

# SIMULACIÓN DEL BALANCE ANUAL EN SISTEMAS DE PASTOREO BOVINO.

*VERENA TORRES CÁRDENAS<sup>2</sup>*  
*JOSÉ ORTIZ ROJAS<sup>1</sup>,*  
*GUSTAVO CRESPO<sup>2</sup>,*  
*IDALMIS RODRÍGUEZ<sup>2</sup>*  
*RAÚL E. MEDERO.<sup>2</sup>*

1 Universidad de Granma, Carr. Mzll. Km 171/2, Peralejo. Bayamo, Gma. Cuba.

2 Instituto de Ciencia Animal, Apdo. 24. San José de Las Lajas. La Habana. Cuba.

## RESUMEN

Este estudio parte de una abstracción de los sistemas de pastoreo vacuno en Cuba en cuanto a la dinámica del N, P y K, determinando los procesos relevantes para el modelo de simulación. Para tales procesos se define cómo estimar la cuantía de su contribución como fuente de entrada o salida de los nutrientes por tres posibles métodos: modelos de ajustes, procedimientos descriptivos (fórmulas de cálculos) o con valores informados en la literatura. Las componentes del modelo de simulación fueron: estimación del N, P y K aportado por bostas, orina, hojarasca de los árboles, hojarasca de los pastos, removilización y contenido en la suplementación utilizada. Estimación del N aportado por la lluvia y volatilizado por bostas y orina. Estimación del N, P y K en la leche producida, en la ganancia de peso vivo, en los animales que salen del sistema y el extraído por los pastos. El soporte informático del modelo se programó en Borland Delphi versión 4.0 utilizando el método de Prototipo Orientado a Objeto y el mismo garantiza la rapidez, exactitud y precisión en las estimaciones que se hacen, lo que se comprobó mediante una adecuada estrategia de validación efectuada hasta la introducción del software en la investigación, la docencia y la producción con resultados muy positivos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La simulación es una herramienta de gran trascendencia e importancia para el análisis, diseño y operación de sistemas y procesos complejos.

Los modelos de simulación son modelos en los cuales no se producen características físicas, sino que se encuentran soluciones numéricas a los modelos cuando es imposible analizarlos paso a paso.

Existen varias definiciones de simulación, entre las más frecuentes están las que plantean que por modelación se entiende la técnica que se utiliza para conducir experimentos en una computadora; tales experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas que son necesarios para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo; también por simular se interpreta duplicar la esencia de un sistema o una actividad sin llegar a la realidad misma y define la simulación como una técnica que implica la preparación de un modelo de una situación real (sistema) para después realizar experimentos sobre el modelo; y por último la simulación puede ser considerada como un proceso iterativo de solución de un problema, en el cual las etapas o eslabones de éste son transcurridos repetidamente para lograr la afirmación o mensajes orientadores del problema.

En síntesis, la simulación puede ser definida como una técnica numérica para la realización de experimentos con determinados tipos de modelos matemáticos, los cuales describen el comportamiento de un sistema complejo dinámico, mediante el empleo de la computación.

La realización técnica de experimentos con modelos de simulación exige normalmente una gran cantidad de cálculo, por lo que supone de la disponibilidad de una ayuda electrónica para el procesamiento de datos.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de simulación que permitiera predecir el balance anual de N, P y K en las condiciones del pastoreo bovino, que posibilite la evaluación de alternativas para la toma de decisiones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Para desarrollar un modelo de simulación del balance de los nutrientes en el ecosistema de pastoreo vacuno y su respuesta frente a determinadas condiciones, es necesario una abstracción del sistema real y tomar en cuenta todos aquellos procesos y factores que afectan el sistema y a la vez, su conocimiento de alguna manera posibilite estimar su contribución (aporte o pérdida) con los nutrientes N, P y K (fig. 1) Para el diseño del modelo fueron adaptadas diferentes concepciones metodológicas utilizadas en la confección de modelos de simulación (Addiscott, 1993; Aguilar y Caña, 1992; Fernández, 1980; Iones, 1994; León-Valarde, 1997).

