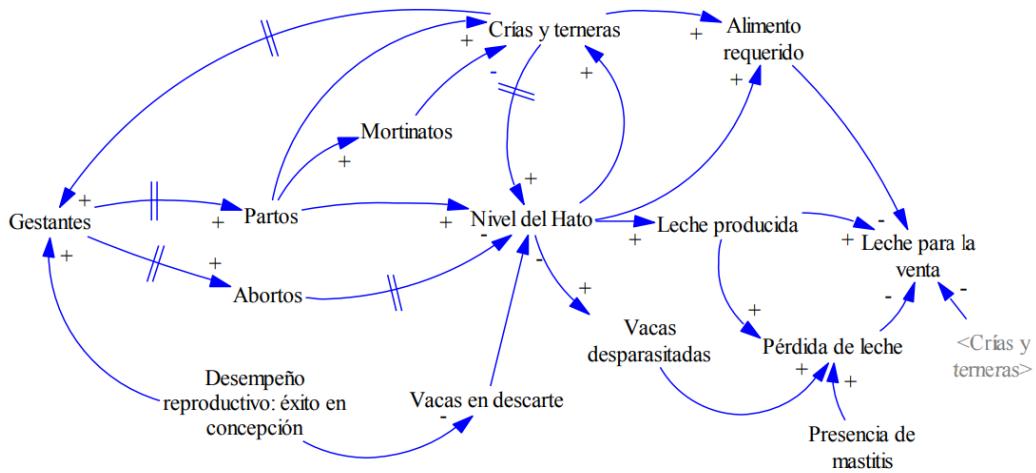


Figura 23. Diagrama causal de la estructura productiva de leche

Fuente: Ospina Garzón (2015)

Por otro lado, la Ospina (2015) decidió analizar el sistema financiero como un subsistema en el que los costos y los ingresos, ya sean por ordeño o venta de animales, determinan la utilidad en este sector productivo.

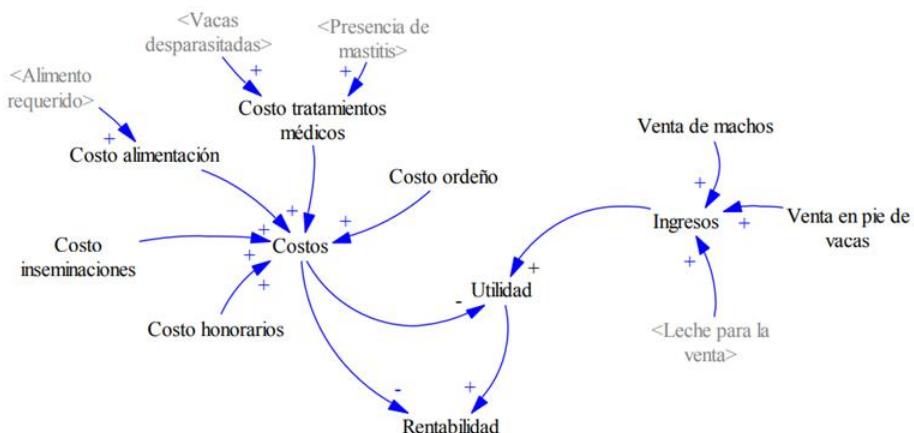


Figura 24. Diagrama causal financiero

Fuente: Ospina Garzón (2015)

Para el modelado Ospina (2015) consideró pertinente el dividir el sistema en varios subsistemas que dependen de la etapa fisiológica de los vacunos, los procesos que se llevan a cabo en la finca San Pedro y el papel que juegan en la producción de leche y determinación de las utilidades, en las siguientes figuras se muestran dichos modelos, utilizando el método de Forrester.

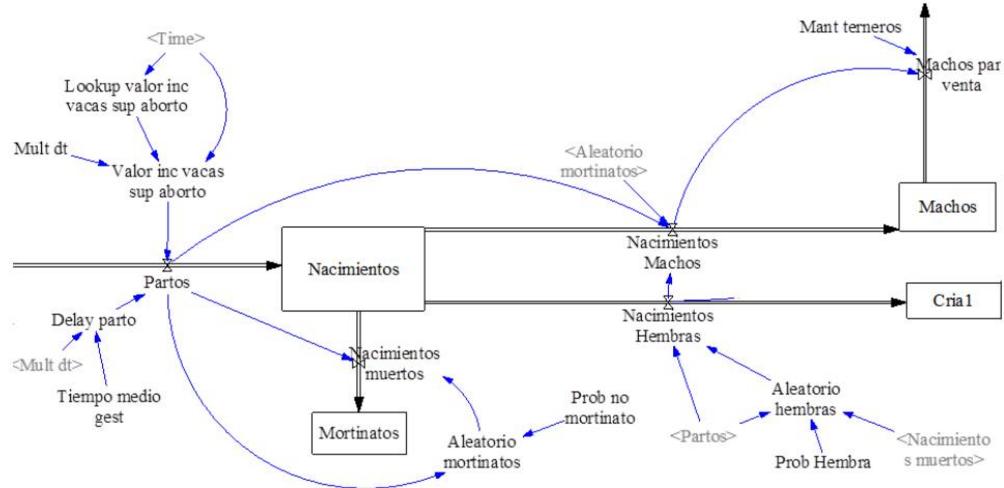


Figura 25. Diagrama de Forrester para partos y nacimientos
Fuente: Ospina Garzón (2015)

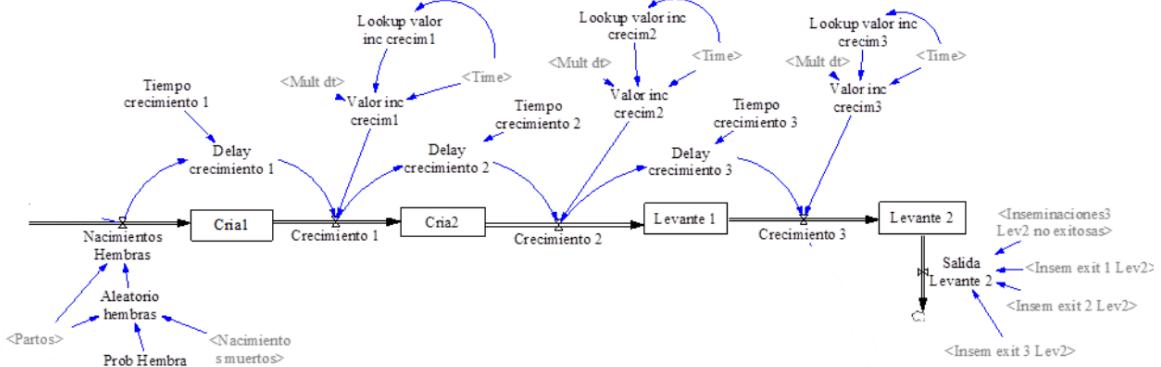


Figura 26. Diagrama de Forrester proceso de maduración
Fuente: Ospina Garzón (2015)

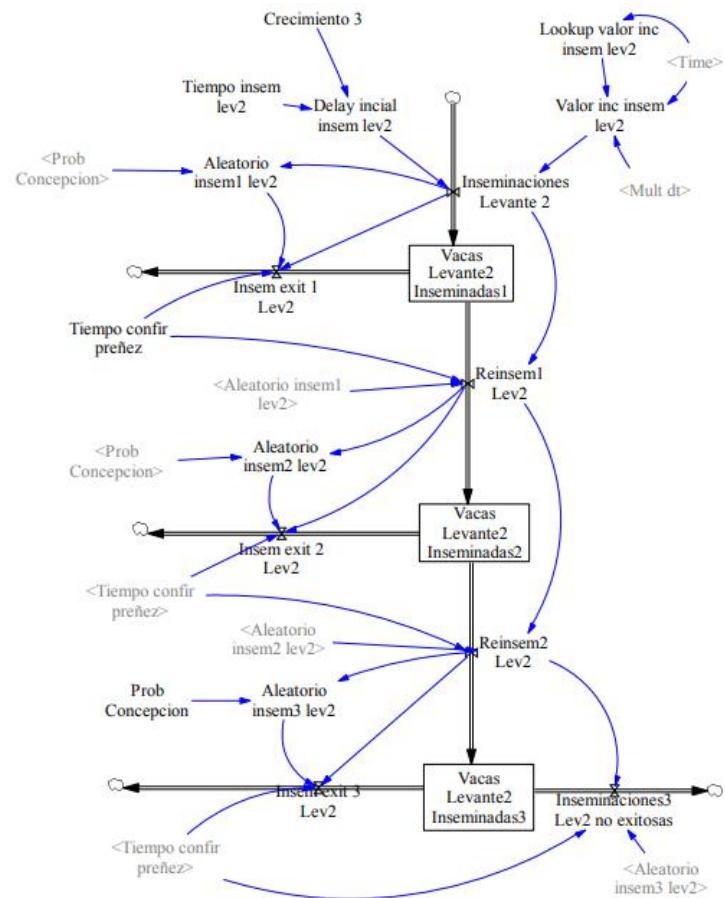


Figura 27. Diagrama de Forrester primera reproducción.
Fuente: Ospina Garzón (2015)

