

# Simulación Artificial de la Función de Energía de una Vaca en Entornos Heterogéneos

J. Suárez-Arbeláez<sup>1</sup>, C.A. Sierra<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia, jsuarezarb1@uniminuto.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Grupo de Investigación ALIFE, Colombia, casierrav@unal.edu.co

<sup>3</sup>Corporación Universitaria Minuto de Dios, Investigaciones TI, Colombia, csierravirg@uniminuto.edu.co

*Resumen— En el contexto ganadero las vacas reflejan la calidad de la leche que producen por el tipo de alimento que consumen y el manejo que reciben por parte de los productores rurales. Los productores aplican prácticas deficientes de pastoreo causando degradación en los pastos, y por ende disminución en la calidad y valor nutritivo que aportan. Por lo tanto, se plantea construir un modelo computacional que permita representar de forma aproximada el comportamiento de ganado bovino en la producción de leche a partir de un conjunto de parámetros establecidos teniendo en cuenta factores ambientales. El modelo representa un acercamiento preliminar al sistema lechero teniendo en cuenta la dinámica de interacción de las vacas con el pasto, y la obtención de energía para el desarrollo del bovino en su ciclo de producción. Entre los resultados se tienen comportamientos emergentes similares a los que suceden en el mundo natural; sin embargo, estos comportamientos aún requieren ser más precisos para hacer predicciones efectivas hacia los productores.*

*Palabras clave—Producción de Leche, Simulación, Sistema Agrícola, Vida Artificial*

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agropecuarios, definidos a partir del concepto tradicional de sistemas como un conjunto de elementos que relacionados entre sí realizan determinadas acciones para cumplir un objetivo [1], involucran actividades de campo que son clasificadas según sus características y tipo de producto sobre el cual se realizan (agrícola, pecuario, económico, socio-cultural, ambiental), y pueden ser combinadas y guiadas por un productor y su familia en un entorno determinado para garantizar la reproducción de su explotación de forma constante [2].

En el sector pecuario, con relación al ganado bovino o vacuno, maneja actividades que se encuentran relacionadas con las vacas, bueyes y toros; estos animales por los beneficios alimenticios y económicos que generan, son usados por los productores en su actividad ganadera aplicando diferentes métodos para la producción de carne, leche o trabajo [3].

En el caso del sistema de producción de leche, este puede desarrollarse a la periferia de la ciudad (en un proceso más industrializado) ó en zonas rurales con amplios espacios para el ganado. También, la producción de leche forma parte del sistema de producción agrícola y pecuaria en general, pues los residuos de cultivos y hierbas sirven de alimento al animal,

permitiendo la reutilización apropiada de los desechos de otros sistemas productivos [4].

Por lo tanto, el sistema de producción de leche comparte con el sistema tradicional agropecuario sus componentes, enfocando sus actividades en el bovino lechero [5] en pro del desarrollo de una cadena productiva que tiene como fin la comercialización de la leche como producto.

No obstante, en el ecosistema lechero hay factores climáticos, de manejo asociados al pastoreo, capacidad de carga animal, y cuidado del pasto, que influyen en la mínima calidad y valor nutricional de los pastizales y la alta degradación que estos poseen causando por ende una baja productividad ganadera [6].

Tradicionalmente los bovinos lecheros consumen pasturas para el desarrollo de sus aspectos funcionales y productivos permitiendo de manera directa la producción de leche o proteína [7]. El clima en condiciones extremas de frío o calor altera en el pasto sus características fisiológicas, importantes para definir su valor nutricional; en el ganado, las condiciones climáticas modifican su proceso alimenticio y condiciona su comportamiento en su esfuerzo por mantener su temperatura corporal, implicando reducciones en los índices productivos de leche [8].

