

**Alternativas de reconversión de una ganadería tradicional productora de leche en una ganadería sostenible: un estudio de caso en la Sabana de Bogotá**

Maria Paula Urbina Pulido

Tutor: Sebastián Restrepo Calle



Programa de Ecología

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales Pontificia Universidad Javeriana

2020

**Titulo:**

Alternativas de reconversión de una ganadería tradicional productora de leche en una ganadería sostenible: un estudio de caso en la Sabana de Bogotá.

**Pregunta de Investigación:**

¿Cómo cambiaría la ganadería con sistemas especializados de producción de leche en el municipio de Sopó, con la implementación de sistemas de manejo de ganadería sostenible?

**Objetivo General:**

- Determinar las implicaciones en la productividad de leche de diferentes escenarios de manejo de ganadería sostenible en una ganadería tradicional enfocada en la producción de leche en el municipio de Sopó.

**Objetivos específicos:**

- Analizar el funcionamiento de una ganadería mediana (65 cabezas de ganado) enfocada en la producción de leche en el municipio de Sopó.
- Construir e implementar un modelo basado en agentes para entender la respuesta de la producción lechera a diferentes escenarios de prácticas de ganadería sostenible.
- Evaluar los efectos e implicaciones que trae implementar prácticas de ganadería sostenible en una ganadería tradicional productora de leche.

## **Alternativas de reconversión de una ganadería tradicional productora de leche en una ganadería sostenible: un estudio de caso en la Sabana de Bogotá**

Maria Paula Urbina Pulido

### **RESUMEN**

Se construyó e implementó un modelo basado en agentes que representa la dinámica, estructura y evolución de una finca típica de producción lechera de la Sabana de Bogotá. Al modelo se le incorporaron prácticas de ganadería sostenible para analizar el comportamiento en términos de producción lechera en un periodo de 10 años. El modelo explica dos aspectos claves de la producción de un hato lechero: el primero, es la relación que existe entre número de cabezas de ganado y la producción promedio de leche y el segundo, es la relación que hay entre la permanencia del hato en el potrero.

Para cada escenario de buenas prácticas se determinó el efecto de los cambios en el tamaño del hato y el tiempo de pastura en el promedio de producción de leche en litros, se midió el tamaño de dicho efecto y, finalmente se compararon diferentes escenarios. Los efectos fueron claros en todos los escenarios, sin embargo, fueron bajos en los escenarios que implementaron todas las buenas prácticas o que solo implementaron sistemas silvopastoriles. Las diferencias entre escenarios llamaron la atención de la importancia de que los sistemas silvopastoriles estén acompañados de otras mejoras para ver resultados de productividad en el corto y mediano plazo. Con la aplicación de las técnicas de modelación de modelos basados en agentes a sistemas de producción es posible reflejar las dinámicas que traen consigo las prácticas de ganadería sostenible frente a la producción y al impacto ambiental.

**Palabras clave:** Sistemas ganaderos sostenibles (SGS), impacto ambiental, producción, pisoteo, modelo basado en agentes, tiempo de pastoreo y buenas prácticas ganaderas.

## **Alternatives for the conversion of a traditional dairy farm into a sustainable farm: a case study in La Sabana de Bogotá**

### **ABSTRACT**

An agent-based model was built and implemented to represent the dynamics, structure, and evolution of a typical dairy farm in the Sabana de Bogotá. The model incorporated sustainable livestock practices to analyze milk production behavior in 10 years. The model explains two critical aspects of the production: the relationship between the number of head of cattle and the average milk production, and the relationship between the herd's permanence in the paddock. For each good practice scenario, the effect of changes in herd size and pasture time on the average milk production in liters was determined. The size of the effect was measured, and, finally, different scenarios were compared. The effects were evident in all the scenarios; however, they were low in the scenarios that implemented all good practices or only implemented silvopastoral systems. The differences between scenarios pointed out the fact that silvopastoral systems should be accompanied by other improvements to see productivity results in the short and medium-term. With the application of agent-based modeling techniques to production systems, it is possible to show the dynamics that sustainable livestock practices bring about in the face of production and environmental impact.

**Key words:** Sustainable livestock systems (SLS), Environmental impact, production, trampling, Agent-based model, grazing time and good livestock practices.

## Introducción

La ganadería bovina (leche y carne) es una de las principales actividades económicas que tiene el país, ya que aporta aproximadamente un 1,6 % al PIB nacional, y genera el 6% de empleo total nacional (Zuluaga & Etter, 2017; Mahecha & Gallego, 2002). En Colombia se practica principalmente la ganadería extensiva o semi-extensiva con un propósito o multipropósito, la cual se caracteriza por requerir grandes extensiones de terreno para sostener pocos animales, generando así impactos ambientales y una baja productividad (Zuluaga & Etter, 2017; Mora Marín et al., 2017).

Colombia cuenta con aproximadamente 26,1 millones de cabezas de ganado, de las cuales el 6% está orientado a la lechería especializada. Estos sistemas tienden a estar ubicados en las zonas de altiplanos y altitudes entre 2000 y 3000 msnm (FEDEGAN, 2018; Murgueitio, 2003). Los sistemas ganaderos con dicha orientación requieren de amplias extensiones de tierra para su forrajeo, en muchos casos, generando un incremento en los niveles de deforestación y provocando así afectaciones a la vegetación, a las propiedades físicas del suelo y conduciendo entonces al deterioro de su fertilidad y estructura. A su vez, esta ganadería suele asociarse con la pérdida de biodiversidad y conexión entre ecosistemas. En este tipo de ganadería la producción no es directamente proporcional a los gastos de mantenimiento, ya que su rentabilidad de está ligada al nivel tecnológico empleado y a las prácticas de ordeño utilizadas en la ganadería (Mahecha & Gallego, 2002; Nallar et al., 2017; Mora Marín et al., 2017).

En Colombia se han realizado estudios orientados a entender el impacto que ha tenido la ganadería en la fertilidad, niveles de erosión y compactación del suelo por consecuencia del pisoteo que genera el ganado. Adicionalmente, se ha estudiado su impacto sobre cuerpos de agua. Pese a lo anterior, no se han realizado investigaciones suficientes para poder analizar cómo estos factores afectan la producción y los gastos que generan dichas ganaderías (Murgueitio, 2003). Por su parte, los estudios de reconversión de las ganaderías tradicionales a ganaderías sostenibles han tratado de abordar estas problemáticas, implementando sistemas de manejo basados en sistemas ganaderos sostenibles (SGS) en diferentes zonas del país, tales como áreas de tierras bajas, andinas y altoandinas (Murgueitio et al., 2013; Castro et al., 2009).

La ganadería sostenible ha sido un proyecto que se ha enfocado en mejorar la producción ganadera, tomando en cuenta estrategias amigables para el medio ambiente, como por ejemplo, los sistemas silvopastoriles. Este proyecto es más bien reciente en Colombia; comenzó a través de ejercicios piloto entre los años 2002 y 2008 en donde se desarrollaron sistemas silvopastoriles en ganaderías de los llanos orientales y en las sabanas inundables de la región Caribe (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. s.f.; Sarmiento, 2011; Uribe et al., 2011). Si bien en la actualidad el modelo de ganadería sostenible ha sido puesto en práctica en diferentes regiones del país, aún persisten dudas respecto a los factores que permiten su aplicación efectiva en algunos contextos productivos, por ejemplo, en la Sabana de Bogotá.

La viabilidad de un sistema de producción sostenible en ganaderías medianas de depende de poder entender cómo diferentes acciones pueden suponer un buen resultado en términos de su rendimiento. En muchos casos, las decisiones de los productores de reconvertir su sistema productivo dependen más de sus comportamientos proambientales que en datos con los cuales puedan evaluar el resultado de implementar dichas alternativas. Un vacío evidente de conocimiento en este caso tiene que ver con desarrollar herramientas analíticas que permitan a los productores simular y analizar el comportamiento de su sistema productivo en el tiempo.

Los modelos basados en agentes son un tipo de modelo computacional que ha sido usado para representar y explicar cómo se da la interacción entre diferentes agentes con su entorno, observando patrones emergentes (Railsback et al., 2012). A partir de simulaciones sobre cambios y modificaciones en parámetros de un modelo, se busca describir las decisiones que se toman o deberían tomar en un contexto determinado. Estos se han usado para describir características e interacciones en sistemas socio- ecológicos, por ejemplo, la influencia que tiene los factores socioeconómicos sobre la deforestación. En el caso de la ganadería, estos modelos han resultado útiles para describir la relación que hay entre los productores y los incentivos que estas reciben para usar la tierra de diferentes maneras específica (Müller-Hansen et al., 2019).

El propósito de diseñar un modelo basado en agentes en este estudio es explorar por medio de una representación de la realidad como algunas prácticas de ganadería sostenible pueden afectar las dinámicas de una ganadería tradicional orientada a la producción de leche, es decir como distintos factores afectan directamente el funcionamiento de una finca ganadera de un solo propósito y así poder analizar como la implementación de estas prácticas pueden afectar la producción bajo distintos escenarios.

En particular, el modelo pretendió representar una ganadería mediana y tradicional de la Sabana de Bogotá y simular diferentes escenarios respecto a cómo las prácticas de los sistemas ganaderos sostenibles inciden en la productividad del hato. Así, este estudio respondió a la pregunta de si existe o no un efecto del tamaño del hato y el tiempo de pastoreo en la productividad total bajo cuatro escenarios relacionados con la implementación de los sistemas ganaderos sostenibles.

## **Metodología**

### *Construcción de un modelo conceptual de ganadería*

Se tomó como referente una finca típica de producción lechera de la Sabana de Bogotá (Anexo 1). Se realizaron cinco visitas de observación entre julio 10 y septiembre 15 de 2020, en donde realice entrevistas semiestructuradas con los operarios del sistema, los administradores y la propietaria (Anexo 2) que sirvió para comprender su funcionamiento e identificar elementos para el diseño del modelo basado en agentes. También se recuperó información histórica sobre la producción de leche y su manejo que sirvió para contrastar los datos obtenidos de las diferentes simulaciones.



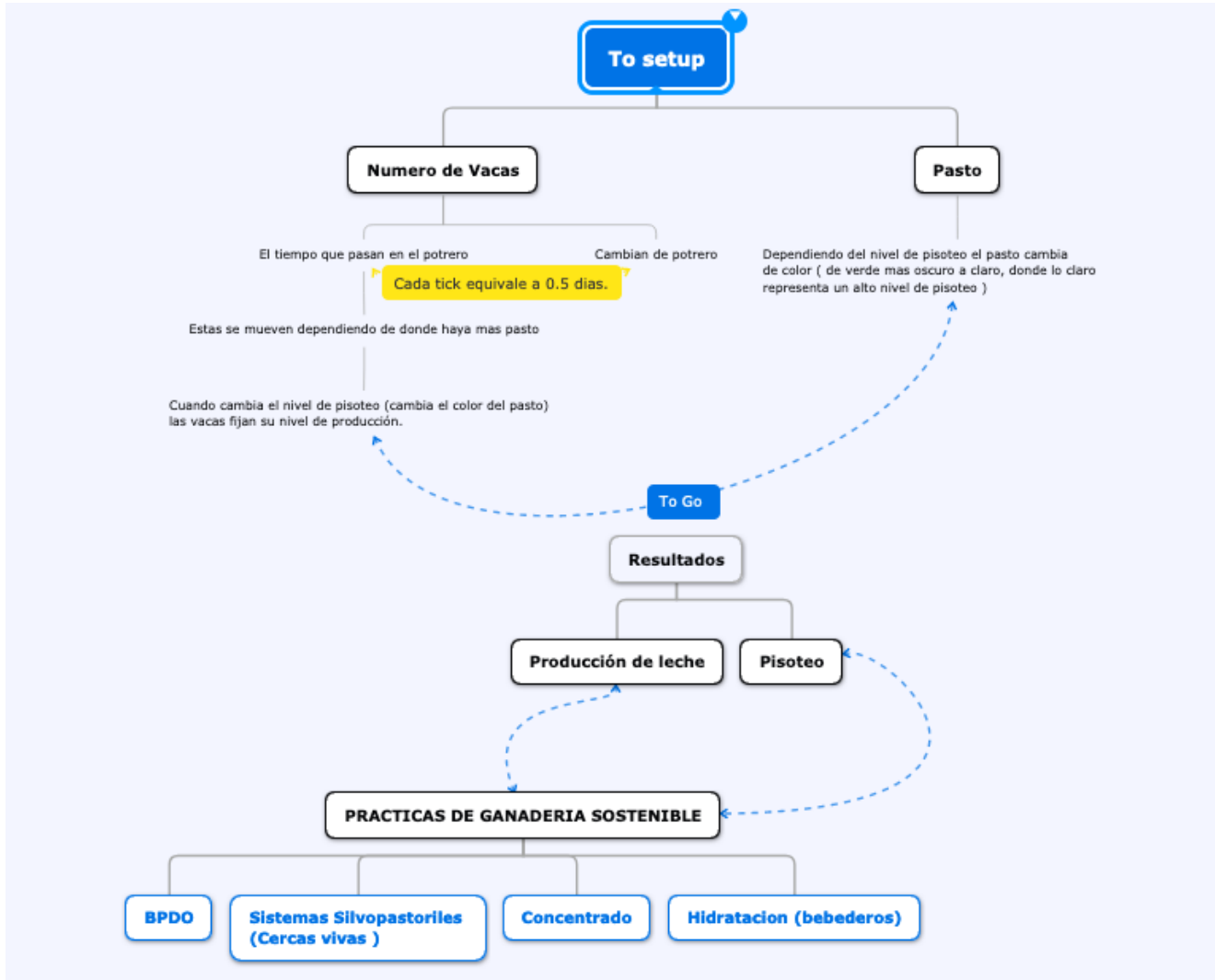


Figura No 2. Diagrama de flujo del modelo de Netlogo. Fuente: autoría propia .

