

Capital natural, funciones ambientales y recurso hídrico en ganadería de leche: una reflexión analítica desde la teoría general de sistemas

Carlos Federico Álvarez Hincapié*
Víctor Hugo Borda Yepes**

Resumen

Este artículo de reflexión presenta elementos metodológicos para analizar, modelar y simular el efecto del recurso hídrico en la producción de ganadería de leche desde el enfoque del capital natural y las funciones ambientales. Se propone analizar una serie de variables a la entrada y salida de un sistema, utilizando como soporte teórico la teoría general de sistemas. Al analizar el sistema, se puede hacer una modelación matemática de diagramas de bloques, los cuales permiten construir un conjunto de ecuaciones. Con este conjunto de ecuaciones se puede proyectar una simulación, al utilizar la investigación de operaciones como herramienta de solución acerca de las funciones ambientales y el recurso hídrico en la producción de ganadería de leche.

Palabras clave: capital natural, ganadería de leche, teoría general de sistemas, investigación de operaciones, funciones ambientales, recurso hídrico.

* M. Sc. Medioambiente y Desarrollo, docente Corporación Universitaria Lasallista, Grupos de investigación GAMA, DELTA. Estudiante doctorado en Ecología, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Grupos de investigación G. S. M., GEYMA.
e-mail: cfalvare@gmail.com

** Especialista en diseño y construcción de equipo agroindustrial. Grupo de Investigación y Transferencia de Tecnología Desarrollo sustentable de sistemas de producción ganadera -DESPROGAN. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
e-mail:vh.borda@gmail.com

Natural capital, environmental functions and water resources for milk cattle: an analytical reflection from the general systems theory abstract

Abstract

This reflection article presents methodological elements to analyze, model and simulate the effect of water on the production of milk cattle from a natural capital and environmental functions focus. An analysis of some variables in the input and the output of a system is proposed, using the general systems theory as a theoretical basis. By this analysis, a mathematical model of blocks diagrams can be made, allowing the construction of a set of equations. With this set a simulation can be projected, by the use the operations research as a solution tool concerning the environmental functions and the water for milk cattle's production.

Key words: Natural capital, milk cattle, general systems theory, operations research, environmental functions, water.

Introducción

El capital natural inmerso en los ecosistemas provee servicios ambientales como el agua para el consumo, la industria, la pesca, la ganadería y la agricultura, a partir del desarrollo de funciones ambientales. Sin embargo, las actividades productivas no planificadas deterioran continuamente la base natural que sustenta estas funciones. Esto hace que los flujos y stocks del capital natural se vean disminuidos, poniendo en entredicho no solo la permanencia de las actividades productivas humanas, sino también la de la propia naturaleza. Hacemos referencia a la planificación como el `proceso de toma de decisiones que integra diferentes variables (a más de las económicas), que revisa el contexto y la historia, y que se orienta a la sustentabilidad a largo plazo.

Por ejemplo, en la producción ganadera lechera, la decisión de deforestar un área para el establecimiento de pasturas puede fundamentarse económicamente para el aumento del hato productivo. Sin embargo, no con-

siderar las potenciales afectaciones al recurso hídrico debido a los cambios en las coberturas vegetales y el efecto en las condiciones micro climáticas o por la contaminación asociada a la aplicación desmedida de fertilizantes orgánicos (como la porquinasa) a las pasturas, se considera como una actividad no planificada.

En el contexto del crecimiento exponencial de la población humana y del cambio climático, es cada vez más imprescindible identificar las múltiples funciones de los ecosistemas (incluyendo la provisión de agua con características específicas de calidad asociada a contextos particulares y a usos determinados), para el reconocimiento del capital natural, de su estado y evolución.