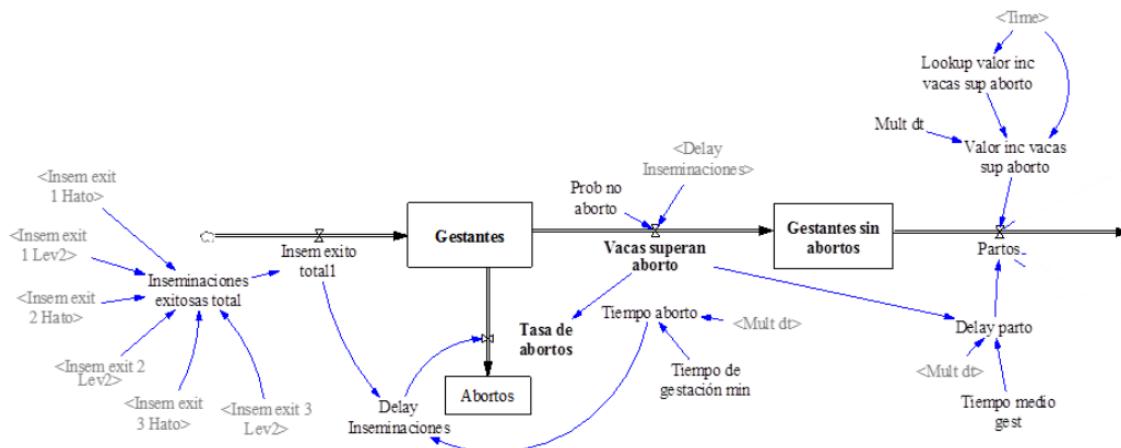


Figura 28. Diagrama de Forrester para gestación
Fuente: Ospina Garzón (2015)

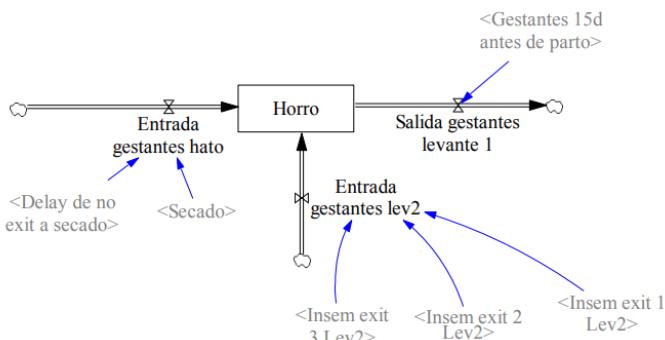


Figura 29. Diagrama de Forrester vacas preñadas y vacas secas (horro)

Fuente: Ospina Garzón (2015)

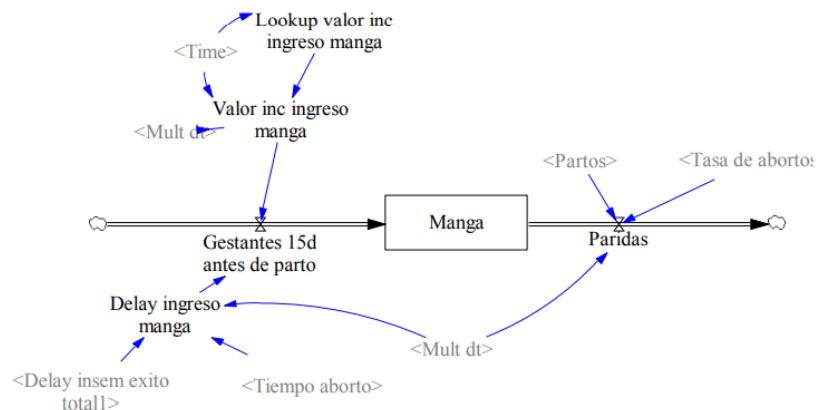


Figura 30. Diagrama de Forrester vacas con 8 días pre y post parto (manga)

Fuente: Ospina Garzón (2015)

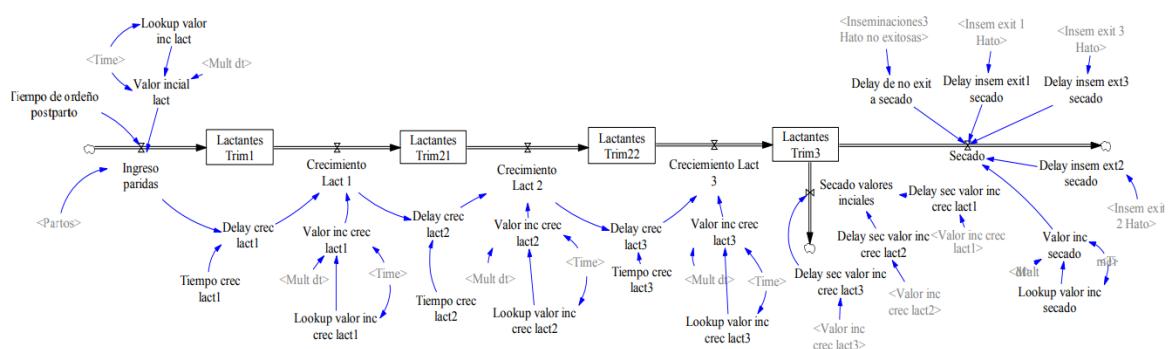


Figura 31. Diagrama de Forrester lactancia

Fuente: Ospina Garzón (2015)

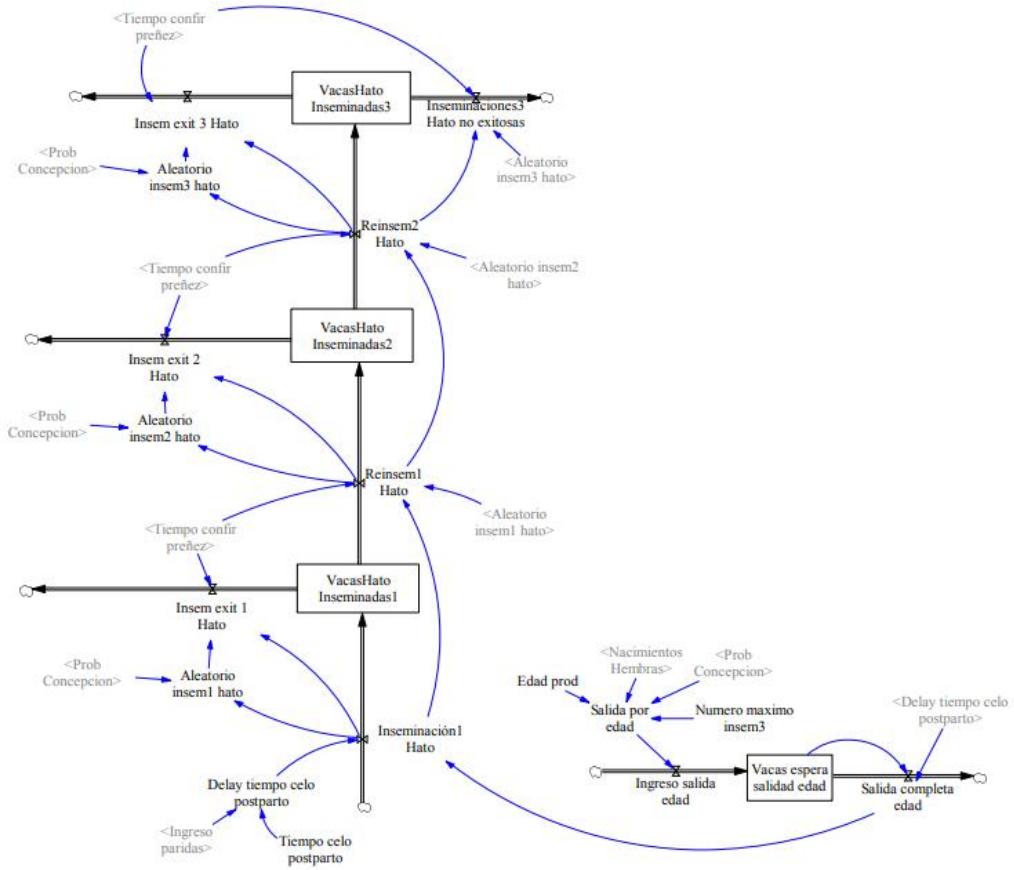


Figura 32. Diagrama de Forrester para reproducción post lactancia
Fuente: Ospina Garzón (2015)

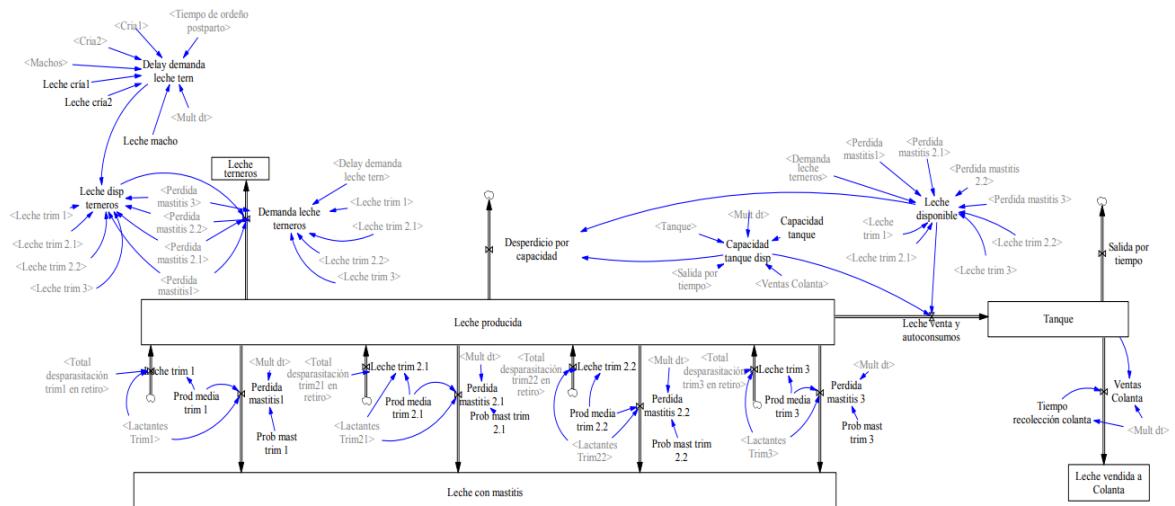


Figura 33. Diagrama de Forrester producción de leche
Fuente: Ospina Garzón (2015)