El modelo se implementó sobre la base de cuatro escenarios (Tabla 1). En cada uno de ellos se buscó entender cómo se afectaría la producción lechera del hato a partir de la modificación de prácticas como las BPO, sistemas silvopastoriles, hidratación y

concentrado en un periodo de 10 años. Cada escenario se corrió 10 veces para modificando parámetros del tamaño del hato en rangos de cinco vacas entre 30 y 60, y de tiempo en el potrero entre 1 y 6 días, cada día. En total cada escenario tuvo 420 corridas.

*Tabla No 1. Escenarios para evaluar el desempeño de un hato productor de leche. (SI representa la implementación de esa práctica al escenario y NO representa la no inclusión de la práctica.)*

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>	<b>BPO</b>	<b>SSP</b>	<b>Concentrado</b>	<b>Hidratación</b>
<b>I</b>	Escenario de referencia. La producción lechera se hace sin complementos ni buenas prácticas.	NO	NO	NO	NO
<b>II</b>	Refleja un escenario ideal que incorpora todas las prácticas sostenibles y mejoramiento en la producción. Supone altos costos financieros y también altos rendimientos.	SI	SI	SI	SI
<b>III</b>	Solo incluye a los sistemas silvopastoriles los cuales suponen que el ganado puede durar más en el potrero generando menos costos y produciendo más sin necesidad de implementar otras prácticas.	NO	SI	NO	No
<b>IV</b>	Todas las prácticas sostenibles menos los sistemas silvopastoriles. Supone mejores desempeños de corto plazo.	SI	NO	SI	SI

### Validación del modelo

El análisis de los resultados del modelo se concentró en la evaluación de los efectos del tamaño del hato y tiempo en el potrero para cada escenario, y también en la comparación de dichos escenarios a partir del promedio de leche producida a lo largo de 10 años. Para definir el efecto del tamaño del hato y el tiempo en la producción de cada escenario, se utilizó un modelo de comparación de medias. Primero se probaron los supuestos de homogeneidad de varianzas y de normalidad, con las pruebas de Levene y de Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Existió homogeneidad de varianzas, pero los datos no fueron normales, razón por la que se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis en cada escenario. Para determinar el tamaño del efecto se utilizó el estadístico  $H^2$  (Tomczak and Tomczak 2014), en el que usando los valores resultantes de la prueba Kruskal-Wallis, el número de grupos y el número de datos, se definen umbrales sobre el tamaño del efecto. Se construyeron boxplots para visualizar la respuesta de los efectos de la producción de leche del tamaño del hato y el tiempo en el potrero.

En cuanto a la comparación de escenarios, se tomaron datos de cada uno de ellos bajo los parámetros observados en la finca de referencia. Con los valores diarios de producción de leche se calcularon medias que con las que se compararon todos los pares de escenarios a través de la prueba de Tukey. Cuando las diferencias fueron estadísticamente significativas, estas fueron indicadas.

## Resultados

### Sistema de referencia de producción ganadera

La finca Blonay, que se usó para realizar el estudio, tiene una extensión de 26 hectáreas. Está dividida con cercas de alambre en 25 potreros. Adicionalmente, la finca está conformada por dos bodegas de almacenamiento, un corral de aparte, dos viviendas, un equipo de ordeño eléctrico, una zorra, un tanque frío y 12 cantinas de leche. Cada potrero es atravesado por una zanja la cual tiene un constante flujo de agua, además cuenta con 2 comederos. La finca lleva en funcionamiento aproximadamente 40 años enfocada en la producción de leche. El hato está conformado por 55 cabezas de ganado las cuales rotan cada 4 días de potrero.

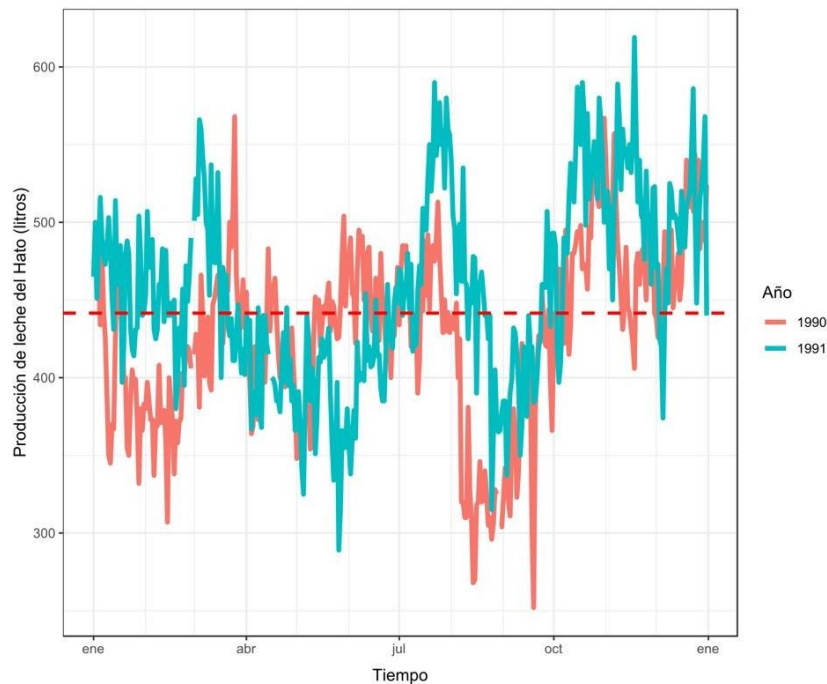


Figura No 3. Datos de producción de leche 1990-1991. Finca Blonay. La línea punteada indica la media de los dos años (441,5 litros)

El comportamiento de los datos de producción de los años 1990 y 1991 de la finca (los únicos documentados), dejan ver que la producción en ambos años presenta unos picos altos entre marzo y abril, pero también entre octubre y diciembre, por tal motivo se revisaron los datos documentados durante estos años y se pudo observar que en estos periodos hubieron tiempos de lluvia permitiendo así una mayor disponibilidad de pasto (Figura 3). También se puede observar que durante mayo, junio, agosto y septiembre se documentó que las precipitaciones dejaron de ser constantes por lo que suponemos que los picos de producción más bajos obtenidos obedecen a que

durante este periodo de tiempo los periodos de sequía/verano afectaron la disponibilidad de pasto, causando que la producción de estos bajara.

### Comportamiento simulado de la ganadería

El modelo buscó simular inicialmente el funcionamiento de la finca, es decir, representar las 55 vacas y el tiempo en que estas se demoran en rotar de potrero (4 días). Sobre esta base se hizo un análisis de sensibilidad para poder ver cómo responden las variables del modelo a cambios extremos en los parámetros (Figura 4). En primer lugar, se observó que los números de parches respondieron a los diferentes niveles de pisoteo al tamaño del hato, es decir, fue evidente que conforme aumenta el tamaño del hato disminuye el número de parches que presentan un menor pisoteo y aumentan el número de parches con niveles de pisoteo altos (Figura 4A). Por otro lado, también se observó que la producción promedio de litros de leche del hato responde al tiempo que el hato dura en cada potrero (Figura 4B). Sin importar el tamaño del hato el patrón de respuesta es similar: entre más tiempo pase el hato en el mismo potrero su producción se verá afectada y comenzará a ser menor.

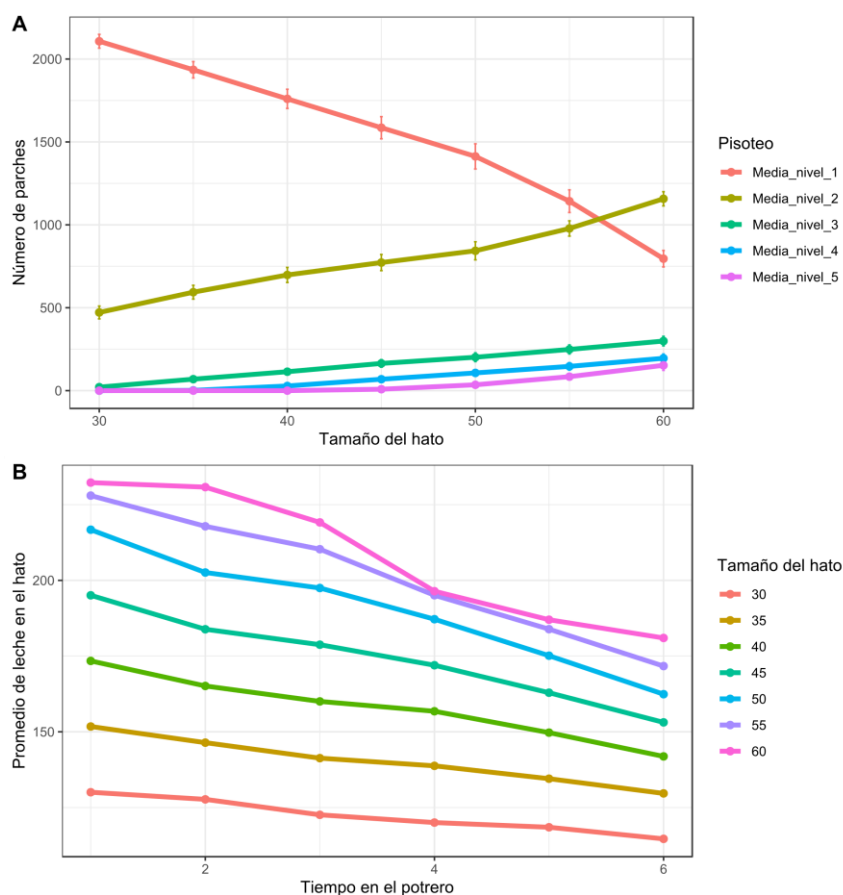


Figura No 4. Análisis de sensibilidad del modelo. 4A. Comportamiento del pisoteo frente al tamaño del hato. 4B. Comportamiento de la producción promedio de leche en el hato frente al tiempo en potrero.

Posterior a esto se quiso entender que pasaba con la producción de leche y el número de parches explícitamente en el escenario 1 (línea base), es decir aquel escenario que simula la finca sin presentar ningún tipo de modificación en los parámetros. En la Figura 5A se indica el comportamiento de la producción de leche en litros con 55 cabezas de ganado las cuales rotan cada 4 días de potrero, el modelo dejó ver que durante los primeros 3 años hay una disminución de un litro y medio, pero luego se comienza a ver que la producción se estabiliza entre los 452 y 453 litros y adicionalmente podemos ver que estos valores no son muy lejanos frente al promedio registrado para el año 1990 (455 litros).

Cuando analizamos los niveles de pisoteo bajo (pisoteo nivel 1 y 2) podemos ver que en los primeros 3 años disminuye muy poco el número de parches que tiene niveles bajos de pisoteo (Figura 5B). Se observa que estos se estabilizan alrededor de 983 parches, contrario a lo que ocurre con valores altos de pisoteo (pisoteo nivel 3 a 5); se puede observar que los 3 primeros años este aumenta y luego se estabiliza alrededor de los 212 parches (Figura 5B).