El capital natural fue definido por Costanza y Daly¹ como el stock que genera un flujo de bienes y servicios útiles o renta natural. Sin embargo, Gómez-Baggethun y De Groot² señalan que el capital natural, además del stock de componentes (estructura del ecosistema), incluye los procesos e interacciones entre los mismos (funcionamiento del ecosistema), lo que determina su integridad y resiliencia ecológica. Por su parte, Aaronson, et al³. indican que el concepto de “capital natural” es una metáfora económica asociada a las reservas (“stock”) de recursos naturales y físicos consistentes en el capital natural renovable (especies y ecosistemas), en el capital natural no renovable (componentes del subsuelo como petróleo, carbón y diamantes), el capital natural reponible (como la atmósfera, el agua potable, los suelos fértiles) y el capital natural cultivado (como los cultivos y las plantaciones). La evaluación del capital natural debe desarrollarse a partir de medidas físicas, aun cuando la valoración monetaria y los mecanismos de mercado pueden ser útiles para determinar qué tanto y qué áreas del capital natural se deben restaurar de forma óptima y deseable⁴.

En esta reflexión presentamos inicialmente el concepto de capital natural y su relevancia para la producción ganadera, enfatizando en la importancia del recurso hídrico. Luego se introduce la teoría general de sistemas, los diagramas de bloques y la investigación de operaciones, como herramientas potenciales para abordar los sistemas productivos ganaderos. Finalmente, se esbozan líneas de trabajo futuras. En síntesis, se trata de una presentación conceptual que explora el análisis de componentes ambientales asociados al capital natural en relación con un sistema productivo. Los elementos esbozados en este artículo serán desarrollados en un caso práctico que se presentará en una futura publicación.

Capital natural y producción ganadera

La producción ganadera requiere de funciones, bienes y servicios ambientales para su desarrollo, partiendo de los terrenos (sustrato) donde se desarrolla esta actividad. El establecimiento de pasturas de calidad para sostener los sistemas productivos asociados a la ganadería lechera implica la inversión en capital humano a partir de la transformación de hábitats naturales como los bosques de montaña, proceso que en Colombia es de vieja data. De hecho, en la zona andina se señaló, para el 2005, que el 62,31% de la región estaba dominado por ecosistemas transformados⁵. La toma de decisiones antrópicas sobre el territorio es pues la fuerza determinante sobre la provisión y flujos de capital natural en los agroecosistemas constituidos, lo cual influye en el desarrollo de las funciones ecosistémicas y sus productos para el sostenimiento de la vida. La figura 1 muestra una síntesis convencional de los factores de producción asociados a la ganadería de leche.

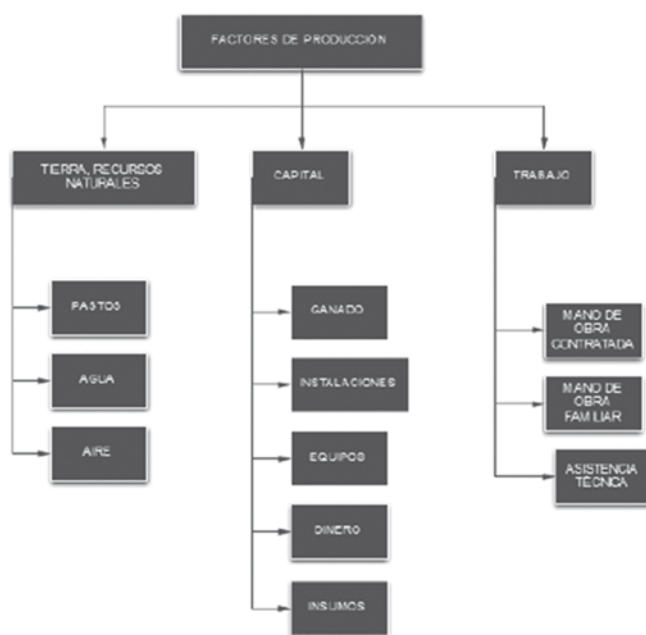


Figura 1. Factores de producción asociados a la producción lechera⁶.