En el manejo de los potreros hay prácticas deficientes que ocasionan degradación de los pastos. En una zona del Valle del Cauca, parte del trópico alto colombiano, donde el 85% de la zona se destina a la producción tanto de leche como de carne en ganado bovino con pasturas en más del 90% de la superficie, se dejan los animales en pasturas de baja productividad y en el mismo lugar en un periodo de 3 a 10 años. Adicionalmente no hay aplicación de técnicas de pastoreo o rotación de potreros. Estas prácticas y condiciones de terreno poco apropiadas ocasionaron en periodos largos de tiempo, cerca de los 15 meses, baja producción de leche y baja cantidad de animales eficientes por hectárea [9].

Una de las prácticas convencionales que permiten aumentar la productividad de los bovinos lecheros es el uso adecuado de un sistema de pastoreo [10]. Esta técnica incluye el cuidado de las pasturas con relación al manejo del hato bovino y tiene como objetivo mantener una alta producción de

pastos de calidad. INATEC (2016) describe cuatro tipos de pastoreo: el pastoreo continuo, el pastoreo rotativo, el pastoreo en franjas, y el pastoreo diferido.

En el pastoreo continuo se deja al ganado libremente y de manera permanente en un potrero sin la presencia constante del productor. Esta libertad impide la recuperación de los pastos, el consumo rápido de plantas deseadas y el incremento de las plantas menos deseadas. Esto impide una estimación favorable del nivel de calidad de leche producida. El pastoreo rotativo consiste en dividir un terreno en múltiples potreros para alternar en cierto periodo de tiempo el ganado en un potrero determinado y dar tiempo para la recuperación de las otras divisiones.

El pastoreo en franjas considera el uso de cercas eléctricas en los potreros para alimentar al ganado en cierto intervalo de tiempo, permitiendo la recuperación del pasto, la manipulación de animales según su carga, y disponibilidad del pasto en cualquier época del año; este tipo de pastoreo, aunque es recomendable para ganadería lechera, resulta costoso en la compra y manipulación de la cerca. El pastoreo diferido implica el descanso de algunos potreros durante cierto periodo de tiempo antes de su uso; las pasturas en este tipo de estrategia, debido a su excesiva madurez, pierden proteína, haciendo difícil la producción de leche [11], (p. 69-73).

El campo de la ingeniería, de mano con la tecnología, en su esfuerzo por incrementar la actividad económica, aportar un desarrollo eficiente y productivo de los sistemas agropecuarios, se ha valido de técnicas y métodos para apoyar este fin [12]. Específicamente, en los sistemas productivos de leche investigadores han usado como recurso estadístico, entre otras técnicas matemáticas, el análisis multivariado donde a partir del análisis de datos se busca con mayor precisión y efectividad posible caracterizar sistemas de producción para interpretar situaciones con relación al ganado [13].

También se han empleado técnicas de cómputo asociadas a simulaciones que en su aproximación por representar el sistema de producción real de leche, marcan intereses en este panorama como los orientados a determinar valores económicos, funcionales y productivos de los bovinos con el fin de buscar el mejoramiento genético del animal [14], considerando dentro del ciclo productivo del bovino distribuciones de probabilidad y funciones matemáticas para asumir su interacción con el pasto. Adicional a esto, se han empleado simulaciones que consideran la relación del pasto con el animal obedeciendo a modelos predador – presa [15], detallando elementos inherentes tanto al pasto y el bovino en sus resultados, pero sin considerar el factor productivo de la leche.

Un caso de estudio aplicado a la producción de leche para identificar su productividad, competitividad y rentabilidad en relación con el uso de la tecnología, confirma en sus resultados que la implementación de tecnologías en aspectos asociados con la adopción de pasturas mejoradas y uso de pasturas en rotación, aseguraron el incremento de la competitividad, la rentabilidad y la productividad en fincas lecheras [16].

En este sentido, disciplinas como la ingeniería de sistemas pueden, en la aplicación de sus técnicas y herramientas computacionales, aportar un mejor y rápido acceso a estimaciones sobre prácticas ideales de potreros en los sistemas productivos lecheros según las características particulares de pasto y vaca que tenga cada productor rural en su sistema lechero.