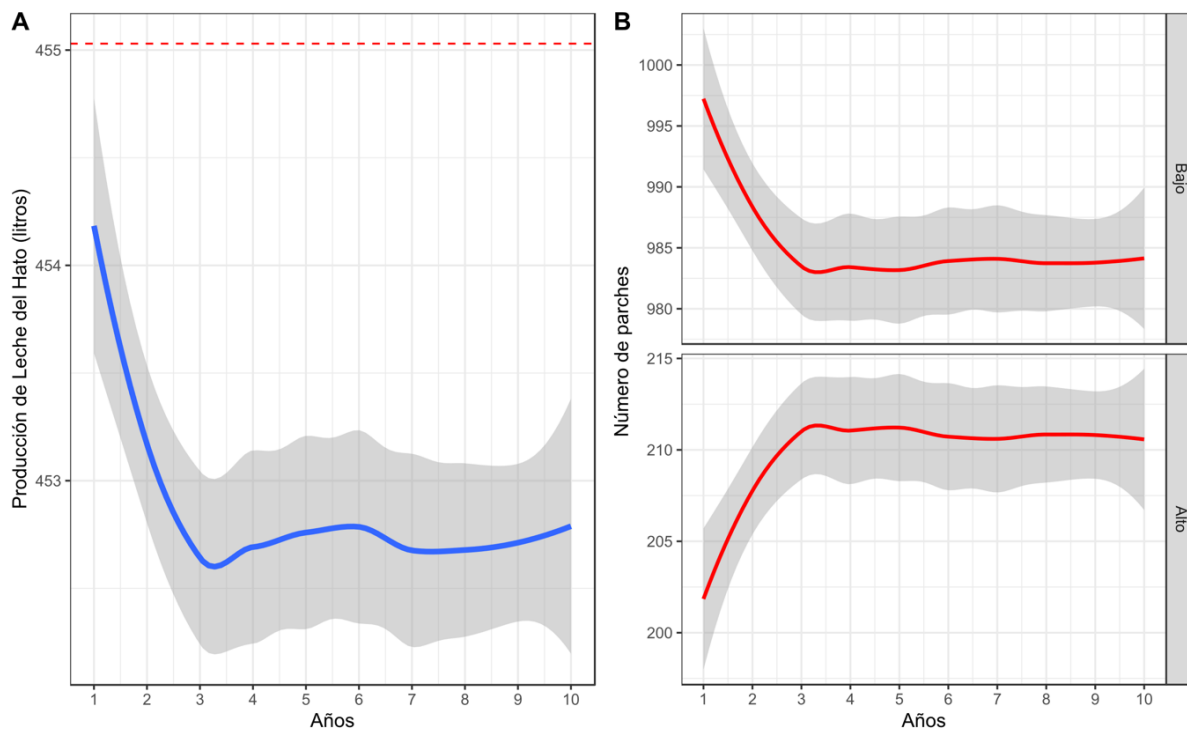


Figura No 5. Producción de leche y pisoteo en condiciones simuladas. Simulaciones hechas para el escenario 1 (hato=55, tiempo en el potrero=4 días). 5A. Valores promedio de producción de leche anual (línea punteada y roja, promedio para el año 1990).5B. Valores promedio de parches con pisoteo alto (mayor al nivel 3) y pisoteo bajo (hasta el nivel 2).

Tamaño del efecto del hato y el tiempo de pastoreo en la producción de leche

Por medio de una prueba de Kurskal-Wallis se buscó probar en cada uno de los escenarios si el tamaño del hato (número de cabezas de ganado) y el número de días que permanecen en los potreros explica el volumen de producción de leche. Se observó la significancia estadística en todos los casos, lo que indicó que tanto el tamaño del hato como el tiempo de pastoreo tuvieron un efecto en los niveles de producción de la leche (Tabla 2). La fuerza con la que explicaron estos cambios es lo que se conoce como *tamaño del efecto*: en el caso del tamaño del hato siempre fue grande, mientras que en el tiempo de pastoreo los escenarios 1 y 3 fueron moderados y el 2 y el 4 fueron pequeños (Tabla 2).

Tabla No 2. Resultados prueba Kruskal-Wallis y tamaño del efecto por Escenario. Efectos:  $0,01 < 0,06$  (pequeño),  $0,06 < 0,14$  (moderado) y  $\geq 0,14$  (grande).

Escenario	Tamaño del hato					Tiempo de pastoreo				
	Chi-2	Valor p	GL	Efecto	Magnitud	Chi-2	Valor p	GL	Efecto	Magnitud
I	1732400	2,2e- 16	6	0,565	Grande	351740	2,2e- 16	5	0,115	Moderado
II	2912900	2,2e- 16	6	0,950	Grande	41298	2,2e- 16	5	0,014	Pequeño
III	1732600	2,2e- 16	6	0,565	Grande	351570	2,2e- 16	5	0,115	Moderado
IV	2913000	2,2e- 16	6	0,950	Grande	41266	2,2e- 16	5	0,014	Pequeño

En la Figura 6 se ilustran los resultados relacionados con el tamaño del efecto. Los boxplots representan todos los datos de todas las corridas del modelo con respecto a la producción de leche en litros. Se pudo identificar que, para cada escenario, dependiendo del tamaño del hato, existe un aumento en la producción de leche (Figura 6A). Ahora, si vemos los escenarios 2 y 4 podemos ver que los datos se encuentran más concentrados, con valores que casi no varían y con valores extremos evidentes.

En el caso del efecto del tiempo de permanencia en el potrero, el efecto fue contrario: conforme aumenta el número de días disminuye el promedio de litros de leche producidos para cada uno de los escenarios (Figura 6B).

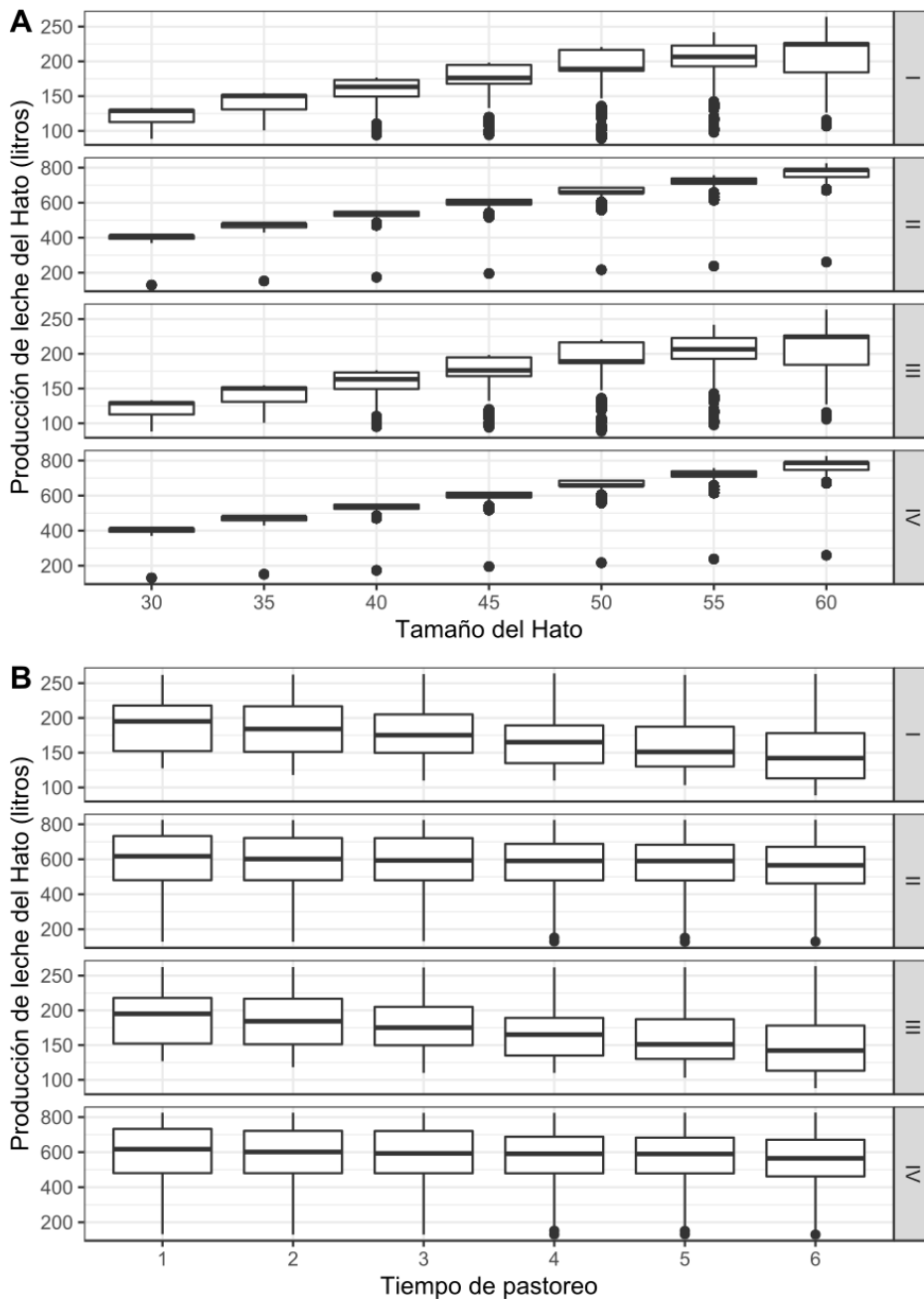


Figura No 6. Efectos en la producción de leche del Hato por escenario. 6A. Efecto del tamaño del hato. 6B. Efecto del tiempo de pastoreo por potreros.

### Comparación entre escenarios

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la producción de leche entre los escenarios I-II, I-IV, II-III y III-IV (Tabla 3). Entre los escenarios I-II y II-IV no se

observaron diferencias, asunto que sugiere que las condiciones modificadas no tienen efectos claros en el volumen total de leche producida.

*Tabla No 3. Prueba de Tukey para comparar medias en la producción de leche entre pares de escenarios. Significancia 0,05.*

<b>Relaciones</b>	<b>Dif. observada</b>	<b>Dif. crítica</b>	<b>Diferencia</b>
I-II	14605,22	368,1291	Verdadera
I-III	9,064	368,1291	Falsa
I-IV	14588,93	368,1291	Verdadera
II-III	14614,29	368,1291	Verdadera
II-IV	16,29	368,1291	Falsa
III-IV	14597,99	368,1291	Verdadera

## **Discusión**

Se observó que el sistema ganadero modelado y simulado es sensible tanto al tamaño del hato como al tiempo de permanencia en los potreros. Este resultado representa las discusiones que se dan sobre los retos de la intensificación de la producción ganadera desde la década de los 90 (Eje & Capdeville 2018). Por un lado, señala que la producción aumenta con el tamaño del hato en la medida en la que haya cómo alimentarlo adecuadamente, y por el otro, refuerza la idea de que el pisoteo es un problema característico de la producción intensificada, el cual tiene efectos sobre las pasturas disponibles para el ganado. Una de las razones para que esto ocurra es que aumenta la cantidad de materia seca y se disminuye una regeneración, provocando así una reducción de producción de pasto. El modelo notó dejó ver cómo este proceso implica rezagos que en el largo tiempo disminuyen la productividad del hato, lo que puede tener que ver el hecho de que en los siguientes periodos de pastoreo el pasto comienza a perder su capacidad de producir y almacenar energía adicionalmente se reduce el volumen y profundidad de sus raíces (InfoAgro Costa Rica, 2009).

Del mismo modo, los resultados sugieren que conforme aumenta el tiempo de pastoreo y el pisoteo, se empieza a presentar un proceso de compactación del suelo que retroalimenta el agotamiento de biomasa, y genera una disminución en la macroporosidad del suelo que implica la disminución en la capacidad de aireación y oxigenación de este, causando que las plantas tengan un menor tamaño lo cual va a repercutir en la nutrición de las vacas, es decir estas comenzaran a presentar un déficit de nutrientes y hasta de hidratación por lo que las plantas también son fuentes de agua (Villanueva & Sepúlveda, 2011; Mora Marín et al., 2017; Sadeghian Siavosh, n.d.; Sarmiento, 2011). Un reto importante en el proceso de modelamiento es abordar este fenómeno con un mayor nivel de detalle, incluyendo opciones que permitan controlar el

tiempo de regeneración y el almacenamiento de energía y su conversión en litros de leche.

Al comparar los posibles escenarios de este estudio con el escenario 1, es decir, el escenario sin modificaciones en sus parámetros se encontró que la producción promedio de leche en litros mejora con la implementación de los sistemas silvopastoriles, buenas prácticas de ordeño, incorporación de concentrado e hidratación. Cuando se hizo la comparación solo con el sistema silvopastoril, no hubo diferencias. Las diferencias marcadas podrían explicarse por las buenas prácticas ganaderas que, en este caso, se refieren concretamente a las buenas prácticas de ordeño. En el modelo se trataron por separado el suministro de agua o concentrado ya que, si bien son el pilar para desarrollar una ganadería sostenible, su incorporación en las fincas no está ligada necesariamente al buen ordeño. Su valor radica en que incorporándolas en una ganadería tradicional como la utilizada en este estudio, se suplirían las falencias de la finca en la alimentación y el ordeño, lo cual tendría resultados claros en los niveles de producción de leche. Es decir, esta finca al ser una finca rudimentaria y que no usa elementos como los mencionados anteriormente, presenta una producción baja en comparación a la producción que podría llegar a tener si esta incorporara sistemas o prácticas de ganadería sostenible (Nallar et al., 2017; Mahecha L, Gallego LA, 2002). Sin embargo, para poder concluir de forma clara este asunto, se necesitaría continuar desarrollando el modelo, incorporando las buenas prácticas ganaderas con funciones específicas y no solo como multiplicadores de las ganancias.