Los procesos asociados a estos sistemas requieren considerables volúmenes de recurso hídrico, que adicionalmente debe tener unas condiciones de

calidad específicas para las diferentes actividades (incluyendo la limpieza de instalaciones, equipos y tanques, así como para la provisión de agua para el ganado). Esta puede verse afectada por la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, así como por las afectaciones a los cauces naturales y zonas de origen del recurso.

Ahora bien, una complejidad inherente a estos sistemas se asocia con su contexto, el cual incluye actividades como la aplicación de pesticidas y fertilizantes para cultivos como la papa y el tomate de árbol, así como la toma de decisiones humanas sobre los ciclos de transformación y uso del territorio. Igualmente, recibe impactos, producto de vertimientos humanos como combustibles o residuos domésticos. Los otros sistemas productivos que requieren y afectan a la vez el recurso hídrico imprimen, a su vez, una complejidad adicional a la comprensión y manejo de los entornos asociados a la producción ganadera.

Teoría general de sistemas y ganadería

El capital natural nos lleva afrontar múltiples elementos e interacciones en la ganadería, por ejemplo, el recurso agua, el recurso suelo y el recurso humano. De ahí que sea necesario abordar una comprensión general de este sistema productivo a partir de la manera como los elementos se relacionan a través de funciones que generan unos bienes y servicios de uso humano, y de funciones que utilizan y modifican los ecosistemas. Por tal razón, una manera de entender la productividad ganadera partiendo de la identificación del capital natural es por medio de la teoría general de sistemas que nos permite tomar elementos de los recursos considerados para la producción ganadera, y tratar de encontrar qué tipo de relación matemática, física, química, biológica, psicológica o sociológica se presenta entre los elementos del sistema⁷.

En el contexto de la teoría general de los sistemas para la producción ganadera, se seleccionaron elementos que son repetitivos en la producción y que hacen parte de los diferentes recursos mencionados anteriormente. En este sistema se identificaron los elementos (a ser considerados como señales del sistema): toma de decisiones antrópicas, fuentes de agua y calidad de agua; y las relaciones: paisaje y ambiente. La teoría general de sistemas permite desarrollar modelos abstractos de la realidad (“máquinas no triviales”, con interacciones y componentes complejos), partiendo de la noción de “máquina trivial”, donde es posible relacionar las entradas y las salidas

del sistema a través de funciones⁸. Esto puede apreciarse en la figura 2, la cual expresa el ecosistema producción ganadera como función, la toma de decisiones antrópicas como entrada y la calidad de agua como salida.



Figura 2. Sistema para la toma de decisiones antrópicas sobre la calidad de agua en la producción ganadera.

Fuente: construcción propia

En el sistema de la figura 2, se presenta de manera lógica que la toma de decisiones antrópicas sobre el ecosistema permite predecir una calidad de agua (en contexto con condiciones antrópicas y naturales acotadas). De esta forma, se pueden buscar herramientas matemáticas de modelación y simulación, que permitan entender cómo es la relación toma de decisiones antrópicas y calidad de agua en el ecosistema. Es importante anotar que el bloque general de la figura 2 es una síntesis de varios bloques en el sistema de producción ganadera. En cuanto a la cuantificación del capital natural, es posible emplear diferentes herramientas, tanto desde la valoración económica convencional, como desde la economía ecológica. Por ejemplo, es posible evaluar los cambios a través del tiempo de las coberturas vegetales (empleando sistemas de información geográfica), como un elemento subrogado de las dinámicas del capital natural. La evaluación de la transformación de las coberturas naturales puede desarrollarse desde el punto de vista biofísico (cambios de área), reconociendo el valor de restauración de las mismas, para obtener una línea base del valor del capital natural.

Diagramas de bloque y sistema de producción

Una de las herramientas matemáticas que se puede utilizar para resolver el sistema de producción ganadera son los diagramas de bloques, los cuales presentan, a través de un formato de bloque, los efectos producidos por unas causas, que se pueden describir a través de herramientas matemáticas que relacionan causa-efecto por medio de funciones de transferencia. Además, el diagrama de bloques permite incluir influencias externas que no son causas y se pueden denominar perturbaciones que transforman las funciones de transferencia⁹.