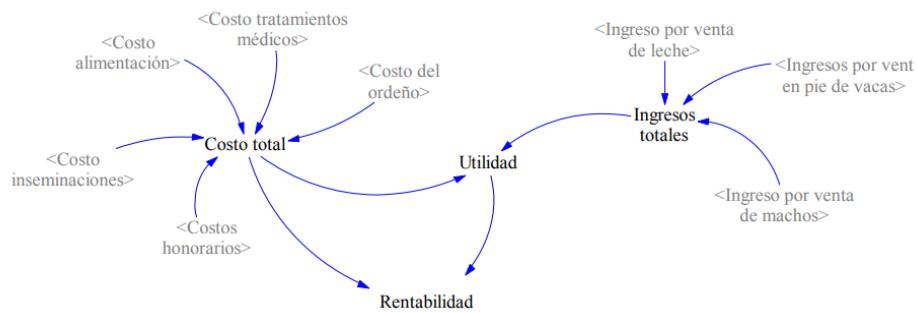


Figura 34. Diagrama de Forrester evaluación económico
Fuente: Ospina Garzón (2015)

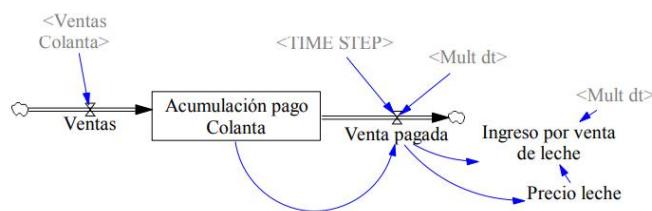


Figura 35. Diagrama de Forrester ingresos por venta de leche
Fuente: Ospina Garzón (2015)

Herramientas utilizadas: SPSS, Excel, StatFit y Vensim PLE.

Decisiones que apoyan: Mantener el nivel de producción actual dentro de la finca o aumentarlo, reduciendo costos de producción y evaluando estrategias reproducción alternativas (Ospina Garzón, 2015).

9. Modelo matemático de la demografía del ganado de un predio del sector de ocho letras

Implementación de la DS: Rincón, Florez, Redondo y Olivar (2015) implementaron la DS como método de representación del sistema ganadero en el predio Laguna Negra localizado en el sector de Ocho Letras, Antioquia; el objetivo era evaluar como el comportamiento de la población de reses influía en la degradación de los recursos naturales.

Método: El estudio se llevó a cabo en cinco fases las cuales permitieron la recolección de datos, tanto como demográficos como de procesos que se realizan en el predio seleccionado; entender la problemática, sus orígenes y consecuencias; formular la hipótesis dinámica que describa la operación del sistema productivo del predio; la

creación del modelo definiendo las variables y relaciones; y, por último, realizar una validación comparando las simulaciones con datos históricos (Rincón, Florez, Redondo, & Olivar, 2015).

Modelo: Rincón, Florez, Redondo y Olivar (2015) en su artículo muestran una parte del modelo de flujos y niveles el cual se muestra en la siguiente figura, donde se considera las etapas fisiológicas de las reses, que según lo afirman, varían anualmente; así como la especificidad de un número de máximo de reses, lo que indica una restricción impuesta en este sentido, para controlar el desgaste de recursos del ecosistema.

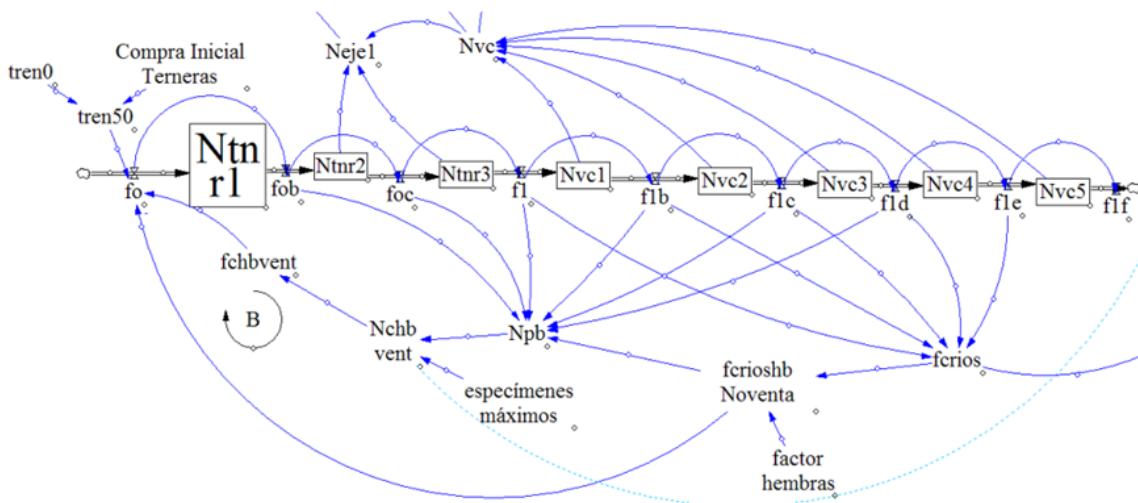


Figura 36. Modelo demográfico de las reses
Fuente: Rincón, Florez, Redondo y Olivar (2015)

- Niveles definidos por Rincón, Florez, Redondo y Olivar (2015):
 - Ntnr1:** Número de Terneras tipo 1 (0 – 1 año)
 - Ntnr2:** Número de Terneras tipo 2 (1 – 2 años)
 - Ntnr3:** Número de Terneras tipo 3 (2 – 3 años)
 - Nve1:** Número de Terneras tipo 1 (3 – 4 años, 1 cría)
 - Nve2:** Número de Terneras tipo 2 (4 – 5 años, 2 crías)
 - Nve3:** Número de Terneras tipo 3 (5 – 6 años, 3 crías)
 - Nve4:** Número de Terneras tipo 4 (6 – 7 años, 4 crías)
 - Nve5:** Número de Terneras tipo 5 (7 – 8 años, 5 crías)
- Algunas variables definidas por Rincón, Florez, Redondo y Olivar (2015):
 - Npb:** Número de prueba futuro
 - Nchb vent:** Número de críos hembra para venta
 - fcrios:** Número de críos macho
 - fcriosb No venta:** Número de críos macho no vendidos.
 - Neje:** Número de ejemplares.
 - Neje1:** Número de ejemplares tipo 1

Herramientas utilizadas: Vensim PLE y Matlab

Decisiones que apoyan: Manejar el número adecuado de reses, previniendo efectos negativos sobre los recursos naturales (Rincón, Florez, Redondo, & Olivar, 2015).

10. SAMI: Serious videogame of bovine cattle farms in Unity supported in System Dynamics.

Implementación de la DS: Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019) implementaron la DS para determinar las reglas de un juego, que tiene como objetivo enseñarle al jugador a tomar buenas decisiones en una granja y de este modo administrarla eficazmente, dichas decisiones tienen que ver con factores que afectan directamente la productividad de una granja, como lo son la raza, la alimentación, los cuidados en salud, la compra y la venta de las reses.

Método: Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019) basaron el desarrollo de su propuesta en un ciclo de retroalimentación de aprendizaje, en el cual, el modelo de simulación daba pie a las interacciones que ocurren dentro del videojuego, que a su vez retroalimenta las decisiones del jugador con información encontrada en la web, facilitando el aprendizaje a cerca del funcionamiento del funcionamiento productivo de una granja.

Modelo: Para el desarrollo del modelo, Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019) tuvieron en cuenta que los sistemas de producción ganaderos generalmente están conformados por cinco componentes: demográfico, biofísico, productivo, financiero y salud; por lo cual, decidieron modelarlo de esta forma.

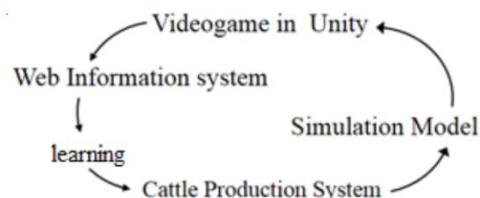


Figura 37. Ciclo de retroalimentación de aprendizaje

Fuente: Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019)

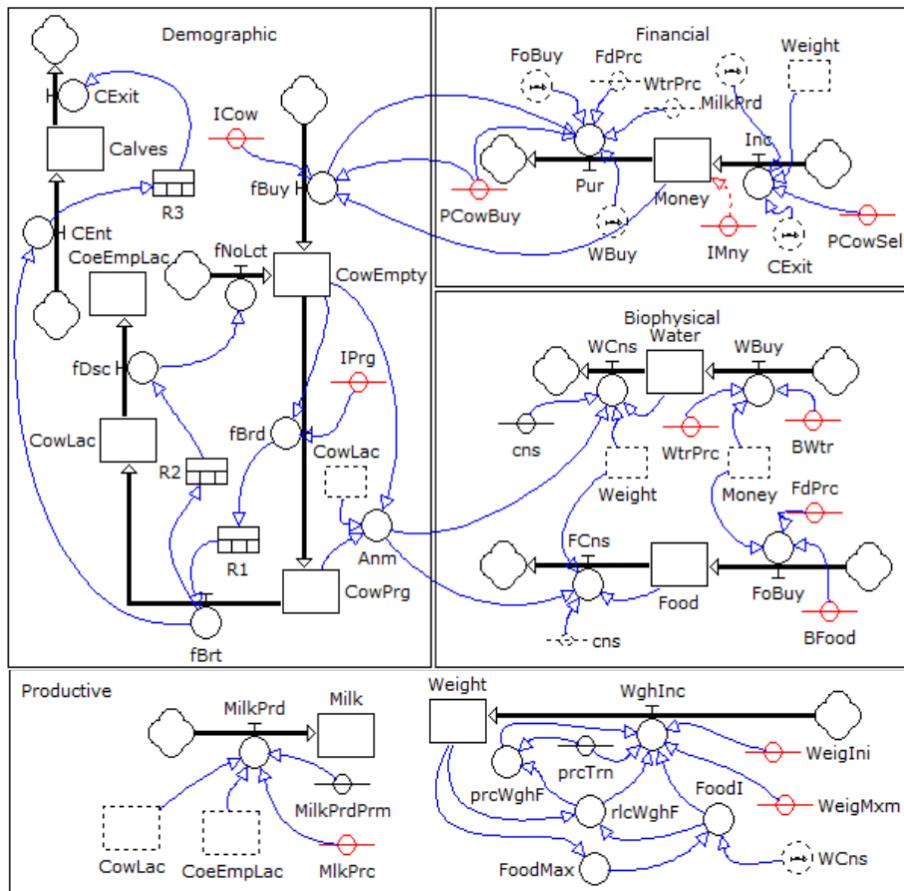


Figura 38. Diagrama de flujos y niveles de SAMI
Fuente: Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019)

Interfaces: El videojuego fue desarrollado en Unity, muestra una finca en 3D. Los jugadores cuentan con un dinero inicial, el cual deberán ir invirtiendo en los ítems que se especifican en el menú del juego y de igual manera tomando decisiones como alimentar, inseminar o vender las reses, para ello se desarrollaron una interfaz interactiva y fácil de entender (Gómez Prada & Gómez Sandoval, 2019).