Otro aspecto relevante en el desarrollo de esta investigación fue encontrar que a pesar de que los sistemas silvopastoriles son una alternativa de solución para reducir el impacto ambiental y para mejorar la producción de las ganaderías, estos requieren de otras prácticas para ser viables en el mediano plazo y para diferenciarse de los sistemas sin mejora. La relación del escenario I-III se puede observar este hecho ya que en este se observó que no hay diferencia estadística en cuanto a la producción de leche, es decir, para el productor podría ser igual no tener ninguna práctica a tener solamente la práctica de sistemas silvopastoriles. De esta forma, si los sistemas silvopastoriles si son implementados con otras prácticas como las buenas prácticas de ordeño, el suministro de concentrado, entre otras van a permitir conservar mejor el suelo, va haber un mejor rendimiento y duración de las pasturas, las vacas tendrán un alimento nutricional más balanceado y adicionalmente le generara una mejor calidad de vida al ganado ya que estos le brindaran sombra (Nallar et al., 2017; Paz Cardona, 2019; Rivera et al., 2019; Zuluaga & Rivera, 2013).

Si bien el proceso de desarrollar y simular un modelo de agentes resulta sumamente interesante para entender procesos emergentes, su construcción es un proceso que requiere precauciones respecto a los criterios de diseño y la información con la que se cuenta. Por medio de este modelo fue posible evaluar el rendimiento y funcionamiento de la finca y entender cómo en cada escenario existe un efecto en términos del tamaño del hato y el número de días de pastoreo. Aunque esto fue clave para entender que la

producción promedio de la leche cambia si se incorporan nuevas prácticas y estrategias de manejo, adicionalmente hay que tener en cuenta que este modelo solo se concentró en el volumen producido. Una prioridad en este caso es incorporar otros módulos, como, por ejemplo, uno que se enfoque en entender la producción en el sentido económico, incorporando funciones de utilidad para observar diferencias en términos de rendimientos financieros. Algo similar ocurre con el alcance del modelo; que, aunque puede servir para entender el comportamiento de fincas similares en la Sabana de Bogotá, en futuras versiones el modelo debe poder tener en cuenta proporciones de área en la definición de áreas en los potreros y niveles promedio de producción por vaca para poder guiar procesos prácticos de ordenamiento productivo de las fincas, así como para promover transiciones a la sostenibilidad.

## **Conclusión**

Con la implementación del modelo de agentes para la modelación de la finca Blonay, se determinó que el tamaño del hato y el tiempo de permanencia en las pasturas son factores que tienen efectos claros en la producción de leche, independientemente del escenario o de las prácticas identificadas. No obstante, con la implementación de prácticas de ganadería sostenible en una finca con características similares, se puede llegar a generar un efecto positivo en sus niveles de producción, de paso ayudando a disminuir el impacto ambiental que la ganadería de leche en el altiplano podría causar. Los efectos moderados de los sistemas silvopastoriles demostraron que, si bien esta alternativa es importante en el proceso de mejoramiento de la producción lechera, es importante acompañarlos de otras estrategias para que sean diferenciables en el corto y largo plazo de los sistemas convencionales. La incorporación de análisis financieros sobre los cambios en la producción es fundamental para poder determinar la forma en la que es posible mejorar estos sistemas ganaderos para mejorar la producción y la conservación de la naturaleza.

## **Recomendaciones:**

Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto se recomienda a futuros estudiantes, profesionales entre otros que tengan interés en el proyecto, la incorporación de elementos tales como costos variables, costos fijos, costos de producción, costos de mantenimiento a el modelo de agentes diseñado en este proyecto para así poder realizar comparaciones mas precisas sobre los efectos que trae consigo la implementación de SGS en este tipo de ganaderías a nivel de producción e impacto ambiental.

Otra recomendación sería incluir o desarrollar otros modelos en donde se represente la utilización de solo sistemas silvopastoriles en conjunto, es decir incorporar diferentes sistemas silvopastories, pero en conjunto, por ejemplo, cercas vivas y bancos de arbustivas forrajeras o arboles dispersos en potreros y cortinas rompevientos entre otros posibles conjuntos. Para así poder determinar si realmente la incorporación de estos sistemas en conjunto podría generar un cambio o no en la producción y en el impacto ambiental en este tipo de ganaderías.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecerle a mi mamá- Clara Inés Pulido y a mi abuelita-Clara Reyes por su apoyo incondicional durante toda mi educación superior. También le quiero agradecer a mi novio Juan Sebastián Rossiasco quien me ha apoyado y me ha dado ánimos para continuar y culminar mi trabajo de grado. Le quiero agradecer a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro, especialmente le agradezco a mi asesor de trabajo de grado Sebastián Restrepo por su continua guía durante el desarrollo de la investigación, también por su apoyo y por poner su confianza en mí y en mi trabajo. Finalmente, pero no menos importante, le quiero agradecer muy especialmente a Juan Felipe Rodríguez Espinosa por su colaboración y acompañamiento en la creación del modelo en el programa Netlogo.

## Referencias bibliográficas

- Arocena, R., Chalar Marquisá, G., Perdomo, C., Fabián, D., Pacheco, J., Piana, M., Olivero, V., Silva, M., & García, P. (2013). Impacto de la producción lechera en la calidad del agua. In INIA Actividad de difusión. (Vol. 5).
- Barrios, M., Sandoval, E., Camacaro, O., Sánchez, D., Domínguez, L., & Márquez, O. (2011). Leucogram and protein profile in dual purpose crossbred calves, resistant and susceptible to natural infection by gastrointestinal nematodes. *Zootecnia Tropical*, 29(3), 313–321.
- Bejarano-Bella, J., & Torres-Rodríguez, A. (2016). el papel de la ganadería tradicional en la conservación del espacio natural Doñana (España). análisis socio-histórico de un conflicto ambiental. *ambiente y sostenibilidad*, 5, 110. doi: 10.25100/ay.s.v5i1.4306.  
Recuperado el 11 de noviembre de 2020, de [file:///C:/Users/JSRos/AppData/Local/Temp/EL\\_PAPEL\\_DE\\_LA\\_GANADERIA\\_TRADICIONAL\\_EN.pdf](file:///C:/Users/JSRos/AppData/Local/Temp/EL_PAPEL_DE_LA_GANADERIA_TRADICIONAL_EN.pdf)
- Benavides, J. (s.f). Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería [PDF] (pp. 1-28).  
Recuperado el 10 de abril de 2020, de <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/bnvdes23.pdf>
- Boletín Técnico Pioneer, Compactación de suelo (s.f). Recuperado el 16 de noviembre de 2020, de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14899578/boletin-tecnico-pioneer>
- Chará J., Reyes E., Peri P., Otte J., Arce E., Schneider F. (2019). Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America. FAO, CIPAV and Agri Benchmark, Cali, 60 pp.
- Chavarría, M. (2007). Producción Ganadera e Impacto Ambiental. Eroski Consumer.  
Recuperado el 22 de agosto de 2019, de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2007/03/01/26920.php>
- Contextoganadero. (2015). Colombia mira hacia la ganadería sostenible. Contexto ganadero. Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. Recuperado el 29 de septiembre de 2019, de <https://www.contextoganadero.com/blog/colombia-mira-hacia-la-ganaderia-sostenible>.
- Cundinamarca, A. D. S.-. (2020). Economía. Recuperado el 1 de marzo de 2020, de <http://www.sopocundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Castaño-Quintana, K., Chará, J., Giraldo, C., Calle, Z. (2019). Manejo integrado de insectos herbívoros en sistemas ganaderos sostenibles. CIPAV, Cali Colombia. 306p
- Castro R, E., Mojica R., J., León, J., Pabón, M., Carulla, J., & Cárdenas, E. (2009). Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pastura de gramínea más *Lotus uliginosus* en la sabana de Bogotá, Colombia [PDF] 1-11.  
Recuperado el 11 de abril de 2019, de <http://file:///C:/Users/JSRos/AppData/Local/Temp/Dialnet-BalanceDeNitrogenoEnPasturaDeGramineasYPasturaDeGr-5624633.pdf>
- Eje, N., & Capdevielle, B. (2018) Intensificación ganadera, aproximación teórica y cambios en los gastos necesarios para la producción.
- Esquivel, J.; Benavides, J.E.; Hernandez, I.; Vasconcelos, I.; Gonzalez, J.; Espinoza, E. (1996). efecto de la sustitución de concentrado con morera (morusalba) sobre la

producción de leche de vacas en pastoreo. in: resúmenes. taller internacional "los árboles en la producción ganadera". eepf "indio hatuey", matanzas, cuba. p. 25

Fedegan, F. C. de G. (2018). Ganadería Colombiana. In Hoja De Ruta 2018 - 2022. Recuperado el 5 de agosto de 2019, de [http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja\\_de\\_ruta\\_Fedegan.pdf](http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf)

Ganadero, Con. (2020). Conozca algunas experiencias de ganadería sostenible en el mundo | Contexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. Recuperado el 6 de septiembre de 2020 de, <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/sistemas-silvopastoriles-mejoran-calidad-de-los-suelos>

Ganadero, Con. (2020). Conozca algunas experiencias de ganadería sostenible en el mundo | Contexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. Recuperado el 6 de septiembre de 2020 de, <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/colombia-es-reconocida-globalmente-por-su-ganaderia-sostenible-natural-y>

Grimm, V., Railsback, S. F., Vincenot, C. E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D. L., ... & Johnston, A. S. (2020). The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: A second update to improve clarity, replication, and structural realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2).

Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L. A., Guzmán, S., Martínez, M., Medina, A., & Farrow, A. (2004). Producción de Leche y su Relación con los Mercados: Caso Colombiano CIAT ILRI. Recuperado el 12 de septiembre de 2020, de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes\\_tropicales/pdf/Books/produccion\\_leche\\_colombia\\_2004.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes_tropicales/pdf/Books/produccion_leche_colombia_2004.pdf)

Laura, C., Díaz-Bravo, P., Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Inv Ed Med*, 2(7), 162–167. Recuperado el 5 de septiembre de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/3497/349733228009.pdf>

León Sarmiento, A. (2016). Ganadería Colombiana Sostenible: resultados del proyecto en las regiones de Boyacá, Santander y el Piedemonte Orinocense. [PDF]. Bogotá D.C: Universidad de los Andes. Recuperado el 20 de octubre de 2020, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14544/u728966.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mahecha, L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad [PDF] (pp. 1- 13). Medellín. Recuperado el 10 de abril de 2019, de <http://file:///C:/Users/JSRos/AppData/Local/Temp/Dialnet-SituacionActualDeLaGanaderiaDeCarneEnColombiaYAlte-3242901.pdf>

Mayta-Hanco, J., Trujillo, A.-J., & Juan, B. (2019). Tecnología de los quesos bajos en grasa. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 30(4), 1382–1394. Recuperado el 6 de octubre del 2019, de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/17357/145> 99

Mejora de la sostenibilidad de la ganadería familiar en Uruguay. (2019). INIA Serie Técnica. doi: 10.35676/inia/st.240. Recuperado el 11 de noviembre de 2020, de <http://www.inia.uy/investigacion/innovacion/programas-nacionales->

de-investigaci%C3%B3n/Programa-Nacional-de-Investigaci%C3%B3n-en-Producci%C3%B3n-Familiar/mejora-de-la-sostenibilidad-de-la-ganader%C3%ADa-familiar-de-uruguay

- Mora Marín, M. A., Ríos Pescador, L., Ríos Ramos, L., & Almario Charry, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*. Recuperado el 6 de octubre del 2019, de <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1212/2466>
- Murgueitio, Enrique & Zuluaga, Andres & Galindio, Walter & Uribe, Fernando & Rivera, Julian. (2013). Los sistemas silvopastoriles (SSPi) en el trópico de altura son una herramienta para la adaptación de la lechería al cambio climático..
- Müller-Hansen, Finn & Heitzig, Jobst & Donges, Jonathan F. & Cardoso, Manoel F. & Dalla-Nora, Eloi L. & Andrade, Pedro & Kurths, Jürgen & Thonicke, Kirsten, (2019). "Can Intensification of Cattle Ranching Reduce Deforestation in the Amazon? Insights From an Agent-based Social-Ecological Model," *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 159(C), pages 198-211.
- Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., Schlüter, M., Schulze, J., Weise, H., & Schwarz, N. (2013). Describing human decisions in agent-based models - ODD+D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling and Software*, 48, 37–48. Recuperado el 20 de septiembre de 2020, de [https://www.ufz.de/export/data/2/100069\\_ODD%20+%20D%20-%20Author%20manuscript.pdf](https://www.ufz.de/export/data/2/100069_ODD%20+%20D%20-%20Author%20manuscript.pdf)
- Nallar, Rodolfo & Mollericono, Jose & Roth, Wolf. (2017). Manual para la gestión de una ganadería sostenible.
- Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe | Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f) Recuperado 20 de octubre de 2020, de <http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/>
- Páez, L., Tiburcio, L., Sayago, W., & Pacheco, R. (2003). Caracterización estructural y funcional de fincas ganaderas de doble propósito en el municipio Páez del estado apure, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 21(3), 301–320. Recuperado el 20 de septiembre de 2020, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692003000300006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692003000300006)
- Ríos Kato, C., (s.f). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico [PDF] (pp. 3,6). Recuperado el 10 de abril de 2020, de <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Rios14.PDF>
- Sadeghian, S., Rivera, J., & Gómez, M., (s.f) Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia [PDF] (pp. 1-19). Recuperado el 11 de abril de 2020, de <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/siavosh6.pdf>
- Saurith contreras, I. (2018). estrategias sostenibles para minimizar el impacto ambiental generado por la ganadería extensiva en la región andina colombiana, 2-23. Recuperado el 14 de octubre de 2020, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17775/saurithcontreraslaidsilvana2018.pdf?sequence=2&isallowed=y>

Steven f. Railsback and Volker Grimm (2012), Agent-Based and Individual-Based Modeling. A Practical Introduction, First Edition, Princeton: New Jersey.