El sistema de producción ganadera desarrollado por medio de los diagramas de bloques nos permite relacionar los elementos: toma de decisiones antrópicas, fuentes de agua y calidad de agua, utilizando como función de transferencia el paisaje y el ambiente, donde la toma de decisiones antrópicas transforma el paisaje, y causa un efecto sobre las fuentes de agua. Las fuentes de agua se transforman por las condiciones del ambiente en el cual están inmersas, generando una calidad de agua para la producción ganadera (así como para otros usos). Entonces, la calidad de agua estará definida por la toma de decisiones antrópicas sobre los ecosistemas (aprovechando el capital natural de los recursos suelo y agua). A manera de ejemplo, esto se puede apreciar en la figura 3.

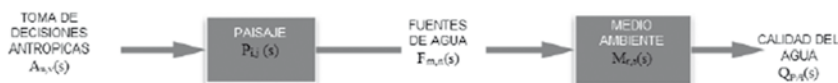


Figura 3. Diagrama de bloques sobre la producción ganadera, el paisaje y la calidad de agua.

Fuente: construcción propia

En síntesis, los diagramas de bloques permiten cuantificar el capital natural de los ecosistemas que son intervenidos por la actividad humana, la cual se desarrolla para generar bienes y servicios en la producción ganadera. Ahora, para resolver los diagramas de bloques, se necesita de un operador matemático que permita interpretar los valores obtenidos en el sistema de producción ganadera, lo que se explora en el siguiente apartado.

Investigación de operaciones y sistema ganadero

Un operador que permite una solución matemática a los diagramas de bloques es la investigación de operaciones; con ella se puede investigar cómo se desarrollan las operaciones de los sistemas, qué tipo de soluciones matemáticas se pueden dar en la solución del sistema y qué operación permite realizar una interpretación aproximada a los resultados obtenidos en el sistema a través de su expresión matemática y dimensionalidad¹⁰.

Al aplicar la investigación de operaciones al sistema de producción ganadera, se obtiene una solución de ecuaciones que pueden tener el formato lineal o no lineal, estocástico o no estocástico, determinístico o aleatorio,

entre otros. Por estas razones, se pueden resolver las ecuaciones del sistema de producción ganadera combinando las diferentes formas matemáticas mencionadas. Una primera aproximación a la solución de ecuaciones del sistema de producción ganadera es acotarlo por medio de criterios: interpretación del número puro, dimensionalidad de número, relación con las funciones de transferencia paisaje y medioambiente. Por tal razón, se plantea un modelo dinámico entre la toma de decisiones antrópicas y la calidad de agua, que permita encontrar señales que muestren el efecto sobre dicha calidad en un sistema ganadero manejado por decisiones antrópicas sobre las fuentes hídricas y su entorno.

A partir de la figura 3, se puede describir el diagrama de bloques a través de ecuaciones (1) asociadas al sistema producción ganadera, con asignaciones de variables que se refieren a la evaluación del capital natural en un ecosistema intervenido por el hombre para generar unos bienes y servicios de producción. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} A_{u,v}(s) \times P_{i,j}(s) &\rightarrow F_{m,n}(s) \\ F_{m,n}(s) \times M_{r,s}(s) &\rightarrow Q_{p,q}(s) \end{aligned} \quad (1)$$

Donde: $A_{u,v}(s)$: Variable causa toma de decisiones antrópicas u,v ; $F_{m,n}(s)$: Variable causa fuentes de agua de procedencia m,n ; $P_{i,j}(s)$: Función de transferencia paisaje de procedencia i,j ; $M_{r,s}(s)$: Función de transferencia medio ambiente con procedencias r,s ; $Q_{p,q}(s)$: Variable efecto calidad del agua de procedencia p,q ; (s) : Término de temporalidad de las variables y funciones. Se recalca que esta es solo una de las posibles ecuaciones/función matemáticas a ser exploradas para la solución analítica del problema.