Figura 39. Interfaz Sami
Fuente: Gómez Prada y Gómez Sandoval (2019)

Decisiones que apoyan: Este videojuego permite decidir acerca la raza que se desea tener; en qué momento y cuanta cantidad de agua y alimento suministrarle; el momento de ordeñarlas; inseminarlas; vacunarlas; y llegado el caso, comprar más reses o venderlas (Gómez Prada & Gómez Sandoval, 2019).

Anexo 5. Consentimiento firmado

CONSENTIMIENTO PARA USO DE INFORMACIÓN PERSONAL E INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL HATO LA HOYADA EL TEJAR

San José de Miranda, Santander, 15 de Mayo de 2020.

Yo, Humberto Rodriguez Barajas, con cédula de ciudadanía número 5747631 de San José de Miranda, dueño y administrador de la Finca la Hoyada el Tejar, mediante este instrumento manifiesto de manera clara y expresa lo siguiente:

Con plena capacidad para este acto, otorgo mi consentimiento a los señores Olga Janeth Rodriguez identificada con cédula de ciudadanía número 1096960026 y Marco Aurelio Luna Gómez identificado con cédula de ciudadanía 1232889543, estudiantes de ingeniería de sistemas en la Universidad Autónoma de Bucaramanga, para que utilicen mi información personal y la del hato ganadero de mi propiedad, para el desarrollo, documentación y difusión de su proyecto de grado.

Firma en conformidad con los términos expresados anteriormente:

Humberto Rodriguez

Humberto Rodriguez Barajas

Administrador hato la Hoyada el Tejar

Anexo 6. Modelo matemático

Niveles modelo poblacional

Nombre del nivel: Terneros en lactancia

Ecuación: $Terneros\ en\ lactancia + ('Nacimiento\ de\ machos'*dt) - ('Destete\ de\ machos'*dt) - ('Muertes\ de\ terneros\ en\ lactancia'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Terneros de levante

Ecuación: $Terneros\ de\ levante + ('Destete\ de\ machos'*dt) + ('Compras\ de\ terneros\ de\ levante'*dt) - ('Muertes\ de\ terneros\ en\ levante'*dt) - ('Pasan\ a\ engorde'*dt) - ('Venta\ terneros\ levante'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Novillos engorde

Ecuación: $Novillos\ engorde + ('Pasan\ a\ engorde'*dt) - ('Muertes\ de\ novillos'*dt) - ('Ventas\ de\ novillos'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Toros sementales

Ecuación: $Toros\ sementales + ('Compra\ de\ toros'*dt) - ('Venta\ de\ toros'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Terneras en lactancia

Ecuación: $Terneras\ en\ lactancia + ('Nacimiento\ de\ hembras'*dt) - ('Destete\ hembras'*dt) - ('Muertes\ de\ terneras\ en\ lactancia'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Terneras en levante

Ecuación: $Terneros\ en\ levante + ('Destete\ hembras'*dt) + ('Compras\ de\ terneras\ en\ levante'*dt) - ('Muertes\ de\ terneras\ en\ levante'*dt) - ('Preñadas'*dt) - ('Ventas\ terneras\ en\ levante'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Novillas preñadas

Ecuación: $Novillas\ preñadas + ('Preñadas'*dt) + ('Compras\ de\ novillas\ preñadas'*dt) - ('Muertes\ de\ novillas'*dt) - ('Novillas\ que\ paren'*dt) - ('Ventas\ de\ novillas\ preñadas'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Vacas de ordeño

Ecuación: $Vacas\ de\ ordeño + ('Novillas\ que\ paren'*dt) + ('Vacadas\ secas\ que\ paren'*dt) - ('Muertes\ de\ vacas\ ordeño'*dt) - ('Secado'*dt)$

Unidades: reses

Nombre del nivel: Vacas secas

Ecuación: $Vacas\ secas + ('Secado'*dt) - ('Muertes\ vacas'*dt) - ('Venta\ de\ vacas'*dt) - ('vacadas\ secas\ que\ paren'*dt)$

Unidades: reses

Niveles modelo financiero

Nombre del nivel: Utilidad de la finca

Ecuación: $Utilidad\ de\ la\ finca + ('Dinero\ por\ venta\ de\ vacas'*dt) + ('Dinero\ por\ la\ venta\ de\ leche'*dt) + ('Dinero\ por\ la\ venta\ de\ terneras\ en\ levante'*dt) + ('Dinero\ por\ la\ venta\ de\ terneros\ en\ levante'*dt) + ('Dinero\ por\ la\ venta\ de\ novillos'*dt) + ('Dinero\ por\ la\ venta\ de\ toros'*dt) + ('Dinero\ por\ la\ venta\ de\ novillas\ preñadas'*dt) - ('Dinero\ por\ la\ compra\ de\ toros'*dt) - ('Dinero\ por\ la\ Compra\ de\ reses\ por\ decisión\ del usuario'*dt) - ('Gastos\ mensuales\ de\ la\ finca'*dt) - ('Vaciado\ anual'*dt)$

Unidades: pesos

Niveles modelo de alimentación

Nombre del nivel: Cantidad de concentrado preparto

Ecuación: $Cantidad\ de\ concentrado\ preparto + ('Compra\ de\ concentrado\ preparto\ mensual'*dt) - ('Consumo\ de\ concentrado\ preparto\ diario'*dt)$

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Cantidad de concentrado Masleche

Ecuación: $Cantidad\ de\ concentrado\ Masleche + ('Compra\ de\ concentrado\ Masleche\ mensual'*dt) - ('Consumo\ de\ concentrado\ Masleche\ diario'*dt)$

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Cantidad de concentrado engorde

Ecuación: $Cantidad\ de\ concentrado\ engorde + ('Compra\ de\ concentrado\ engorde\ mensual'*dt) - ('Consumo\ de\ concentrado\ engorde\ diario'*dt)$

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Cantidad de concentrado Manná para terneros en lactancia

Ecuación: *Cantidad de concentrado Manná para terneros en lactancia + ('Compra de concentrado Manná mensual'*dt) – ('Consumo de concentrado Manná diario'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Cantidad de concentrado Sollapro para terneros en levante

Ecuación: *Cantidad de concentrado Sollapro para terneros en levante + ('Compra de concentrado Sollapro mensual'*dt) – ('Consumo de concentrado Sollapro diario'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Peso en Kg pasto Kikuyo total en la finca

Ecuación: *Peso en Kg pasto Kikuyo total en la finca + ('Crecimiento pasto Kikuyo'*dt) – ('Perdida por marchitamiento pasto Kkuyo'*dt) – ('Consumo diario de pasto Kikuyo'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Peso en Kg pasto Trébol rojo total en la finca

Ecuación: *Peso en Kg pasto Trébol rojo total en la finca + ('Crecimiento pasto Trébol rojo'*dt) – ('Perdida por marchitamiento pasto Trébol rojo'*dt) – ('Consumo diario de pasto Trébol rojo'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Peso en Kg pasto Ray Grass total en la finca

Ecuación: *Peso en Kg pasto Ray Grass total en la finca + ('Crecimiento pasto Ray Grass'*dt) – ('Perdida por marchitamiento pasto Ray Grass'*dt) – ('Consumo diario de pasto Ray Grass'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Peso en Kg pasto Falsa Poa total en la finca

Ecuación: *Peso en Kg pasto Falsa Poa total en la finca + ('Crecimiento pasto Falsa Poa'*dt) – ('Perdida por marchitamiento pasto Falsa Poa'*dt) – ('Consumo diario de pasto Falsa Poa'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Peso en Kg pasto Elefante total en la finca

Ecuación: *Peso en Kg pasto Elefante total en la finca + ('Crecimiento pasto Ray Elefante'*dt) – ('Perdida por marchitamiento pasto Elefante'*dt) – ('Consumo diario de pasto Elefante'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Nombre del nivel: Peso en Kg pasto Imperial total en la finca

Ecuación: *Peso en Kg pasto Imperial total en la finca + ('Crecimiento pasto Imperial'*dt) – ('Perdida por marchitamiento pasto Imperial'*dt) – ('Consumo diario de pasto Imperial'*dt)*

Unidades: Kilogramos

Flujos modelo poblacional

Nombre del flujo: Nacimiento de machos

Ecuación: *'Probabilidad de nacer ternero'*Nacimientos*

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muerte de terneros en lactancia

Ecuación: *'Tasa de mortalidad machos'*'Terneros en lactancia'*

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Destete de machos

Ecuación: *'Terneros en lactancia'/'Tiempo en lactancia'*

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Venta terneros levante

Ecuación: *IF('Realizar venta'= TRUE;IF('Cantidad de terneros a vender'>0 <<res>> AND 'Cantidad de terneros a vender'<= 'Terneros de Levante';'Cantidad de terneros a vender'/1<<dia>>;'Tasa de venta terneros levante'*'Terneros de Levante');'Tasa de venta terneros levante'*'Terneros de Levante')*