Este artículo se divide en las secciones que se describen a continuación. En la Sección II se presenta un modelo propuesto el cual basado en autómatas celulares y agentes artificiales pretende obtener de forma emergente comportamientos de producción de leche a partir de la interacción entre el ganado y las pasturas. En la Sección III se muestran los experimentos realizados en distintos escenarios para obtener distintos comportamientos. En la Sección IV se hace una discusión a partir de los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Finalmente, se presentan las Conclusiones y el Trabajo a Futuro.

## II. ENFOQUE PROPUESTO

El modelo consta de técnicas computacionales basadas en autómatas celulares y agentes artificiales, que permiten representar el alimento de la vaca (como hábitat) con sus características particulares en cada sector del terreno, y al animal con características restringidas de ser vivo para que interactúe autónomamente con las pasturas. Estas dos perspectivas se integran en un sistema que parametrizado logra posibles escenarios con diversas calidades de pastos, y se evalúan para a ilustrar el comportamiento de los bovinos en su función productiva de leche.

En primera instancia, se debe definir bajo la técnica computacional de autómatas celulares un modelo espacial adecuado que represente el pasto con su ambiente. Una vez definido, se establece en cada celda que compone el autómata estados o información particular del pasto, y de este con relación al ambiente. Adicional a esto, se identifican los componentes y procesos que relacionados directamente con el pasto inciden en su crecimiento y desarrollo, para representar este tipo de hierba por medio de fórmulas matemáticas. Luego, se prueba el modelo de pastos para determinar su aproximación con la realidad y viabilidad para realizar los ajustes necesarios.



Figura 1. Modelo espacial

Definido el modelo espacial que representará el escenario artificial, se especifica la información propia que va a representar a cada vaca sintética (agente); detallando sus atributos, las percepciones que recibe del entorno más cercano (la información de cada celda que compone el autómata en representación del pasto y su ambiente), las acciones a tomar según la dinámica de relación que va efectuando con las pasturas y las reglas generales que restringirán su comportamiento en el escenario mientras desarrolla su ciclo de vida. También, se establecen funciones matemáticas que contemplen las variables que inciden en el comportamiento de la población para monitorear las decisiones que toman los agentes.

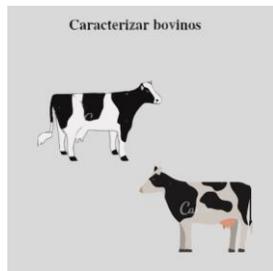


Figura 2. Multi-agentes

Posteriormente, a partir de las características del sistema artificial a representar, en un ejercicio de análisis y diseño se plantea la arquitectura que llevará el sistema productivo de leche a simular. Bajo la perspectiva en los modelos diseñados se construye la herramienta computacional, integrando funcionalmente el modelo multi - agentes con el modelo espacial definido por los autómatas celulares. Resulta pertinente en su integración, perfeccionar los estados del modelo espacial y las reglas de interacción de los agentes, ya que son imprescindibles para el análisis del comportamiento del sistema. Realizado esto, se definen los parámetros (variables con sus valores) de entrada generales que se tendrán en cuenta en la experimentación del funcionamiento del sistema productivo de leche.

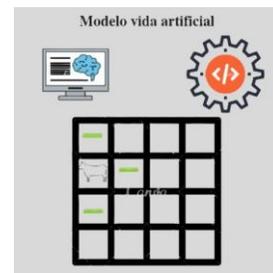


Figura 3. Simulación artificial

Por último, se define con sus características, la cantidad de escenarios posibles del sistema productivo de leche a probar. Tales características se dan a partir de la modificación de los valores en las variables establecidas como parámetros generales. Seguido esto, se toma como insumo los casos de uso (definidos como uno de los modelos en la arquitectura del sistema) para especificar los casos de prueba; útiles para determinar qué se evalúa y qué se espera de cada escenario. Con base a estos casos de prueba, se corren los escenarios repetidas veces para tabular los resultados y así determinar el comportamiento regular del sistema abstracto. Se analiza el funcionamiento del sistema a partir de los datos obtenidos como resultado, comparándolos con información que tengan fundamento teórico real. Pasos necesarios para realizar nuevos planteamientos y modificaciones que promuevan mejoras en el sistema productivo de leche.