Conclusiones: líneas de trabajo futuras

El concepto de capital natural es una herramienta poderosa para avanzar operativamente hacia la construcción de sustentabilidad, en donde la teoría general de sistemas puede aportar un marco de trabajo para el reconocimiento de los componentes e interacciones asociados al funcionamiento de la naturaleza y de los impactos de las actividades productivas (como la ganadería de leche), sobre el capital natural que permite el funcionamiento de la vida y de las actividades humanas.

El uso de herramientas como los diagramas de bloques y la investigación de operaciones puede resultar de utilidad para el análisis y modelamiento

del comportamiento de los sistemas productivos asociados a los ecosistemas naturales. El análisis de diferentes tipos de diagramas de bloques, con el desarrollo de modelos con diferentes asunciones, es un área de trabajo de interés para el estudio de los ecosistemas y agroecosistemas. Igualmente, es necesario avanzar en la construcción de modelos espacialmente explícitos, donde se pueda evaluar el comportamiento del capital natural en la forma de funciones, bienes y servicios ambientales en localidades con características específicas. Asimismo, se requiere del trabajo interdisciplinario para abordar holísticamente estos y otros sistemas productivos complejos, que dependen del ambiente para su desarrollo.

El conocimiento de información primaria asociada al comportamiento de los sistemas ecológicos y agroecológicos, así como el desarrollo de experimentos de campo (que permitan comprender mejor las interacciones, componentes y límites de los sistemas), se hace necesario para aportar a la toma de decisiones de manejo orientadas hacia la sustentabilidad.

Agradecimientos

A la Corporación Universitaria Lasallista, por la financiación del proyecto CAA20+Ing (convocatoria interna de investigación 2008-2009) y a los estudiantes que participaron en el proceso de investigación. A Lina María Berrouet, Bernardo León Hoyos, Blanca Cardona, Claudia Cruz y a los revisores anónimos por sus aportes.

Referencias

1. COSTANZA, Robert y DALY, Herman. Natural Capital and Sustainable Development. En: *Conservation Biology*. 1992. Vol. 6. p. 37-46.
2. GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik y DE GROOT, Rudolf. Capital natural y funciones de los ecosistemas. Explorando las bases ecológicas de la economía. En: *Ecosistemas*, 2007. Vol. 16, no. 3. p. 4-14.
3. ARONSON, James; MILTON, Suzanne J. y BLIGNAUT, James N. Restoring natural capital: definitions and rationale. En: ARONSON, James; MILTON, Suzanne J. y BLIGNAUT, James N (Eds.) *Restoring natural capital. Science, business and practice*. Society for Ecological Restoration Internacional. Washington D.C. : Island Press, 2007. p. 3-8.
4. FARLEY, Joshua y BROWN, Erica J. Restoring natural capital: an ecological economics assessment. En: ARONSON, James; MILTON, Suzanne J. y BLIGNAUT, James N (Eds.) *Restoring natural capital. Science, business and practice*. Society for Ecological Restoration Internacional. Washington D.C.: Island Press, 2007. 17-27.

5. ROMERO, Milton; CABRERA, Edersson y ORTIZ, Néstor. Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2008. p. 78.
6. MUÑOZ CORREA, Edgar. Fincas lecheras competitivas. En: Despertar lechero. 2003. No. 21. p. 125-144.
7. VON BERTALANFFY, Ludwing. Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. México: Fondo de Cultura Económica, 2006. 37 p.
8. VON FOERSTER, Heinz. Sistémica elemental. Medellín, Colombia. Fondo editorial Universidad EAFIT, 2007. 81 p.
9. UMEZ-ERONINI, Eronini. Dinámica de sistemas y control. México: Internacional Thomson Control. 2001, p. 3-28.
10. HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald J. Introducción a la Investigación de operaciones. 3ª Ed. México: McGraw-Hill, 1982. p. 1-13.