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Compra de terneros de levante

Ecuación: *IF('Indicador de orden de compra'=TIME;'Cantidad de terneros en levante a comprar'/1<<dia>>;0<<res/dia>>)*

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muerte de terneras en levante

Ecuación: *'Terneros de Levante'*'Tasa de mortalidad machos'*

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Pasan a engorde

Ecuación: *'Terneros de Levante'/'Tiempo en levante'*

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Venta de novillos

Ecuación: $IF('Realizar venta' = TRUE; IF('Cantidad de novillos a vender' > 0 <<res>> AND 'Cantidad de novillos a vender' \leq 'Novillos engorde'; 'Cantidad de novillos a vender' / 1 <<dia>>; 'Novillos engorde' / 'Tiempo en engorde'); 'Novillos engorde' / 'Tiempo en engorde')$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muerte de novillos

Ecuación: $'Novillos engorde' * 'Tasa de mortalidad machos'$

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Compra de toros

Ecuación: $IF(TIME = 'Próxima fecha de compra'; 'Cantidad de toros adquiridos para reemplazo' / 1 <<dia>>; IF('Indicador de orden de compra' = TIME; 'Cantidad de toros a comprar por decisión del usuario' / 1 <<dia>>; 0 <<res/dia>>))$

Unidades: reses/día

Nombre del flujo: Venta de toros

Ecuación: $IF('Realizar venta' = TRUE; IF('Cantidad de toros a vender' > 0 <<res>> AND 'Cantidad de toros a vender' \leq 'Toros sementales'; 'Cantidad de toros a vender' / 1 <<dia>>; IF(TIME = 'Próxima fecha de venta'; 'Toros sementales' * 'Tasa de venta de toros'; 0 <<res/dia>>)); IF(TIME = 'Próxima fecha de venta'; 'Toros sementales' * 'Tasa de venta de toros'; 0 <<res/dia>>))$

Unidades: reses/día

Nombre del flujo: Nacimiento de hembras

Ecuación: $'Probabilidad de nacer ternera' * 'Nacimientos'$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muertes de terneras en lactancia

Ecuación: $'Tasa de mortalidad hembras' * 'Terneras en lactancia'$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Destete hembras

Ecuación: $'Terneras en lactancia' / 'Tiempo en lactancia'$

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Ventas terneras en levante

Ecuación: $IF('Realizar venta' = TRUE; IF('Cantidad de terneras a vender' > 0 <<res>> AND 'Cantidad de terneras a vender' \leq 'Terneras en levante'; 'Cantidad de terneras a vender') / 1 <<dia>>; ('Terneras en levante') / 'Tiempo para pasar a primera monta'); ('Terneras en levante') / 'Tiempo para pasar a primera monta')$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Compras de terneras en levante

Ecuación: $IF('Indicador de orden de compra' = TIME; 'Cantidad de terneras en levante a comprar') / 1 <<dia>>; 0 <<res/dia>>$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muertes de terneras de levante

Ecuación: $'Tasa de mortalidad hembras' * 'Terneras en levante'$

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Preñadas

Ecuación: $'Cantidad de terneras que se dejan para reemplazar vacas viejas' / 'Tiempo para pasar a primera monta'$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Ventas de novillas preñadas

Ecuación: $IF('Realizar venta' = TRUE; IF('Cantidad de novillas a vender' > 0 <<res>> AND 'Cantidad de novillas a vender' \leq 'Novillas preñadas'; 'Cantidad de novillas a vender') / 1 <<dia>>; 'Tasa de venta novillas preñadas' * 'Novillas preñadas'); 'Tasa de venta novillas preñadas' * 'Novillas preñadas')$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muertes de novillas

Ecuación: $'Tasa de mortalidad hembras' * 'Novillas preñadas'$

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Compra de novillas preñadas

Ecuación: $IF('Indicador de orden de compra' = TIME; 'Cantidad de novillas preñadas a comprar') / 1 <<dia>>; 0 <<res/dia>>$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Novillas que paren

Ecuación: $'Novillas preñadas' / 'Duración de la gestación'$

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muertes de vacas de ordeño

Ecuación: '*Tasa de mortalidad hembras*'*'Vacas de ordeño'

Unidades: reses/year

Nombre del flujo: Secado

Ecuación: '*Vacas de ordeño*'/'*Tiempo en lactancia*'

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Vacas secas que paren

Ecuación: '*Vacas secas*'/'*Tiempo para volver a dar a luz*'

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Venta de vacas

Ecuación: *IF('Realizar venta'= TRUE;IF('Cantidad de vacas secas a vender'>0 <<res>> AND 'Cantidad de vacas secas a vender'<= 'Vacas secas';'Cantidad de vacas secas a vender'/1<<dia>>;Preñadas);Preñadas)*

Unidades: reses/mes

Nombre del flujo: Muerte de vacas

Ecuación: '*Tasa de mortalidad hembras*'*'Vacas secas'

Unidades: reses/year

Flujos modelo financiero

Nombre del flujo: Dinero por la venta de terneros en levante

Ecuación: '*Peso total en Kg terneros levante vendidos*'*'*Precio por kg de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la venta de novillos

Ecuación: '*Peso total en Kg de novillos vendidos*'*'*Precio por kg de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la venta de toros

Ecuación: '*Peso total en Kg de toros vendidos*'*'*Precio por kg de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la compra de toros

Ecuación: '*Peso total en Kg de toros comprados*'*'*Precio de compra por kilogramo de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la venta de terneras en levante

Ecuación: '*Peso total en Kg de terneras levante vendidas*'*'*Precio por kg de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la venta de novillas preñadas

Ecuación: '*Peso total en Kg de novillas preñadas vendidas*'*'*Precio por kg de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la venta de vacas

Ecuación: '*Peso total en Kg de vacas vendidas*'*'*Precio por kg de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Dinero por la venta de leche

Ecuación: '*Valor de un litro de leche*'*'*Litros totales de leche*'

Unidades: pesos/día

Nombre del flujo: Dinero por la compra de reses por decisión del usuario

Ecuación: ('*Peso vivo total novillas preñadas compradas*'+'*Peso vivo total terneras levante compradas*'+'*Peso vivo total terneros en levante comprados*')*'*Precio de compra por kilogramo de peso vivo*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Gastos mensuales de la finca

Ecuación: '*Dinero por compra de concentrados*'+'*Dinero por compra de sales*'+'*Otros suministros*'+'*Servicio de luz*'+'*Salarios de trabajadores fijos*'+'*Salario de trabajadores extras*'

Unidades: pesos/mes

Nombre del flujo: Vaciado anual

Ecuación: $IF(TIME \ MOD \ 1 = 0; 'Utilidad \ de \ la \ Finca' * 'Pasos \ de \ simulación' * 'Tasa \ de \ vaciado'; 'Utilidad \ de \ la \ Finca' * 0 * 'Tasa \ de \ vaciado')$

Unidades: pesos/year

Flujos modelo de alimentación

Flujos de submodelo de concentrados

Nombre del flujo: Compra de concentrado preparto mensual

Ecuación: $IF('Día \ y \ mes \ de \ simulación \ actual \ en \ años' \ MOD \ 0,082 < 0,00220; 'Concentrado \ preparto \ requerido \ por \ día' * 30; 'Concentrado \ preparto \ requerido \ por \ día' * 0)$

Unidades: kilogramos/mes

Nombre del flujo: Consumo de concentrado preparto diario

Ecuación: $IF('Cantidad\ de\ concentrado\ preparto' \leq 'Cantidad\ de\ concentrado\ preparto') * 0; 0 * 'Concentrado\ preparto\ requerido\ por\ dia'; IF('Concentrado\ preparto\ requerido\ por\ dia' > 'Cantidad\ de\ concentrado\ preparto') / 1 <<dia>>; 'Cantidad\ de\ concentrado\ preparto' / 1 <<dia>>; 'Concentrado\ preparto\ requerido\ por\ dia')$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Compra de concentrado Masleche mensual

Ecuación: $IF('Día\ y\ mes\ de\ simulación\ actual\ en\ años' MOD 0,082 < 0,00220; 'Concentrado\ Masleche\ requerido\ por\ dia' * 30; 'Concentrado\ Masleche\ requerido\ por\ dia' * 0)$

Unidades: kilogramos/mes

Nombre del flujo: Consumo de concentrado Masleche diario

Ecuación: $IF('Cantidad\ de\ concentrado\ Masleche' \leq 'Cantidad\ de\ concentrado\ Masleche') * 0; 0 * 'Concentrado\ Masleche\ requerido\ por\ dia'; IF('Concentrado\ Masleche\ requerido\ por\ dia' > 'Cantidad\ de\ concentrado\ Masleche') / 1 <<dia>>; 'Cantidad\ de\ concentrado\ Masleche' / 1 <<dia>>; 'Concentrado\ Masleche\ requerido\ por\ dia')$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Compra de concentrado engorde mensual

Ecuación: $IF('Día\ y\ mes\ de\ simulación\ actual\ en\ años' MOD 0,082 < 0,00220; 'Concentrado\ engorde\ requerido\ por\ dia' * 30; 'Concentrado\ engorde\ requerido\ por\ dia' * 0)$

Unidades: kilogramos/mes

Nombre del flujo: Consumo de concentrado engorde diario

Ecuación: $IF('Cantidad\ de\ concentrado\ engorde' \leq 'Cantidad\ de\ concentrado\ engorde') * 0; 0 * 'Concentrado\ engorde\ requerido\ por\ dia'; IF('Concentrado\ engorde\ requerido\ por\ dia' > 'Cantidad\ de\ concentrado\ engorde') / 1 <<dia>>; 'Cantidad\ de\ concentrado\ engorde' / 1 <<dia>>; 'Concentrado\ engorde\ requerido\ por\ dia')$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Compra de concentrado Manná mensual