Tomczak, Maciej & Tomczak, Ewa. (2014). The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. 21. 19-25.

Uribe F., Zuluaga A.F., Valencia L., Murgueitio E., Ochoa L. (2011). Buenas prácticas ganaderas. Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGÁN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 82 p.

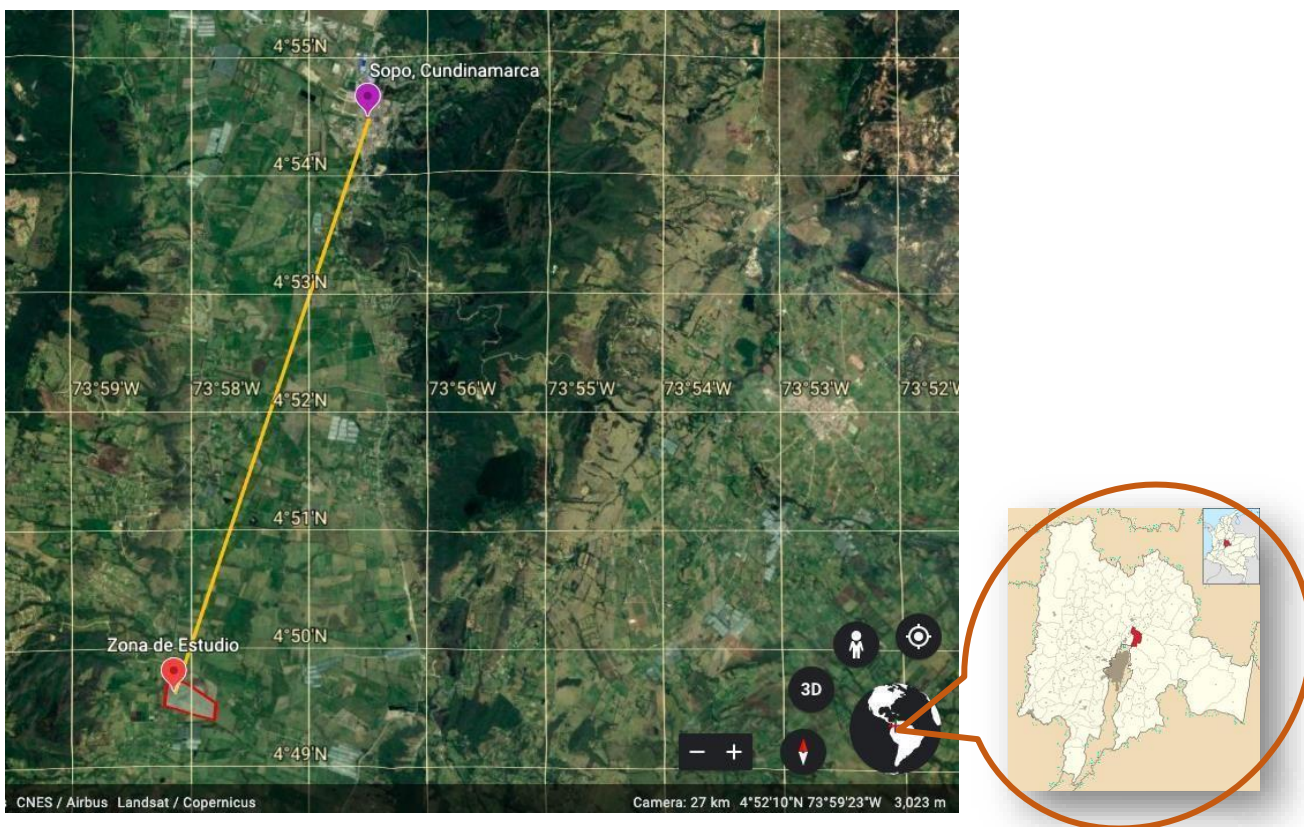
Villanueva, C., Sepúlveda L, C., & Ibrahim, M. (2011). Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganadería (1 ed., 29-185). Turrialba, CR: CATIE.

Viteri Velasco, L. (2015). Pastoreo Racional Voisin 1era Parte [Video]. Ecuador. Zuluaga, A., & Etter, A. (2017).

Áreas aptas para la actividad ganadera en Colombia | Biodiversidad 2017. Recuperado el 11 de abril de 2019, de <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap4/403/index.html>

## Anexo 1. Detalles de la Finca Blonay.

Este estudio se realizó tomando como referencia en una finca ganadera orientada a la producción de leche de la Provincia de Sabana Centro, a 39 km al norte de Bogotá, ubicada en las coordenadas 4°49'36.7"N 73°58'08.7"W (Figura 1. Anexo 1.). La finca se encuentra en la vereda San Gabriel del municipio de Sopó, en el departamento de Cundinamarca, Colombia.



*Figura 1. Anexo 1: Ubicación geográfica del área de estudio*

*Fuente: Mapa Colombia, IGAC (2009); Imagen zona de estudio, Google Earth- Modificada.*

Se caracteriza por estar en un ecosistema de bosque andino, sin embargo, debido a las transformaciones que esta ha tenido tales como la creación de una laguna artificial, la división de potreros y la construcción de un corral ha generado pérdida de su ecosistema original al punto de convertirse en un ecosistema de pastoreo. La finca cuenta con 26 hectáreas las cuales están divididas en 25 potreros. En esta se encuentran aproximadamente 70 cabezas de ganado de las cuales 55 conforman el hato.

Esta es una finca que cuenta con instalaciones de vivienda para las personas encargadas del cuidado de la finca de igual manera cuenta con una infraestructura especializada para la recolección de la leche la cual es denominada tanque frio; es importante tener claro que a pesar de que esta es una finca tradicional es decir una finca que no cuenta con instalaciones tecnificadas como lo vendrían siendo establos, corrales a climatizados o hasta una división de potreros mucho más tecnificada entre otros cuenta con ciertos elementos tecnológicos tales como equipo de ordeño y riego de aspersión.

La finca no cuenta con nacimientos de agua, sin embargo, esta es surtida con agua debido a que sobre está atraviesa una quebrada que trasporta el agua proveniente de la montaña.

## **Anexo 2. Guía de conversaciones informales con personal de la finca.**

Sobre la finca:

- Dimensiones de la finca/ tamaño físico de la finca?
- ¿Cuenta la finca con maquinaria para producción de leche, tales como equipos de ordeño, cantinas, tanque frío, entre otros)
- ¿Cuenta con instalaciones para producción y almacenamiento de leche?
- ¿Se requiere mano de obra?
- ¿Cuántas personas trabajan en el predio/finca?
- ¿Cuántos ordeños se realizan al día?
- ¿Se maneja algún tipo de reporte de producción /manejo de la salud del animal/ ordeño?

Propietarios:

- ¿Cuántas cabezas de ganado hay en la finca? ¿Cuántas de estas están en el hato?
- ¿Cuál les son las dimensiones de la finca?
- ¿Qué alimento le proporciona distinto al pasto? ¿Y cada cuánto?
- ¿Reutiliza de alguna forma el estiércol de ganado?
- ¿Cuántas terneras en promedio consumen leche y cuánto consumen?
- ¿Como debe ser el lavado y desinfección de los pezones?
- ¿Cómo debe ser la sanidad del ganado?
- ¿Cada cuanto se secan las vacas y en promedio cuantas entran en el proceso de secado?
- ¿Hace cuánto está en la industria ganadera?
- ¿Usted comercializa la producción de la finca?
- ¿De qué manera le da salida a el producto de la finca? ¿Y cómo lo vende?
- ¿Qué herramientas son indispensables para que la finca continúe con su función?
- ¿Cuánta mano de obra requiera la finca?
- ¿En promedio cuanto gasta para el mantenimiento de la finca?
- Desde que trabaja en la finca, ¿qué cambios ecosistémicos (físicos) ha tenido la finca y
- ¿Estaría dispuesto a implementar sistemas o prácticas de ganadería sostenible?
- ¿Tiene electricidad en el predio? En tal casa, ¿Qué tipo de suministro?
- ¿Han realizado actividades agrícolas?
- ¿De dónde proviene el agua?

Trabajadores/colaboradores.

- ¿Hace cuánto trabaja en la finca?

- ¿Cuál es su labor en la finca?
- ¿Hace cuánto trabaja con ganado enfocado en la producción de leche?
- ¿Cuántas veces al día realiza el ordeño? ¿Este es Manual o mecánico?
- ¿Cómo es el proceso de ordeño?
- ¿Usted realiza solo o en compañía el ordeño?
- ¿Cómo es el proceso de recolección de la leche?
- ¿Ha escuchado o tiene conocimiento de los sistemas ganaderos sostenibles?
- Si la respuesta es afirmativa, ¿qué SGS conoce y como los implementaría en este caso?
- ¿A dónde van los vertimientos o que hacen con los desechos?
- ¿Vive en la finca?
- ¿Cada cuanto hacen la rotación del hato por los potreros?

### Anexo 3. Código en Netlogo

```
Breed [ vacas vaca ]

globals [ prod-hato ; Leche producida ciclo ; Tiempo en cada potrero seed
]

patches-own [ pisoteo
p_optimo potrero countdown
]

vacas-own [ prod-leche
food
]

to setup ca
  set seed random 1000000 set ciclo 1
  ask patches [
    set pisoteo 0 ;- random-float 1
    set pcolor [pisoteo] of self + (53 - random-float 1) set p_optimo [pisoteo] of
    self
    ifelse pcolor <= p_optimo
    [ set countdown tiempo-recuperacion ]
    [ set countdown random tiempo-recuperacion]
  ]

  create-vacas hato [
    setxy (0 + random 12) (0 + random 7) set shape "cow"
    set color black set size 1
    set prod-leche (7.67 + random 2.67)
  ]

  set-potreros reset-ticks
end

to set-potreros ask patches [
  ; 1 - 5
  if pxcor >= 0 and pxcor <= 12 and pycor >= 0 and pycor <= 7 [ set potrero 1 ]
  if pxcor >= 0 and pxcor <= 12 and pycor >= 8 and pycor <= 15 [ set potrero 2 ]
  if pxcor >= 0 and pxcor <= 12 and pycor >= 16 and pycor <= 23 [ set potrero 3 ]
```

```

if pxcor >= 0 and pxcor <= 12 and pycor >= 24 and pycor <= 31 [ set potrero 4 ]
if pxcor >= 0 and pxcor <= 12 and pycor >= 32 and pycor <= 39 [ set potrero 5 ]

; 6 - 10
if pxcor >= 13 and pxcor <= 25 and pycor >= 0 and pycor <= 7 [ set potrero 6 ]
if pxcor >= 13 and pxcor <= 25 and pycor >= 8 and pycor <= 15 [ set potrero 7 ]
if pxcor >= 13 and pxcor <= 25 and pycor >= 16 and pycor <= 23 [ set potrero 8 ]
if pxcor >= 13 and pxcor <= 25 and pycor >= 24 and pycor <= 31 [ set potrero 9 ]
if pxcor >= 13 and pxcor <= 25 and pycor >= 32 and pycor <= 39 [ set potrero 10 ]

; 11 - 15
if pxcor >= 26 and pxcor <= 38 and pycor >= 0 and pycor <= 7 [ set potrero 11 ]
if pxcor >= 26 and pxcor <= 38 and pycor >= 8 and pycor <= 15 [ set potrero 12 ]
if pxcor >= 26 and pxcor <= 38 and pycor >= 16 and pycor <= 23 [ set potrero 13 ]
if pxcor >= 26 and pxcor <= 38 and pycor >= 24 and pycor <= 31 [ set potrero 14 ]
if pxcor >= 26 and pxcor <= 38 and pycor >= 32 and pycor <= 39 [ set potrero 15 ]

; 16 - 20
if pxcor >= 39 and pxcor <= 51 and pycor >= 0 and pycor <= 7 [ set potrero 16 ]
if pxcor >= 39 and pxcor <= 51 and pycor >= 8 and pycor <= 15 [ set potrero 17 ]
if pxcor >= 39 and pxcor <= 51 and pycor >= 16 and pycor <= 23 [ set potrero 18 ]
if pxcor >= 39 and pxcor <= 51 and pycor >= 24 and pycor <= 31 [ set potrero 19 ]
if pxcor >= 39 and pxcor <= 51 and pycor >= 32 and pycor <= 39 [ set potrero 20 ]

; 21 - 25
if pxcor >= 52 and pxcor <= 64 and pycor >= 0 and pycor <= 7 [ set potrero 21
]
if pxcor >= 52 and pxcor <= 64 and pycor >= 8 and pycor <= 15 [ set potrero
22]
if pxcor >= 52 and pxcor <= 64 and pycor >= 16 and pycor <= 23 [ set potrero 23
]
if pxcor >= 52 and pxcor <= 64 and pycor >= 24 and pycor <= 31 [ set potrero 24
]
if pxcor >= 52 and pxcor <= 64 and pycor >= 32 and pycor <= 39 [ set potrero 25
]
]
end