Figura 4. Experimentos y evaluación

### III. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Se definió un escenario de producción de leche, de tal forma que se puede hacer uso de una simulación que a través de parámetros definidos, se puede hacer predicción de la calidad de leche que se puede llegar a obtener; como parte de su valor composicional, en términos de porcentaje de proteína y porcentaje de grasa, tal y como lo definió el gobierno colombiano a través de una resolución emitida en el año 2012 para motivar al ganadero mediante bonificaciones en la producción de leche con calidad [17].

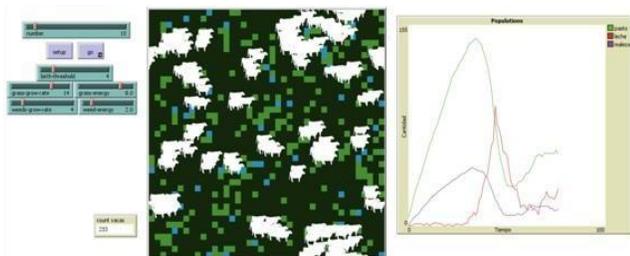


Figura 5. Escenario general simulado

El sistema de producción de leche simulado se desenvuelve en un potrero. El hato en el sistema productivo recibe un valor de energía inicial máxima de 10, definida por proteína (aleatorio, valor máximo de 5) más grasa (aleatorio, valor máximo de 5); el valor de energía se usa para manipularlo en el desarrollo de vida de la vaca.

Se asume que el pastoreo es continuo, es decir, las vacas deambulan libremente en el terreno; mientras estas se mueven pierden dos unidades de energía. La vaca consume pasto y malezas, (definidas aleatoriamente en posición y cantidad en el terreno) cada alimento con diferente valor nutritivo según su calidad. Las condiciones bajo las cuales la vaca produce leche, se dan a partir de una cantidad de energía que debe ser superior a un umbral que funciona como variable (se representa visualmente por la cantidad de vacas que de nuevo se reproducen en el potrero) y mueren, es decir, deja de existir producción de leche si su energía es menor a un valor constante de 0.3.

Los parámetros usados en el experimento son cantidad inicial de animales en el potrero, umbral para reproducción de leche, valor nutritivo del pasto, valor nutritivo de otro tipo de plantas denominadas malezas y velocidad de crecimiento de las hierbas. Se evaluaron los siguientes escenarios representando situaciones genéricas por medio de los parámetros de entrada del experimento.

En el primer escenario se analizó el comportamiento de las vacas para una producción de leche estable, es decir en un terreno con forrajes conservados. En el segundo escenario se analizó el comportamiento de las vacas para una producción de leche inestable, es decir en un terreno con forrajes abandonados. En el tercer escenario se analizó el comportamiento de las vacas para una producción de leche equilibrada, es decir en un terreno con forrajes medianamente abandonados.

Ahora bien, corrido cada experimento 15 veces, se determinó parcialmente como criterio para cuantificar los resultados, sacar el promedio de la energía obtenida del hato, de la vaca y la cantidad de pasto y maleza resultante en la representación del sistema en cada escenario, definiendo la

viabilidad del mismo a partir del 65% de la cantidad resultante de energía de cada vaca. De esta manera en cada escenario.