Ecuación: $IF('Día\ y\ mes\ de\ simulación\ actual\ en\ años' MOD 0,082 < 0,00220; 'Concentrado\ Manná\ requerido\ por\ dia' * 30; 'Concentrado\ Manná\ requerido\ por\ dia' * 0)$

Unidades: kilogramos/mes

Nombre del flujo: Consumo de concentrado Manná diario

Ecuación: $IF('Cantidad\ de\ concentrado\ Manná\ para\ terneros\ en\ lactancia' \leq 'Cantidad\ de\ concentrado\ Manná\ para\ terneros\ en\ lactancia') * 0; 0 * 'Concentrado\ Manná\ requerido\ por\ día'; IF('Concentrado\ Manná\ requerido\ por\ día' > 'Cantidad\ de\ concentrado\ Manná\ para\ terneros\ en\ lactancia') / 1 <<dia>>; 'Cantidad\ de\ concentrado\ Manná\ para\ terneros\ en\ lactancia' / 1 <<dia>>; 'Concentrado\ Manná\ requerido\ por\ día')$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Compra de concentrado Sollapro mensual

Ecuación: $IF('Día\ y\ mes\ de\ simulación\ actual\ en\ años' MOD 0,082 < 0,00220; 'Concentrado\ Sollapro\ requerido\ por\ día' * 30; 'Concentrado\ Sollapro\ requerido\ por\ día' * 0)$

Unidades: kilogramos/mes

Nombre del flujo: Consumo de concentrado Sollapro diario

Ecuación: $IF('Cantidad\ de\ concentrado\ Sollapro\ para\ terneros\ levante' \leq 'Cantidad\ de\ concentrado\ Sollapro\ para\ terneros\ levante') * 0; 0 * 'Concentrado\ Sollapro\ requerido\ por\ día'; IF('Concentrado\ Sollapro\ requerido\ por\ día' > 'Cantidad\ de\ concentrado\ Sollapro\ para\ terneros\ levante') / 1 <<dia>>; 'Cantidad\ de\ concentrado\ Sollapro\ para\ terneros\ levante' / 1 <<dia>>; 'Concentrado\ Sollapro\ requerido\ por\ día')$

Unidades: kilogramos/día

Flujos del submodelo de pastos

Nombre del flujo: Crecimiento pasto Kikuyo

Ecuación: $'Crecimiento\ en\ peso\ diario\ por\ área\ de\ pasto\ Kikuyo' * 'Área\ cubierta\ por\ pasto\ Kikuyo' * 'Coeficiente\ climático'$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Consumo diario de pasto Kikuyo

Ecuación: $'Pasto\ total\ requerido\ en\ Kg\ diariamente' * 'Porcentaje\ cubierto\ por\ pasto\ Kikuyo'$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Perdida por marchitamiento pasto Kikuyo

Ecuación: $'Peso\ en\ Kg\ pasto\ kikuyo\ total\ en\ la\ finca' * 'Tasa\ de\ pérdida\ de\ pasto\ por\ marchitamiento'$

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Crecimiento pasto Trébol rojo

Ecuación: '*Área cubierta por pasto Trébol rojo*'*'*Crecimiento en peso diario por área de pasto Trébol rojo*'*'*Coeficiente climático*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Consumo diario de pasto Trébol rojo

Ecuación: '*Pasto total requerido en Kg diariamente*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Trébol rojo*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Perdida por marchitamiento pasto Trébol rojo

Ecuación: '*Peso en Kg pasto Trébol rojo total en la finca*'*'*Tasa de pérdida de pasto por marchitamiento*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Crecimiento pasto Ray Grass

Ecuación: '*Área cubierta por pasto Ray Grass*'*'*Crecimiento en peso diario por área de pasto Ray Grass*'*'*Coeficiente climático*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Consumo diario de pasto Ray Grass

Ecuación: '*Pasto total requerido en Kg diariamente*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Ray Grass*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Perdida por marchitamiento pasto Ray Grass

Ecuación: '*Peso en Kg pasto Ray Grass total en la finca*'*'*Tasa de pérdida de pasto por marchitamiento*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Crecimiento pasto Falsa poa

Ecuación: '*Área cubierta por pasto Falsa Poa*'*'*Crecimiento en peso diario por área de pasto Falsa Poa*'*'*Coeficiente climático*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Consumo diario de pasto Falsa poa

Ecuación: '*Pasto total requerido en Kg diariamente*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Falsa Poa*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Perdida por marchitamiento pasto Falsa poa

Ecuación: '*Peso en Kg pasto Falsa Poa total en la finca*'*'*Tasa de pérdida de pasto por marchitamiento*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Crecimiento pasto Elefante

Ecuación: '*Área cubierta por pasto Elefante*'*'*Crecimiento en peso diario por área de pasto Elefante*'*'*Coeficiente climático*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Consumo diario de pasto Elefante

Ecuación: '*Pasto total requerido en Kg diariamente*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Elefante*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Perdida por marchitamiento pasto Elefante

Ecuación: '*Peso en Kg pasto Elefante total en la finca*'*'*Tasa de pérdida de pasto por marchitamiento*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Crecimiento pasto Imperial

Ecuación: '*Área cubierta por pasto Imperial*'*'*Crecimiento en peso diario por área de pasto Imperial*'*'*Coeficiente climático*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Consumo diario de pasto Imperial

Ecuación: '*Pasto total requerido en Kg diariamente*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Imperial*'

Unidades: kilogramos/día

Nombre del flujo: Perdida por marchitamiento pasto Imperial

Ecuación: '*Peso en Kg pasto Imperial total en la finca*'*'*Tasa de pérdida de pasto por marchitamiento*'

Unidades: kilogramos/día

Variables modelo poblacional

Nombre de la variable: Probabilidad de nacer ternero

Valor: 57,142

Unidades: %

Nombre de la variable: Probabilidad de nacer ternera

Ecuación: *100%-'Probabilidad de nacer ternero'*

Unidades: %

Nombre de la variable: Tasa de mortalidad machos

Valor: *0,44*

Unidades: %/year

Nombre de la variable: Tasa de mortalidad hembras

Valor: *0,25*

Unidades: %/year

Nombre de la variable: Tiempo en lactancia

Valor: *6*

Unidades: mes

Nombre de la variable: Tasa de venta terneros levante

Valor: *90*

Unidades: %/year

Nombre de la variable: Peso total en Kg terneros levante vendidos

Ecuación: *'Peso promedio de un ternero en levante Kg'*'Venta terneros levante'*

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Peso promedio de un ternero en levante Kg

Valor inicial: *200*

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Cantidad de terneros a vender

Valor inicial: *0*

Unidades: res

Nombre de la variable: Realizar venta

Ecuación: *IF('Indicador de orden de venta'=TIME; TRUE; FALSE)*

Unidades: -

Nombre de la variable: Indicador de orden de venta (Variable de la interfaz)

Valor inicial: *o*

Unidades: year

Nombre de la variable: Indicador de orden de Compra (Variable de la interfaz)

Valor inicial: *o*

Unidades: year

Nombre de la variable: Cantidad de terneros en levante a comprar

Valor inicial: *0*

Unidades: res

Nombre de la variable: Peso vivo total terneros levante comprados

Ecuación: '*Compras de terneros de levante*'*'*Peso promedio de terneros levante comprados*'

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Peso promedio de terneros levante comprados

Valor inicial: *200*

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Peso promedio de terneras levante compradas

Valor inicial: *200*

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Peso vivo total terneras levante compradas

Ecuación: '*Peso promedio de terneras levante compradas*'*'*Compras de terneras en levante*'

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Cantidad de terneras en levante a comprar

Valor inicial: *0*

Unidades: res

Nombre de la variable: Peso total en Kg terneras levante vendidas

Ecuación: '*Peso promedio de una ternera en levante kg*'*'*Vetas terneras en levante*'

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Peso promedio de una terneroa en levante Kg

Valor inicial: *200*

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Cantidad de terneras a vender

Valor inicial: *0*

Unidades: res

Nombre de la variable: Cantidad de terneras que se dejan para reemplazar vacas viejas

Valor: 3

Unidades: res

Nombre de la variable: Tiempo en levante

Ecuación: $IF('Indicador de consumo concentrado Sollapro'=0;18 <<mes>>;15,36<<mes>>)$

Unidades: mes

Nombre de la variable: Tiempo para pasar a primera monta

Ecuación: $IF('Indicador de consumo concentrado Sollapro'=0;14<<mes>>;11,36<<mes>>)$

Unidades: mes

Nombre de la variable: Vector peso promedio de novillos

Valor: {450;720;530;400}

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: peso promedio de un novillo Kg

Ecuación: $LOOKUP('Vector peso promedio de novillos';'Id Raza')$

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: peso total en Kg de novillos vendidos

Ecuación: $'Peso promedio de un novillo Kg'*'Ventas de novillos'$

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Cantidad de novillos a vender

Valor inicial: o

Unidades: res

Nombre de la variable: Tiempo en engorde

Ecuación: $LOOKUP('Vector tiempo en engorde';'Id Raza')$

Unidades: mes

Nombre de la variable: Vector tiempo en engorde

Valor: {12;7,5;12;15}

Unidades: mes

Nombre de la variable: Id raza (Variable de la interfaz)

Valor inicial: 1

Unidades: -

Nombre de la variable: Peso promedio de una novilla preñada comprada

Valor inicial: 420

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Peso vivo total novillas preñadas compradas

Ecuación: '*Compras de novillas preñadas*'*'Peso promedio de una novilla preñada compradas'

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Cantidad de novillas preñadas a comprar

Valor inicial: 0

Unidades: res

Nombre de la variable: Tasa de venta novillas preñadas

Valor inicial: 0

Unidades: %/year

Nombre de la variable: Cantidad de novillas a vender

Valor inicial: 0

Unidades: res

Nombre de la variable: Peso total en Kg de novillas preñadas vendidas

Ecuación: '*Ventas de novillas preñadas*'*'Peso promedio de una novilla preñada Kg'