```

```

to gox1
  repeat 730 [go] end

to gox10
  repeat 7300 [go] end

to go
if ticks = 14600 [ stop ] go-grass
cambiar-P go-cows

if BPO [
ask vacas [
set prod-leche prod-leche + 6.25 ]
]

if Concentrado [ ask vacas [
set prod-leche prod-leche + 6.25 ]
]

if Hidratación [ ask vacas [
set prod-leche prod-leche + 6.25 ]
]

if SSP [
if ticks >= ticks + 360 [;and ticks / 360 = int (ticks / 360) [ ask vacas [
set prod-leche prod-leche + ( prod-leche * (15.67 / 100)) ]
]
]

set prod-hato prod-hato + leche-hato

if ticks >= (30) and ticks / (30) = int (ticks / (30)) [ set prod-hato 0 ]

tick end

to go-cows
ask vacas [
set food min-one-of patches with [potrero = [potrero] of myself] with-min
[pisoteo] [distance myself]
face food move-to food
ask patch-here [
set pisoteo (pisoteo + 1 )
set pcolor [pisoteo] of self + (53 - random-float 1)]
]
]

```

```

if pisoteo <= 1 [
  set prod-leche 7.67 + random 2.67 ] if pisoteo > 1 and pisoteo <= 3 [
  set prod-leche 6.49 + random 2.67 ] if pisoteo > 3 and pisoteo <= 4 [
  set prod-leche 4.58 + random 3.06 ] if pisoteo > 4 and pisoteo < 5 [
  set prod-leche 3.39 + random 3.06 ] if pisoteo >= 5 [
  set prod-leche 2.21 + random 3.06 ] if pisoteo > 9 [
set prod-leche 0 + random 2.21 ]
]
end

to go-grass ask patches [
  ifelse pisoteo > p_optimo [
    set pisoteo pisoteo - 0.0238 ; - random -0.005 ]
  set pcolor [pisoteo] of self + (53 - random-float 1) set countdown tiempo-
  recuperacion ]
  [ set countdown countdown - 1 ]
]
end

to cambiar-P
if ticks >= (TP * 2) and ticks / (TP * 2) = int (ticks / (TP * 2)) [ set ciclo
ciclo + 1
if ciclo = 26 [
  set ciclo 1 ]
ask vacas [
  if ciclo =1 [move-to one-of patches with [ potrero =1 ] ]
  if ciclo =2 [move-to one-of patches with [ potrero =2 ] ]
  if ciclo =3 [move-to one-of patches with [ potrero =3 ] ]
  if ciclo =4 [move-to one-of patches with [ potrero =4 ] ]
  if ciclo =5 [move-to one-of patches with [ potrero =5 ] ]
  if ciclo =6 [move-to one-of patches with [ potrero =6 ] ]
  if ciclo =7 [move-to one-of patches with [ potrero =7 ] ]
  if ciclo =8 [move-to one-of patches with [ potrero =8 ] ]
  if ciclo =9 [move-to one-of patches with [ potrero =9 ] ]
if ciclo =10 [ move-toone-of patches with [ potrero = 10 ] ]
if ciclo =11 [ move-toone-of patches with [ potrero = 11] ]
  if ciclo =12 [ move-to one-of patches with [ potrero= 12 ] ]
  if ciclo =13 [ move-to one-of patches with [ potrero= 13 ] ]
  if ciclo =14 [ move-to one-of patches with [ potrero= 14 ] ]
  if ciclo =15 [ move-to one-of patches with [ potrero= 15 ] ]
  if ciclo =16 [ move-to one-of patches with [ potrero= 16 ] ]
  if ciclo =17 [ move-to one-of patches with [ potrero= 17 ] ]
  if ciclo =18 [ move-to one-of patches with [ potrero= 18 ] ]
  if ciclo =19 [ move-to one-of patches with [ potrero= 19 ] ]
  if ciclo =20 [ move-to one-of patches with [ potrero= 20 ] ]
  if ciclo =21 [ move-to one-of patches with [ potrero= 21 ] ]
  if ciclo =22 [ move-to one-of patches with [ potrero= 22 ] ]
  if ciclo =23 [ move-to one-of patches with [ potrero= 23 ] ]
]
]

```

```
if ciclo = 24 [ move-to one-of patches with [ potrero = 24 ] ] if ciclo = 25 [
move-to one-of patches with [ potrero = 25 ] ]
] ]
end

to-report leche-vaca
report mean [prod-leche] of vacas
end

to-report leche-hato
report sum [prod-leche] of vacas / 2 end

to-report sobrepisoteo_1
report patches with [ pisoteo <= 1 ] end

to-report sobrepisoteo_1_3
report patches with [pisoteo > 1 and pisoteo <= 3 ] end

to-report sobrepisoteo_3
report patches with [pisoteo > 3 and pisoteo <= 4 ] end

to-report sobrepisoteo_4
report patches with [pisoteo > 4 and pisoteo < 5 ] end

to-report sobrepisoteo_5
report patches with [pisoteo >= 5 ] end
```

#### Anexo 4. Protocolo de perspectivas, conceptos de diseño y detalles (ODD)

Dimensión	Componente	Guía de preguntas	Detalle
		¿Cuál es el propósito del estudio?	El propósito del modelo es explorar como algunas prácticas de ganadería sostenible pueden afectar las dinámicas de una ganadería tradicional orientada a la producción de leche, es decir como distintos factores afectan directamente su funcionamiento de una finca ganadera orientada a la producción de leche y así poder analizar como la implementación de estas prácticas pueden afectar la producción bajo distintos escenarios.
		¿Para quién está diseñado el modelo?	Este modelo está diseñado para los ganaderos de la finca Blonay, ubicada en la vereda San Gabriel de Sopo, Cundinamarca.
		¿Qué tipo de entidades hay en el modelo?	En este modelo se presentan dos tipos de entidades: Agentes móviles (vacas) y Agentes estáticos (pasto).
		¿Por qué atributos (es decir, variables de estado y parámetros) se caracterizan estas entidades?	Vacas: una variable de producción de leche, que representa los litros de leche que se produce cada individuo y una variable que determina su objetivo de desplazamiento/alimentación. Pasto: una de sus variables es el pisoteo el cual representa el nivel de pisoteo que esta teniendo el área otra variable es el pisoteo óptimo que determina el estado óptimo del área y la siguiente variable es el potrero la cual determina el potrero al cual pertenece el área con pasto.
		¿Cuáles son los factores / impulsores exógenos del modelo?	Variables exógenas: Precio de venta, Tiempo de permanencia en el potrero, Buenas practicas de ordeño, Sistemas Silvopastoriles (cercas vivas), Suplementación de concentrado e Hidratación (se adicionan los bebederos).
		Si corresponde, ¿cómo se incluye el espacio en el modelo?	El espacio está incluido en áreas con niveles de pisoteo y este está dividido en 25 potreros.
		<b>Prespectiva</b>	Descripción general y programación

	del proceso	temporales y espaciales del modelo?	Las dimensiones espaciales equivalen a 26 hectáreas las cuales están representadas en unidades de 10m <sup>2</sup> .
		¿Qué entidad hace qué y en qué orden?	Si el tiempo es adecuado las vacas cambian de potrero de acuerdo al orden determinado, luego las vacas fijan y se mueven a su objetivo de desplazamiento a uno de los parches de su potrero actual, estando sobre su objetivo aumentan el nivel de pisoteo en este, el parche cambia de color de acuerdo al pisoteo que este está presentando. Luego de que el parche cambia este nivel de pisoteo la vaca establece una producción de leche. Posterior a esto se da un proceso con el pasto el cual empieza por verificar si el valor de pisoteo es mayor al valor de pisoteo óptimo de ser así el pasto se recupera; este reduce su nivel de pisoteo en una cantidad determinada y nuevamente cambia su color dependiendo su nivel de pisoteo. Si los drivers de buenas prácticas de ordeño, concentrado y hidratación están encendidas se establecen nuevos niveles de producción de leche. Ahora si el sistema silvopastoril este encendido después de un periodo equivalente a 6 meses los niveles de producción de leche también se reestablecen. Posterior a esto se establece la producción total de leche del hato; Cada 30 ticks (15 días) se vende la producción de estos días trascurriendo una unidad de tiempo y se guardan los datos.
<b>Conceptos de diseño</b>	<b>Antecedentes teóricos y empíricos</b>	¿Qué conceptos generales, teorías o hipótesis subyacen al diseño del modelo a nivel del sistema o al nivel o los submodelos (aparte del modelo de decisión)? ¿Cuál es el vínculo con la complejidad y el propósito del	Las teorías o hipótesis que subyacen al diseño del modelo es la idea de transformar las ganaderías tradicionales en ganaderías sostenibles, por medio de sistemas ganaderos sostenibles (SGS), la idea es que por medio de estas prácticas la producción de dichas fincas aumente, pero generando un menor impacto ambiental (F. Zuluaga & Etter, 2017; Organización de las naciones

		modelo?	Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020). Este modelo fue diseñado para representar una finca ganadera orientada a la producción de leche con el fin de mostrar la estructura de la finca y su evolución dinámica a lo largo del tiempo en un periodo proyectado de 10 años. Este periodo de tiempo resulta característico para entender las condiciones de la finca, en particular del suelo y la producción que esta puede llegar a tener, todo esto con la finalidad de demostrar que los SGS pueden tener un efecto sobre la producción y estado de una ganadería Ganadero, 2020; Velasco, 2015; Sadeghian Siavosh, n.d)
		¿En qué supuestos se basa el modelo o modelos de decisión de los agentes?	Se asume que las vacas deciden desplazarse a áreas con menor pisoteo, también se asume que todo el pasto se regenera a la misma velocidad, que el incremento de producción dado por las prácticas sostenibles es estático.
		¿Por qué se eligen ciertos modelos de decisión?	N/A
		Si el modelo / submodelo (por ejemplo, el modelo de decisión) se basa en datos empíricos, ¿de dónde provienen los datos?	Bibliografías, artículos, informes, entrevistas semiestructuradas y encuestas.
		¿A qué nivel de agregación estaban disponibles los datos?	N/A
	<b>Toma de decisiones individuales</b>	¿Cuáles son los sujetos y los objetos de la toma de decisiones? ¿En qué nivel de agregación se modela la toma de decisiones? ¿Se incluyen múltiples niveles de toma de decisiones?	N/A