Escenario 1			
Iteración	Energía - Hato	Cantidad Pasto	Cantidad Maleza
1	31,20	63,4	3,7
2	0,9	26,1	7,6
3	0,90	87,5	20,4
4	0,80	25,3	5,53
5	1,20	72,9	14,7
6	1,90	34,4	6,85
7	1,70	53,6	12,5
8	24,10	51,7	12,1
9	0,62	27,5	7,3
10	22,80	61,4	16,5
11	1,24	25,9	5,81
12	28,40	60,9	16,8
13	0,60	27,2	8,2
14	1,00	39,3	9,8
15	0,70	42,9	8,9
<b>Total</b>	<b>118,06</b>	<b>700,00</b>	<b>156,69</b>

<b>Promedio</b>			
<b>Energía Hato</b>	7,87	46,66	10,44
<b>Promedio</b>			
<b>Energía Vaca</b>	0,78		

Tabla 1. Experimento escenario 1

Escenario 2			
Iteración	Energía - Hato	Cantidad Pasto	Cantidad Maleza
1	0,20	6,6	3,9
2	1,26	7,51	2,56
3	0,65	7,04	5,73
4	0,75	8,27	4,72
5	1,80	8,44	3,77
6	1,43	6,01	2,54
7	0,93	5,25	3,74
8	1,03	6,72	3,21

9	1,26	5,68	3,52
10	0,93	11,25	5,45
11	0,80	5,23	2,74
12	1,21	6,43	4,51
13	0,50	7,51	2,49
14	0,65	5,65	3,69
15	0,00	3,47	4,27
<b>Total</b>	13,40	101,06	56,84

<b>Promedio Energía Hato</b>	0,89	6,73	3,78
<b>Promedio Energía Vaca</b>	0,08		

Tabla 2. Experimento escenario 2

Escenario 3			
Iteración	Energía - Hato	Cantidad Pasto	Cantidad Maleza
1	0,18	21,8	6,43
2	0,52	26,1	8,3
3	0,75	22,57	6,36
4	1,10	42,6	11,5
5	0,47	18,74	7,19
6	0,44	17,5	3,92
7	0,60	38,7	9,5
8	1,20	47,3	15,2
9	24,70	58,5	14,5
10	0,76	21,17	4,88
11	0,80	39,5	14,5
12	0,72	24,43	6,31
13	25,30	48,5	13,6
14	0,9	37,9	7,9
15	0,86	30,84	10,2
<b>Total</b>	57,54	406,81	130,09

<b>Promedio Energía Hato</b>	3,83	27,12	8,672666667
--------------------------------------	------	-------	-------------

<b>Promedio Energía Vaca</b>	0,38
--------------------------------------	------

Tabla 3. Experimento escenario 3

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el primer escenario, se promedió a partir del promedio de energía obtenido por hato (10 vacas), la energía obtenida por vaca (0,78); lo que significa que para calcular este porcentaje obtenido con el inicial dado al hato (10 vacas) siendo su valor máximo 10, fue necesario dividir la energía dada al hato entre 10 para determinar la energía inicial que se dio a cada vaca; siendo 1 su valor máximo. A partir de lo anterior, el porcentaje de energía por vaca en este escenario fue de 78%. Lo cual habilita a la vaca para seguir produciendo leche; ya que evaluando del mismo modo la cantidad de energía mínima o umbral para producción se necesitaría un valor de 0,4. Adicional a esto, el valor de la cantidad total de pasto en el sistema fue cuatro veces más a la cantidad total de maleza, habilitando de esta manera el desarrollo del sistema lechero de una manera iterativa.

Aplicado lo anterior, en el segundo escenario a partir del promedio de energía obtenido por hato (10 vacas), se obtuvo una energía por vaca de 0,08, lo que corresponde a un porcentaje de energía por vaca del 8%, la cual no es suficiente para que supere el umbral de 0,4 para la producción de leche haciendo el sistema ineficiente para este fin. El valor de la cantidad total de pasto en el sistema fue dos veces más a la cantidad total de maleza, cantidad insuficiente para que la vaca obtenga la energía necesaria para su útil desarrollo en el sistema.

En el tercer escenario, a partir del promedio de energía obtenido por hato (10 vacas), se obtuvo una energía por vaca de 0,38, lo que corresponde a un porcentaje de energía por vaca del 38%, tampoco suficiente para que la vaca siga produciendo leche, pues no supera el umbral de 0,4. El valor de la cantidad total de pasto en el sistema fue tres veces más a la cantidad total de maleza, aun así, cantidad insuficiente para que la vaca obtenga la energía necesaria para sobrevivir.