Unidades: kilogramos/mes

Nombre de la variable: Peso promedio de una novilla preñada Kg

Valor: 420

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Duración de la gestación

Valor: 9

Unidades: mes

Nombre de la variable: Nacimientos

Ecuación: '*vacas secas que paren*'+'*Novillas que paren*'

Unidades: res/mes

Nombre de la variable: Promedio de litros de leche por vaca diarios

Ecuación: *LOOKUP('Vector litros de leche';'Id Raza')*

Unidades: litros/res/día

Nombre de la variable: Vector litros de leche

Valor: {14,2;9,3;18;25}

Unidades: litros/res/día

Nombre de la variable: Litros totales de leche

Ecuación: '*Vacas de ordeño*'*'*Promedio de litros de leche por vaca diarios*'+'*Cantidad de leche no consumida por terneros que consumen Manná*'

Unidades: litros/día

Nombre de la variable: Cantidad de leche no consumida por terneros que consumen Manná

Ecuación: '*Concentrado Manná requerido por día*'*4 <<*litro*>> / 1<<*kilogramo*>>

Unidades: litros/día

Nombre de la variable: Tiempo para volver a dar a luz

Valor: 6

Unidades: mes

Nombre de la variable: Cantidad de vacas secas a vender

Valor inicial: 0

Unidades: res

Nombre de la variable: Peso promedio de una vaca seca en Kg

Valor: 350

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Peso total en Kg de vacas vendidas

Ecuación: '*Peso promedio de una vaca seca en Kg*'*'*Venta de vacas*'

Unidades: kilogramos/mes

Variables del submodelo de toros sementales

Nombre de la variable: Indicador de venta realizada

Ecuación: $IF(TIME=STARTTIME+Timestep \quad OR \quad TIME='Próxima \ fecha \ de \ compra'+Timestep, TRUE; FALSE)$

Unidades: -

Nombre de la variable: Posible fecha de compra

Ecuación: '*Próxima fecha de venta*'+'*Tiempo de demora entre la venta de toros antiguos y la compra de toros nuevos*'

Unidades: year

Nombre de la variable: próxima fecha de compra

Valor inicial: 0

Unidades: year

Nombre de la variable: Posible fecha de venta

Ecuación: $(ROUND(NORMAL(1085<<dias>>;25<<dias>>);1<<dia>>))+TIME$

Unidades: year

Nombre de la variable: Proxima fecha de venta

Valor inicial: 0

Unidades: year

Nombre de la variable: Tiempo de demora entre la venta de toros antiguos y la compra de toros nuevos

Ecuación: $ABS(ROUND(NORMAL(2,3333<<dias>>;2,5166<<dias>>);1<<dia>>))$

Unidades: día

Nombre de la variable: Tasa de venta de toros

Valor: 100

Unidades: %/día

Nombre de la variable: Cantidad de toros a vender

Valor inicial: 0

Unidades: res

Nombre de la variable: Peso promedio de un toro en Kg

Valor: 780

Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Peso total en Kg de toros vendidos
Ecuación: '*Venta de toros*'*'Peso promedio de un toro en Kg'
Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Peso promedio de un toro comprado
Valor inicial: 720
Unidades: kilogramos/res

Nombre de la variable: Peso total en Kg de toros comprados
Ecuación: '*Compra de toros*'*'Peso promedio de un toro comprado'
Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Cantidad de toros adquiridos para reemplazo
Valor inicial: 2
Unidades: res

Nombre de la variable: Indicador de cambio en el número de toros con los que se trabaja
Ecuación: *IF('Toros sementales'>0<<res>> AND ('Cantidad de toros adquiridos para reemplazo'='Toros sementales'=FALSE);TRUE;FALSE)*
Unidades: -

Variables modelo financiero

Nombre de la variable: Precio por Kg de peso vivo
Valor inicial: 4000
Unidades: pesos/kilogramo

Nombre de la variable: Dinero egresado por la compra de toros
Ecuación: '*Dinero por la compra de toros*'/30,1666667
Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Dinero ingresado por la venta de los toros
Ecuación: '*Dinero por la venta de toros*'/30,41666667
Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Precio por Kg de peso vivo
Valor inicial: 900
Unidades: pesos/litro

Nombre de la variable: Pasos de simulación

Ecuación: $1/TIMESTEP$

Unidades: -

Nombre de la variable: Tasa de vaciado

Valor: 100

Unidades: %/year

Nombre de la variable: Precio de compra por kilogramo de peso vivo

Valor inicial: 4000

Unidades: pesos/kilogramo

Nombre de la variable: Indicador de compra de otros suministros

Valor inicial: 0

Unidades: year

Nombre de la variable: Precio fumigo

Valor inicial: 17000

Unidades: pesos/fumigo

Nombre de la variable: Cantidad de fumigos a comprar

Valor inicial: 0

Unidades: fumigo

Nombre de la variable: Cantidad desparasitante

Valor inicial: 0

Unidades: desparasitante

Nombre de la variable: Precio desparasitantes

Valor inicial: 20000

Unidades: pesos/desparasitantes

Nombre de la variable: Cantidad otros insumos

Valor inicial: 0

Unidades: -

Nombre de la variable: Precio desparasitantes

Valor inicial: 0

Unidades: pesos

Nombre de la variable: Otros suministros

Ecuación: $IF('Indicador compra de otros suministros' = TIME; (('Cantidad Fumigos a comprar')/1<<dia>>) * 'Precio Fumigos') + (('Cantidad desparasitante')/1<<dia>>) * 'Precio desparasitantes') + (('Cantidad otros insumos')/1<<dia>>) * 'Precios otros insumos'); 50000 <<peso/mes>>)$

Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Dinero por compra de sales

Valor inicial: 50000

Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Dinero por compra de concentrados

Ecuación: 'Dinero por compra de concentrados Masleche' + 'Dinero por compra de concentrados engorde' + 'Dinero por compra de concentrados preparto' + 'Dinero por compra de concentrados Manná' + 'Dinero por compra de concentrados Sollapro'

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Servicio de luz

Valor inicial: 15000

Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Salarios de trabajadores fijos

Ecuación: 'Número de trabajadores fijos' * 'Precio a pagar por día a un trabajador'

Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Número de trabajadores fijos

Valor inicial: 2

Unidades: trabajador

Nombre de la variable: Precio a pagar por día a un trabajador

Valor: 25000

Unidades: peso/día/trabajador

Nombre de la variable: Salarios de trabajadores extras

Ecuación: $IF('Indicador de contrato de trabajadores extra' + ('Número de jornales extra') * (1/365)) = TIME; ('Trabajadores extra') * 'Número de jornales extra' * 'Precio a pagar por dia a trabajador extra'); 0 <<peso/dia>>)$

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Número de jornales extra

Valor inicial: 0

Unidades: -

Nombre de la variable: Trabajadores extra

Valor inicial: 0

Unidades: trabajador

Nombre de la variable: Indicador de contrato de trabajadores extra

Valor inicial: 0

Unidades: year

Nombre de la variable: Precio a pagar por día a trabajador extra

Valor inicial: 25000

Unidades: peso/día/trabajador

Nombre de la variable: Dinero egresado por contrato de trabajadores extras

Ecuación: '*Salario de trabajadores extras*'/30,41666667

Unidades: pesos/mes

Nombre de la variable: Impuestos

Valor: 126632

Unidades: pesos/year

Nombre de la variable: Compra de guías de movilización

Ecuación: $7080 * (\text{Ventas de novillos} + \text{ventas de terneras en levante} + \text{ventas de terneros en levante} + \text{venta de toros} + \text{venta de vacas} + \text{venta de novillas preñadas})$

Unidades: pesos/mes

Variables modelo de alimentación

Nombre de la variable: Cantidad de concentrado que se suministra diariamente a cada res

Valor: 0,5

Unidades: kilogramo/res/día

Nombre de la variable: Porcentaje de pasto requerido por día

Valor: 10

Unidades: %/día

Nombre de la variable: Porcentaje de materia seca presente en el pasto

Valor: 0 o 1 (*depende de la selección del usuario*)

Unidades: -

Nombre de la variable: Indicador de modelo real o sugerido

Valor: 10

Unidades: %/día

Nombre de la variable: Valor de un kilogramo de concentrado

Valor: 1500

Unidades: pesos/kilogramo

Nombre de la variable: Día y mes de simulación actual en años

Ecuación: $TIME-(TRUNC(TIME;1;0))$

Unidades: year

Nombre de la variable: Tasa de perdida de pasto por marchitamiento

Valor: 0,001

Unidades: %/día

Nombre de la variable: Área total pastizales

Valor: 6,25

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Pasto total requerido en kg diariamente

Ecuación: '*Peso vivo total en Kg*'*'*Porcentaje de pasto requerido por dia*'

Unidades: Kilogramos/día

Nombre de la variable: Coeficiente climático

Ecuación: $IF(0 <= 'Día y mes de simulación actual en años' \text{ AND } 'Día y mes de simulación actual en años' <= 0,2219178082 \text{ OR } 'Día y mes de simulación actual en años' > 0,9150684932; 0,9; 1)$

Unidades: -

Nombre de la variable: Peso vivo total en Kg

Ecuación: '*Peso vivo total novillas preñadas*'+'*Peso vivo total novillos engorde*'+'*Peso vivo total terneras en lactancia*'+'*Peso vivo total terneras en levante*'+'*Peso vivo total terneros de levante*'+'*Peso vivo total terneros en lactancia*'+'*Peso vivo total vacas de ordeño*'+'*Peso vivo total vacas secas*'+'*Peso vivo total toros*'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total terneros en lactancia

Ecuación: '*Terneros en lactancia*'*'Peso promedio de un ternero en lactancia Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total terneros en levante

Ecuación: '*Terneros de Levante*'*'Peso promedio de un ternero en levante Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total novillos engorde