		¿Cuál es la racionalidad básica detrás de la toma de decisiones de los agentes en el modelo? ¿Los agentes persiguen un objetivo explícito o tienen otros criterios de éxito?	N/A
		¿Cómo toman sus decisiones los agentes?	Las vacas perciben los valores de pisoteo de los parches del potrero en donde se encuentran, de acuerdo con esto deciden a que parches dirigirse.
		¿Los agentes adaptan su comportamiento a los cambios de las variables de estado endógenas y exógenas? Y si es así, ¿cómo?	Si, cuando las variables exógenas están encendidas o se están aplicando los niveles de producción de leche aumenten, adicionalmente cuando el tiempo en el potrero cambian los niveles de producción se ven alterados.
		¿Las normas sociales o los valores culturales juegan un papel en el proceso de toma de decisiones?	N/A
		¿Los aspectos espaciales juegan un papel en el proceso de decisión?	SI, ya que en este modelo hay dos formas en que se aplica el espacio, la primera es en que las vacas tienen un desplazamiento así las áreas con menor nivel de pisoteo limitándose al potrero actual y la segunda es que en tiempos determinados las vacas se movilizan de un potrero a otro.
		¿Los aspectos temporales juegan un papel en el proceso de decisión?	NO
		¿En qué medida y cómo se incluye la incertidumbre en las reglas de decisión de los agentes?	Algunos de estos son representados con valores pseudoaleatorios como por ejemplo los niveles de producción de leche, estos fluctúan dentro de unos rangos que representan la incertidumbre.
	<b>Aprendizaje</b>	¿Se incluye el aprendizaje individual en el	NO

		proceso de decisión? ¿Cómo cambian los individuos sus reglas de decisión a lo largo del tiempo como consecuencia de su experiencia?		
		¿Se implementa el aprendizaje colectivo en el modelo?	NO	
	<b>Detección individual</b>	¿Qué variables de estado endógenas y exógenas se supone que los individuos perciben y consideran en sus decisiones? ¿El proceso de detección es erróneo?	N/A	
		¿Qué variables de estado de las que otros individuos puede percibir un individuo? ¿El proceso de detección es erróneo?	La variable de pisoteo es percibida por las vacas, esta es considerada para tomar sus decisiones.	
		¿Qué es la escala espacial de detección?	Por potrero.	
		¿Se modelan explícitamente los mecanismos por los cuales los agentes obtienen información o simplemente se supone que los individuos conocen estas variables?	Estas son asumidas.	
		¿Están incluidos explícitamente en el modelo los costos de cognición y los costos de recopilar información?	N/A	
		<b>Predicción individual</b>	¿Qué datos usa el agente para predecir condiciones	N/A

		futuras?	
		¿Qué modelos internos se supone que utilizan los agentes para estimar las condiciones futuras o las consecuencias de sus decisiones?	N/A
		¿Podrían los agentes estar equivocados en el proceso de predicción y cómo se implementa?	N/A
<b>Interacción</b>		¿Son interacciones entre agentes y entidades asumidas como directo o indirecto?	Son interacciones directas entre las vacas y el pastoreo.
		¿De qué dependen las interacciones?	Estas dependen de la espacialidad, es decir las vacas deben estar sobre el área específica.
		Si las interacciones implican comunicación, ¿cómo se representan dichas comunicaciones?	N/A
		Si existe una red de coordinación, ¿cómo afecta el comportamiento del agente? ¿La estructura de la red es impuesta o emergente?	N/A
<b>Colectivos</b>		¿Los individuos forman o pertenecen a agregaciones que afectan y son afectados por los individuos? ¿Son estas agregaciones impuestas por el modelador o surgen durante la simulación?	N/A
		¿Cómo se representan los colectivos?	N/A

	<b>Heterogeneidad</b>	¿Son heterogéneos los agentes? En caso afirmativo, ¿qué variables de estado y / o procesos difieren entre los agentes?	NO
		¿Son los agentes heterogéneos en su toma de decisiones? En caso afirmativo, ¿qué modelos de decisión u objetos de decisión difieren entre los agentes?	N/A
	<b>Estocasticidad</b>	¿Qué procesos (incluida la inicialización) se modelan asumiendo que son aleatorios o parcialmente aleatorios?	No hay procesos aleatorios, sin embargo, hay procesos parcialmente aleatorios como por ejemplo el establecimiento del nivel de pisoteo óptimo y la producción de leche de cada vaca.
	<b>Observación</b>	¿Qué datos se recopilan del ABM para probarlos, comprenderlos y analizarlos, y cómo y cuándo se recopilan?	Se está extrayendo el tiempo, la producción de leche por vaca, del hato y las ventas quincenales.
		¿Qué resultados, productos o características clave del modelo están surgiendo de los individuos? (Aparición)	A partir de la interacción que hay entre las vacas, el suelo y el pisoteo se obtiene resultados basados en la producción que hay en la finca y como está es afectada por el pisoteo del ganado.
<b>Detalles</b>	<b>Detalles de implementación</b>	¿Cómo se ha implementado el modelo?	El modelo fue implementado sobre la base de cuatro escenarios. En cada uno de ellos se buscó entender cómo se afectaría la producción lechera del hato a partir de la modificación de prácticas como las BPO, sistemas silvopastoriles, hidratación y concentrado en un periodo de 10 años. Cada escenario se corrió 10 veces para modificando parámetros del tamaño del hato en rangos de cinco vacas entre 30 y 60, y de tiempo en el potrero entre 1 y 6 días, cada día. En total cada escenario tuvo 420 corridas.

		¿Es accesible el modelo y, de ser así, ¿dónde?	NO
<b>Inicialización</b>		¿Cuál es el estado inicial del mundo del modelo, es decir, en el tiempo $t = 0$ de una ejecución de simulación?	$t=0$ las vacas se sitúan en el potrero 1 y todos los parches tiene su nivel de pisoteo óptimo.
		¿La inicialización es siempre la misma o se permite variar entre simulaciones?	La inicialización es prácticamente la misma, cambian ligeramente la ubicación de las vacas en el potrero 1 y varían mínimamente los niveles de pisoteo óptimo de cada parche.
		¿Los valores iniciales se eligen arbitrariamente o se basan en datos?	El número de vacas es de datos, los valores de pisoteo son de datos.
<b>Entrada Datos</b>		¿Utiliza el modelo información de fuentes externas, como archivos de datos u otros modelos, para representar procesos que cambian con el tiempo?	No
<b>Submodelos</b>		¿Cuáles son, en detalle, los submodelos que representan los procesos enumerados en "Descripción general y programación del proceso"?	N/A
		¿Cuáles son los parámetros del modelo, sus dimensiones y valores de referencia?	N/A
		¿Cómo se diseñaron o eligieron los submodelos, y cómo se parametrizaron y luego se probaron?	N/A

## Anexo 5. Marco conceptual

La ganadería bovina (leche y carne) es una de las principales actividades socioeconómicas que tiene Colombia, ya que esta le aporta aproximadamente un 1,6 % al PIB nacional y genera el 6% de empleo total nacional (Zuluaga & Etter, 2017); Mahecha & Gallego, 2002). Sin embargo, la ganadería genera impactos ambientales y tiene una baja productividad (Zuluaga & Etter, 2017). Aproximadamente hay 25 millones de cabezas de ganado en Colombia, donde 6 millones están dedicadas a la producción de leche, lo que significa que estas requieren de amplias extensiones de tierra para su forrajeo, generando un incremento en los niveles de deforestación lo cual lleva a la degradación de la vegetación, provocando así una mayor erosión en el suelo y esto conduce al deterioro de su fertilidad y estructura, a su vez genera pérdida de biodiversidad y conexión, por ultimo mas no menos importante la producción no es directamente proporcional a los gastos de mantenimiento de la ganadería (Mahecha L, Gallego LA, 2002; Nallar et al., 2017).

Esta problemática se ha abordado implementando sistemas de manejo basados en los SGS (sistemas ganaderos sostenibles) en diferentes zonas del país, tales como áreas de tierras bajas, andinas y altoandinas (Zuluaga & Rivera, 2013; Castro et al., 2009). Sin embargo, se desconoce cómo se han implementado estos sistemas en zonas como la sabana de Bogotá. Conocer este tipo de información es importante ya que por medio de esta se puede hacer un análisis sobre cómo se está manejando la ganadería en la sabana de Bogotá, es decir por medio de esta información se puede llegar a un análisis en donde se determine si la ganadería enfocada en un solo propósito, la producción de leche se está manejando de tal manera que no esté generando grandes impactos ambientales y esté produciendo más de lo que se gasta en su cuidado y mantenimiento o nos permite ver que esta no está siendo sostenible y por ende requiere de una intervención (Figura 1. Anexo 5).

Para comenzar podemos hablar sobre la economía ecológica enfocados en la oferta y demanda. La ganadería en Colombia ha sido una de las actividades socioeconómicas mas importantes debido a la demanda que hay sobre sus productos (leche y/o carne). La demanda de estos productos es cada vez más elevada debido a las diferentes dietas o costumbres alimenticias que tiene la población colombiana (Holmann et al., 2004); ahora bien si nos enfocamos en las ganaderías orientadas a un único propósito (producción de leche) observamos que estas día a día aumentan sus extensiones de tierra generando un mayor impacto ambiental(Zuluaga & Etter, 2017), debido a que buscan producir en gran medida para así abastecer la demanda de leche y/o productos derivados de la leche y para lograr esto expanden sus terrenos con la idea de que al expandirse tiene más forraje o materia seca y eso equivale a más alimento para el ganado (Mahecha L, Gallego LA, 2002) .



zonas son aptas para el pastoreo y que zonas deberían ser restringidas (F. Zuluaga & Etter, 2017;(Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020)

Adicionalmente se ha descubierto en Australia que al implementar prácticas como forrajes y herramientas como el pastoreo rotacional se puede tener alimento suficiente para suplir al ganado durante un año, adicionalmente se ha observado que hay una mejora en la producción (Ganadero, 2020). Por otra parte, en Ecuador se ha descubierto una nueva forma de ganadería sostenible la cual es llamada Ganadería Tropical paso a paso fundada por Leopoldo Viteri, esta ganadería implementa prácticas como pastoreo racional Voisin (PRV), en donde se ha comprobado que al implementar y administrar de manera adecuada esta práctica puede provocar que al primer año se produzca tres veces más que lo que se produciría si se mantiene la ganadería convencional (Velasco, 2015).

Ahora bien en la sabana de Bogotá, se han realizado estudios donde se ha querido averiguar si la ganadería ha tenido un impacto en los suelos, es decir si esta actividad ha provocado que los suelos sean menos fértiles, presenten una mayor erosión, debido a la compactación que estos sufren por consecuencia del pisoteo que genera el ganado, adicionalmente se ha probado que estos animales generan una pérdida en las propiedades físicas de los suelos provocando de esta forma que el alimento de estos como el pasto se reduzca provocando así que los ganaderos inviertan en concentrados o en químicos que permitan mantener la producción (Sadeghian Siavosh, n.d.). Adicionalmente, se ha encontrado que la ganadería juega un papel importante para esta región debido a la demanda que hay de productos lácteos y una de las principales razones es que en esta zona se encuentra una las principales productoras y comercializadoras de productos lácteos llamada Alpina.

## **Bibliografía**

- Arocena, R., Chalar Marquisá, G., Perdomo, C., Fabián, D., Pacheco, J., Piana, M., Olivero, V., Silva, M., & García, P. (2013). Impacto de la producción lechera en la calidad del agua. In INIA Actividad de difusión. (Vol. 5).
- Barrios, M., Sandoval, E., Camacaro, O., Sánchez, D., Domínguez, L., & Márquez, O. (2011). Leucogram and protein profile in dual purpose crossbred calves, resistant and susceptible to natural infection by gastrointestinal nematodes. *Zootecnia Tropical*, 29(3), 313–321.
- Chavarría, M. (2007). Producción Ganadera e Impacto Ambiental. Eroski Consumer. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2007/03/01/26920.php>
- CUNDINAMARCA, A. D. S.-. (2020). Economía. 01/03/2020. <http://www.sopocundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

- F. Zuluaga, A., & Etter, A. (2017). Áreas aptas para la actividad ganadera en Colombia | Biodiversidad 2017. Biodiversidad / Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap4/403/index.html#seccion6>
- Ganadero, Con. (2020). Conozca algunas experiencias de ganadería sostenible en el mundo | CONtexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. <https://www.contextoganadero.com/internacional/conozca-algunas-experiencias-de-ganaderia-sostenible-en-el-mundo>
- Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L. A., Guzmán, S., Martínez, M., Medina, A., & Farrow, A. (2004). Producción de Leche y su Relación con los Mercados: Caso Colombiano CIAT ILRI Laura, C., Díaz-Bravo, P., Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Inv Ed Med*, 2(7), 162–167. [www.elsevier.es](http://www.elsevier.es)
- Mayta-Hanco, J., Trujillo, A.-J., & Juan, B. (2020). Tecnología de los quesos bajos en grasa. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 30(4), 1382–1394. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17357>
- Nallar, R., Rolón, W., & Mollericona, J. L. (2017). Manual para la gestión de una ganadería sostenible.
- Organizacion de las naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (2020). Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe | Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. <http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/>
- Sadeghian Siavosh, R. J. M. y G. M. E. (n.d.). Siavosh - Impacto de sistemas de ganaderia... de suelos. Retrieved April 11, 2020, from <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>
- Velasco, L. (2015). Pastoreo Racional Voisin 1era Parte - YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=eJ67-cbRsQQ>

## Anexo 6. Perspectiva metodológica

La metodología seguida durante el desarrollo de este trabajo se ilustra en la figura 1. Nuestra aproximación tomó como referencia tanto lo encontrado en la literatura como testimonios y narrativas de ganaderos y/o trabajadores. El primer reto fue establecer los factores que afectan directamente los niveles de producción, gastos y el impacto ambiental de una ganadería mediana (no más de 100 vacas y no menos de 30 vacas) y observar cómo influían o determinaban los niveles de estos. Posterior a esto se realizó una investigación sobre que posibles modelos podrían ejemplificar o representar dichos factores de tal manera que se pudiera evidenciar la manipulación de diferentes variables, con la finalidad de simular la estructura de la finca y la evolución dinámica de la producción lechera a lo largo del tiempo. Para representar lo anterior, construimos un modelo basados en agentes que nos permitió describir los agentes o individuos de la finca como entidades únicas que interactúan entre sí y con su entorno. Este fue la base de simulaciones el cambio que podría tener una ganadería orientada a la producción de leche, al implementarle sistemas de manejo de ganadería sostenible. El diseño metodológico constó de tres fases: 1) pre-campo, 2) campo, 3) análisis de datos, las cuales se detallan a continuación.