#### V. CONCLUSIONES

El modelo representa de manera parcial la dinámica de interacción de un hato lechero con su alimento, para hacer posible su desarrollo de vida a partir de la obtención de energía. Confirma a partir de los parámetros de entrada al experimento y los resultados obtenidos, el comportamiento natural esperado de cada escenario que se representó; de manera ideal sin compararlos con datos reales. El modelo aún es incompleto para resolver el problema, pues se representó

bajo el enfoque sistémico predador – presa se propone aplicar técnicas de autómatas celulares y agentes artificiales para mejorar la dinámica de la población.

#### REFERENCIAS

- [1] Arnold, M., y Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Cinta de Moebio, (3).
- [2] Apollín F., y Eberhart, C. (1999). Análisis y diagnóstico de los sistemas de producción en el medio rural Guía metodológica. Quito, Ecuador: Camaren.
- [3] Financiera Rural. (2009). Bovinos y sus derivados. Recuperado de <http://www.gbcbiotech.com/bovinos/industria/Bovino%20y%20sus%20derivados%20Financiera%20Rural%202012.pdf>
- [4] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). Sistemas de producción. Recuperado de <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/production-systems/es/>
- [5] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, (s.f.). Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Sistema%20de%20producci%C3%B3n%20de%20leche%20en%20granjas%20bovinas%20familiares.pdf>
- [6] Del pozo, P. (2002). Bases eco fisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 32(2), 116.
- [7] Vargas, B., y Cuevas, M. (2009). Modelo estocástico para estimación de valores económicos de rasgos productivos y funcionales en bovinos lecheros. SciELO, 43(8), 882
- [8] Arias, R., Mader, T., y Escobar, P. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. SciELO, 40, 7
- [9] García, L., y Ramírez, L. (2004). Renovación de pasturas degradadas de kikuyo, Pennisetum clandestinum Hoechst, con labranza mínima en una región alto andina de Colombia. Acta Agronómica, 54(1), 29-34.
- [10] Anzola H., y Giraldo V. (06 de julio de 2015). Rotación de potreros, herramienta para aumentar la producción. Contexto Ganadero. Recuperado de <http://www.contextoganadero.com/reportaje/rotacion-de-potreros-herramienta-para-incrementar-la-produccion>
- [11] Instituto Nacional Tecnológico Dirección General De Formación Profesional. (2016). Manual del protagonista pastos y forrajes. Recuperado de [https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual\\_de\\_Pastos\\_y\\_Forrajes.pdf](https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Pastos_y_Forrajes.pdf)
- [12] Castellanos, O., Fonseca, S., y Ramirez, D. (2011). Retos de la ingeniería para el desarrollo tecnológico de la agroindustria. Revista de Ingeniería, 33, 89-90.
- [13] Herrera, J. (2015). Procedimiento integrador para el análisis, evaluación y corrección de los sistemas de producción de leche en pastoreo. San José de las Lajas, Mayabeque: Universitaria
- [14] Cortés, H., Aguilar, C., Vera, R., y Morales, S. (s.f.). Modelo de simulación bioeconómico para el estudio de sistemas bovinos doble propósito en el trópico bajo de Colombia. 24(2).
- [15] Hernández, C., y Calvete H. (2011). Modelos para la simulación dinámica del crecimiento y desarrollo de pastos. 41(2), 125
- [16] Holmann, F., Rivas, L., Carulla J., Rivera B., Giraldo, L., Guzmán, S.,... Farrow, A. (2004). Producción de leche y su relación con los mercados. X Seminario de Pastos y Forrajes
- [17] Espitia, L. (2016). Evaluación de la calidad composicional de la leche influenciada por el periodo de transición en vacas doble propósito en trópico bajo colombiano (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.