Ecuación: '*Novillos engorde*'*'Peso promedio de un novillo Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total toros

Ecuación: '*Toros sementales*'*'Peso promedio de un toro en Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total vacas secas

Ecuación: '*Vacas secas*'*'Peso promedio de una vaca seca en Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total vacas de ordeño

Ecuación: '*Vacas de ordeño*'*'Peso promedio de una vaca en ordeño Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total novillas preñadas

Ecuación: '*Novillas preñadas*'*'Peso promedio de una novilla preñada Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total terneras en levante

Ecuación: '*Terneras en levante*'*'Peso promedio de una ternera en levante kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso vivo total terneras en lactancia

Ecuación: '*Terneras en lactancia*'*'Peso promedio terneras en lactancia Kg'

Unidades: Kilogramo

Nombre de la variable: Peso promedio de un ternero en lactancia Kg

Valor: 50

Unidades: kilogramo/res

Nombre de la variable: Peso promedio de una vaca en ordeño Kg

Valor: 400

Unidades: kilogramo/res

Nombre de la variable: Peso promedio terneras en lactancia Kg

Valor: 50

Unidades: kilogramo/res

Nombre de la variable: Pasto requerido por reses preñadas

Ecuación: ('Peso vivo total vacas secas'+ 'Peso vivo total novillas preñadas')*'Porcentaje de pasto requerido por dia'

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Materia seca consumida por reses preñadas

Ecuación: 'Pasto requerido por reses preñadas'*'Porcentaje de materia seca presente en el pasto'

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Concentrado preparto requerido por día

Ecuación: IF('Indicador modelo real o sugerido'=0;('Novillas preñadas'+ 'Vacas secas')*'Cantidad de concentrado que se suministra diariamente a cada res';('Materia seca consumida por reses preñadas'*0,3)/0,7)

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Dinero por compra de concentrados preparto

Ecuación: 'Concentrado preparto requerido por día'*'Valor de un kilogramo de concentrado'

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Pasto requerido por vacas de ordeño

Ecuación: 'Peso vivo total vacas de ordeño'*'Porcentaje de pasto requerido por dia'

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Materia seca consumida por vacas de ordeño

Ecuación: 'Pasto requerido por vacas de ordeño'*'Porcentaje de materia seca presente en el pasto'

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Concentrado Masleche requerido por día

Ecuación: $IF('Indicador\ modelo\ real\ o\ sugerido'=0; 'Vacas\ de\ ordeño'*'Cantidad\ de\ concentrado\ que\ se\ suministra\ diariamente\ a\ cada\ res'; ('Materia\ seca\ consumida\ por\ vacas\ de\ ordeño'*0,3)/0,7)$

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Dinero por compra de concentrados Masleche

Ecuación: $'Concentrado\ Masleche\ requerido\ por\ día'*'Valor\ de\ un\ kilogramo\ de\ concentrado'$

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Pasto requerido por novillos de engorde

Ecuación: $'Peso\ vivo\ total\ novillos\ engorde'*'Porcentaje\ de\ pasto\ requerido\ por\ día'$

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Materia seca consumida por novillos de engorde

Ecuación: $'Pasto\ requerido\ por\ novillos\ de\ engorde'*'Porcentaje\ de\ materia\ seca\ presente\ en\ el\ pasto'$

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Concentrado engorde requerido por día

Ecuación: $IF('Indicador\ modelo\ real\ o\ sugerido'=0; 'Novillos\ engorde'*'Cantidad\ de\ concentrado\ que\ se\ suministra\ diariamente\ a\ cada\ res'; ('Materia\ seca\ consumida\ por\ novillos\ de\ engorde'*0,3)/0,7)$

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Dinero por compra de concentrados engorde

Ecuación: $'Concentrado\ engorde\ requerido\ por\ día'*'Valor\ de\ un\ kilogramo\ de\ concentrado'$

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Concentrado Manná de requerido por día

Ecuación: $IF('Indicador\ de\ consumo\ concentrado\ Manná'=0; 0<<\text{kilogramo}/\text{dia}>>; (('Peso\ vivo\ total\ terneras\ en\ lactancia'+ 'Peso\ vivo\ total\ terneros\ en\ lactancia')*0,01)/1<<\text{dia}>>)$

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Dinero por compra de concentrados Manná

Ecuación: $'Concentrado\ Manná\ requerido\ por\ día'*'Valor\ de\ un\ kilogramo\ de\ concentrado'$

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Indicador de consumo de concentrado Manná

Valor: 0 (*depende del usuario*)

Unidades: -

Nombre de la variable: Concentrado Sollapro de requerido por día

Ecuación: *IF('Indicador de consumo concentrado Sollapro'=0;0<<kilogramo/dia>> ; ('Terneras en levante'+'Terneros de Levante')*1<<kilogramo/res/dia>>)*

Unidades: kilogramos/día

Nombre de la variable: Dinero por compra de concentrados Sollapro

Ecuación: *'Concentrado Sollapro requerido por día'*'Valor de un kilogramo de concentrado'*

Unidades: pesos/día

Nombre de la variable: Indicador de consumo de concentrado Sollapro

Valor: 0 (*depende del usuario*)

Unidades: -

Nombre de la variable: Crecimiento en peso diario por área de pasto Kikuyo

Ecuación: *'Peso del pasto Kikuyo en un metro cuadrado listo para consumo'/'Tiempo en crecimiento pasto Kikuyo'*

Unidades: kilogramo/(día*metro²)

Nombre de la variable: Peso del pasto Kikuyo en un metro cuadrado listo para consumo

Valor: 4

Unidades: kilogramo/metro²

Nombre de la variable: Tiempo en crecimiento pasto Kikuyo

Valor: 42

Unidades: día

Nombre de la variable: Área cubierta por pasto Kikuyo

Ecuación: *'Área total pastizales'*'Porcentaje cubierto por pasto Kikuyo'*

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Porcentaje cubierto por pasto kikuyo

Valor: 80

Unidades: %

Nombre de la variable: Crecimiento en peso diario por área de pasto Trébol rojo

Ecuación: '*Peso del pasto Trébol rojo en un metro cuadrado listo para consumo*'/'*Tiempo en crecimiento pasto Trébol rojo*'

Unidades: kilogramo/(día*metro²)

Nombre de la variable: Peso del pasto Trébol rojo en un metro cuadrado listo para consumo

Valor: 2

Unidades: kilogramo/metro²

Nombre de la variable: Tiempo en crecimiento pasto Trébol rojo

Valor: 40

Unidades: día

Nombre de la variable: Área cubierta por pasto Trébol rojo

Ecuación: '*Área total pastizales*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Trébol rojo*'

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Porcentaje cubierto por pasto Trébol rojo

Valor: 7

Unidades: %

Nombre de la variable: Crecimiento en peso diario por área de pasto Ray Grass

Ecuación: '*Peso del pasto Ray Grass en un metro cuadrado listo para consumo*'/'*Tiempo en crecimiento pasto Ray Grass para consumo*'

Unidades: kilogramo/(día*metro²)

Nombre de la variable: Peso del pasto Ray Grass en un metro cuadrado listo para consumo

Valor: 1,5

Unidades: kilogramo/metro²

Nombre de la variable: Tiempo en crecimiento pasto Ray Grass

Valor: 45

Unidades: día

Nombre de la variable: Área cubierta por pasto Ray Grass

Ecuación: '*Área total pastizales*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Ray Grass*'

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Porcentaje cubierto por pasto Ray Grass

Valor: 2

Unidades: %

Nombre de la variable: Crecimiento en peso diario por área de pasto Falsa Poa

Ecuación: '*Peso del pasto Falsa Poa en un metro cuadrado listo para consumo*'/'*Tiempo en crecimiento pasto Falsa Poa para consumo*'

Unidades: kilogramo/(día*metro²)

Nombre de la variable: Peso del pasto Falsa Poa en un metro cuadrado listo para consumo

Valor: 2

Unidades: kilogramo/metro²

Nombre de la variable: Tiempo en crecimiento pasto Falsa Poa

Valor: 120

Unidades: día

Nombre de la variable: Área cubierta por pasto Falsa Poa

Ecuación: '*Área total pastizales*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Falsa Poa*'

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Porcentaje cubierto por pasto Falsa Poa

Valor: 10

Unidades: %

Nombre de la variable: Crecimiento en peso diario por área de pasto Elefante

Ecuación: '*Peso del pasto Elefante en un metro cuadrado listo para consumo*'/'*Tiempo en crecimiento pasto Elefante*'

Unidades: kilogramo/(día*metro²)

Nombre de la variable: Peso del pasto Elefante en un metro cuadrado listo para consumo

Valor: 20

Unidades: kilogramo/metro²

Nombre de la variable: Tiempo en crecimiento pasto Elefante

Valor: 120

Unidades: día

Nombre de la variable: Área cubierta por pasto Elefante

Ecuación: '*Área total pastizales*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Elefante*'

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Porcentaje cubierto por pasto Elefante

Valor: 0,5

Unidades: %

Nombre de la variable: Crecimiento en peso diario por área de pasto Imperial

Ecuación: '*Peso del pasto Imperial por metro cuadrado listo para consumo*'/'*Tiempo en crecimiento pasto Imperial*'

Unidades: kilogramo/(día*metro²)

Nombre de la variable: Peso del pasto Imperial en un metro cuadrado listo para consumo

Valor: 10

Unidades: kilogramo/metro²

Nombre de la variable: Tiempo en crecimiento pasto Imperial

Valor: 100

Unidades: día

Nombre de la variable: Área cubierta por pasto Imperial

Ecuación: '*Área total pastizales*'*'*Porcentaje cubierto por pasto Imperial*'

Unidades: hectárea

Nombre de la variable: Porcentaje cubierto por pasto Imperial

Valor: 0,5

Unidades: %

Variables de simulación

TIMESTEP: 1/365 year

START TIME: 2020

STOPTIME: 2025