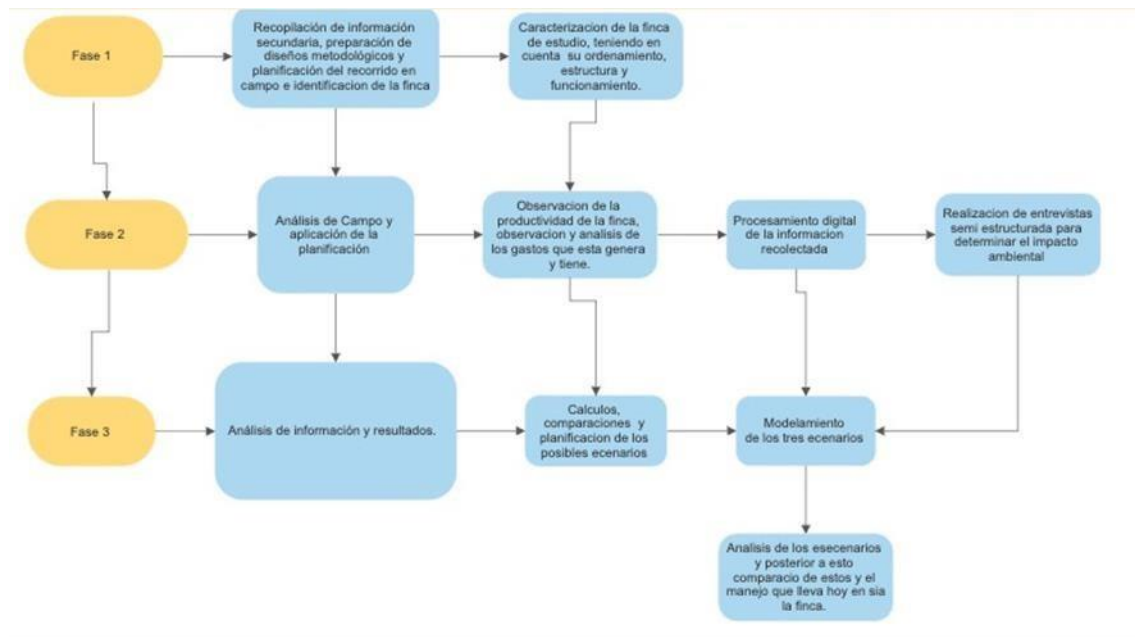


Figura 1. Anexo 6. Diagrama del procedimiento metodológico del proyecto.

### FASE 1. Pre-Campo

Se diseñaron los recorridos de campo en la finca seleccionada para así realizar una caracterización estructural y funcional del predio, para esto se observó el área de

estudio y se realizó una pequeña encuesta (Anexo.1) en donde se abarcó la dimensión de la finca, el equipamiento de ésta a nivel de maquinaria, adicionalmente se evaluaron las instalaciones que esta presenta para la producción, el capital de trabajo es decir el grado de intensidad de uso de mano de obra contratada, también se tuvieron en cuenta los aspectos organizacionales con la finalidad de saber el número de ordeños al día que se realizan en la finca asimismo se observó el manejo que se le da al reporte de producción de estos de la misma manera se observó el manejo de la salud animal y del ordeño (Páez et al., 2003) posterior a esto se realizó una selección de variables relevantes de los aspectos funcionales de la unidad de producción. Con el propósito de definir una línea base para comparar los resultados de las simulaciones, acopiamos y analizamos reportes de producción de la finca de los años 1990 y 1991.

## **FASE 2. Campo**

Se realizó una observación de la disponibilidad y calidad de las instalaciones y equipos para la actividad ganadera, para esto se realizó un inventario el actual abarcaba número de corrales de aparte, cercas, comederos/bebederos, equipo de ordeño, entre otros. Asimismo, se realizó un análisis sobre el capital de trabajo de la finca, es decir, se observó el nivel de intensidad en el uso de mano de obra contratada. Para esto se consideró el número de personas y el tiempo que duran trabajando. También se analizaron los aspectos organizacionales que tiene la finca, algunos de estos fueron: la cantidad de veces que se ordeñaba al día, cada cuánto rota el ganado de potrero y seguido a esto se reportó la superficie total de la finca y de cada potrero, el volumen de producción diaria de leche y el número de cabezas de ganado que está en el ordeño. Conforme con lo anterior, se realizaron conversaciones informales, estas se realizaron a la propietaria, con la finalidad de evaluar la edad del productor, el grado institucional, su experiencia laboral en el ámbito agrario orientado a la producción de leche. También se conversó con los trabajadores de la finca con la idea de obtener sus puntos de vista con respecto a los SGS y sobre su implementación en la finca, es decir, se buscó observar si estos consideraban viable la ejecución de estas prácticas sostenibles, debido a su experiencia y contacto directo con la estructura y funcionamiento de la finca.

## **FASE 3. Análisis de datos**

Esta fase se centró en la sistematización y análisis de los datos obtenidos de la producción que había tenido la finca en los años 1990 y 1991, como también teniendo en cuenta las observaciones de campo. Posterior a esto se realizó un modelo basado en agentes el cual está explicado en el Anexo 3, el cual muestra el protocolo ODD (Overview, Design Concepts and Details). Este modelo nos permitió modelar la estructura de la finca y su evolución dinámica a lo largo del tiempo en un periodo proyectado de 20 años, ya que es en este periodo de tiempo que se puede realizar un análisis característico sobre las condiciones de la finca, en particular del suelo y la producción que esta puede llegar a tener, por ejemplo, si tenemos en cuenta la vida útil de una vaca que en promedio es de 10 años en las condiciones actuales, requerimos

de un espacio de tiempo mínimo (10 años) en donde se garantice la comparación de la producción de los animales del sistema tradicional con los animales del sistema sostenible.

Para la construcción del modelo se utilizó el software de NetLogo 6.1.1 (Railsback et al., 2012). En primer lugar, analizamos cuáles serían las variables exógenas y endógenas en el modelo. Posterior a esto, se comenzó a desarrollar la línea base del modelo (escenario base) este tiene como finalidad simular algunas de las condiciones actuales de la finca con el fin de obtener simulaciones de los datos asociados al comportamiento de la producción. A partir de este modelo se comenzará a analizar el por qué es relevante los días de permanencia del hato en el potrero a la hora de ver niveles de producción, del mismo modo se quiere entender de qué manera las buenas prácticas de ordeño, los sistemas silvopastoriles (cercas vivas), la inclusión de concentrado y hidratación (inclusión de bebederos) explican los cambios significativos en la producción. En respuesta a lo anterior se buscó simular cuatro posibles escenarios los cuales muestran cómo afectarían las prácticas de ganadería sostenible la producción y como sería el impacto ambiental de dicha finca si éstas fueran implementadas.

## Anexo 7. Lineamientos publicación Ambiente y Desarrollo

Revista: Ambiente y Desarrollo de la Pontificia Universidad Javeriana, sede en Bogotá.

Directrices para autores/as:

### REQUISITOS DE FORMA PARA PRESENTACION DEL ARTICULO:

- Estructura del artículo: título, autor(es), resumen, introducción, resultados, discusión, conclusiones, literatura citada.
- Tamaño del documento: máximo 15 páginas tamaño carta (216 x 279 mm) a espacio sencillo, máximo 45 renglones por página, en letra arial 12 puntos. Todo documento debe incluir un resumen máximo de 15 líneas, de ser posible en inglés, francés y español y palabras clave.
- El autor(s) debe registrarse en la plataforma ORCID. Para ilustraciones y mapas se debe especificar claramente la fuente y la página donde deben insertarse. Los documentos deberán estar procesados en Word de Windows y en Excel, para gráficas y cuadros. Se deben especificar todas las siglas utilizadas en el documento.
- Notas a pie de página: se emplearán sólo para hacer aclaraciones o aportar datos adicionales; no deben emplearse para referencias bibliográficas, pues éstas irán dentro del cuerpo del texto.
- Referencias bibliográficas: dentro del texto se utilizará el sistema de paréntesis, así:
  - (Apellido, año; por ejemplo: García,2001). Cuando hay citas textuales:(Apellido, año, p. xx; por ejemplo: Caicedo,2003, p.12).
- Citación de referencias bibliográficas: la Revista Ambiente y Desarrollo utiliza las normas de calidad establecidas por American Psychological Association (APA), las cuales son aplicables a la presentación de artículos para la Revista. Por ello las citaciones de referencias bibliográficas deben ir al final del artículo en orden alfabético, teniendo en cuenta para cada caso, el siguiente formato (requisito indispensable):
  - LIBROS. Apellido, Nombre (año). Título. Ciudad: Editorial. Ejemplo: Vidal, P. (1992). La reforma agrícola moderna. La Paz: Milenium.
  - ENSAYOS DENTRO DE COMPILACIONES. Apellido, Nombre (año). Título del ensayo. En: Nombre Apellido (Eds.) /(comps.), Título del libro (rango de páginas citado). Ciudad: Editorial. Ejemplo: Fernández, S. (2001). La política rural y el debate agrario en Colombia. En R. García y M. Peláez (Eds.), Las políticas rurales: última década (pp. 101-200). Bogotá: Javergraf-Universidad Javeriana.
  - ARTÍCULOS DE REVISTAS Apellido, Nombre (año). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (número), rango de páginas citado. Ejemplo: Forero, S. M. (1991). La modernización de la economía campesina. Revista Debate Agrario, 6 (2),110-125.

- PONENCIAS Y COMUNICADOS EN CONGRESOS. Apellido, Nombre (año). Título de ponencia o comunicado. En Nombre, Apellido (Ed.), Título del evento (rango de páginas citado). Ciudad: Editorial. Ejemplo: Miranda, A. (1985). Conocimiento campesino: nueva estrategia de desarrollo. En R. Pérez (Ed.), Memorias del III Congreso de Desarrollo Rural (pp. 30- 45). Bogotá: Panamericana.
- CONFERENCIAS. Apellido, Nombre (año, mes). Título. Documento presentado en... Ciudad, País. Ejemplo: Arias, G. C. (1999, enero). El desplazamiento forzado en Urabá. Documento presentado en el III Taller de Análisis Social, Lima, Perú.
- INFORMES PUBLICADOS Y NO PUBLICADOS. PUBLICADOS. Apellido, Nombre (año). Título. Ciudad: Entidad encargada, N° de páginas. Ejemplo: Masias, M. y Caiza, S. (2003). Informe de campo. México D.F: Ministerio de Agricultura, 105 p.
- NO PUBLICADOS. Apellido, Nombre (año). Título. Manuscrito no publicado. Ejemplo: Ledesma, N. y Álvarez, D. (2007). Informes de campo. Manuscrito no publicado, 80 p.
- INTERNET. Apellido, Nombre (año). Título. Recuperado el día del mes del año, dirección electrónica. Ejemplo: Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural (2006). Cifras de producto interno bruto 2005-2006. Recuperado el 22 de agosto de 2006, de [http://www.minagricultura.gov.co/paginas\\_detalle.aspx?idp=281](http://www.minagricultura.gov.co/paginas_detalle.aspx?idp=281).

#### COSTOS DE PROCESAMIENTO Y ENVIO DE ARTICULOS:

- La revista Ambiente y Desarrollo no cobra costos de procesamiento ni envío de artículos
- Confirmación de registro de la autora Maria Paula Urbina Pulido, estudiante de la Pontificia Universidad Javeriana en ORCID - Connecting Research and Resarcres: ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4992-1017>