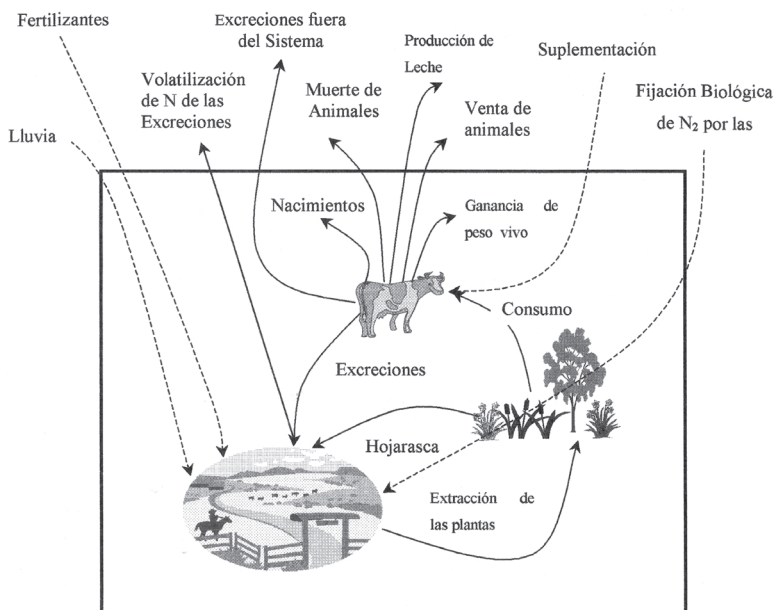
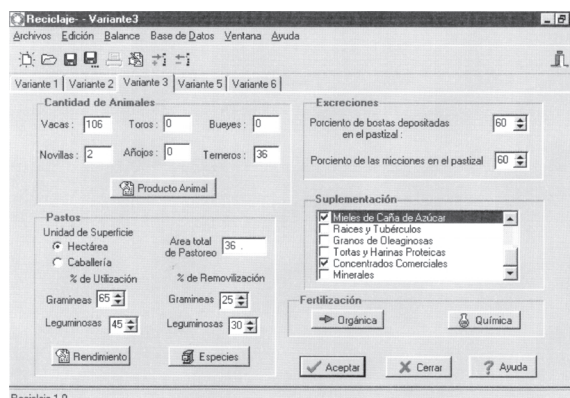
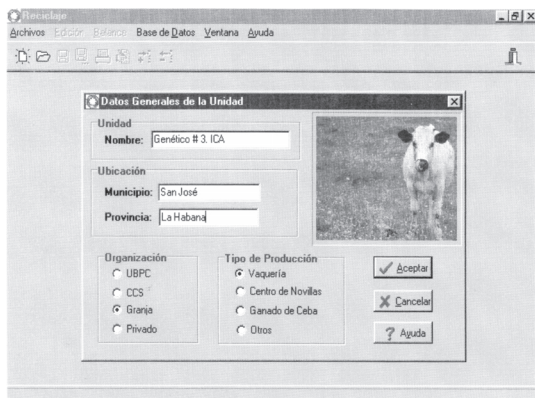


Figura 1. Esquema del sistema a modelar.



Se definió una metodología para modelar el comportamiento de procesos biológicos a través del tiempo, partiendo del examen de los modelos de aplicación más utilizados en estos estudios: los modelos Lineales o Intrínsecamente Lineales y los no lineales Gompertz, Brody, Richards, Exponencial, Monomolecular, Logístico y Función de Gauss propuestos, entre otros autores, por Fernández (1996); Guerra et. al. (1993) y Liski (1987). En la metodología, como norma de selección del modelo de mejor ajuste se considera la combinación de varios criterios (Bandemer, 1981; Draper y Smith, 1966; Haberman, 1973; Steel y Torrie, 1988 y otros):

- a) Nivel de significación ,  $\alpha$ .
- b) Coeficiente de determinación,  $R^2$ .
- c) Varianza residual  $V(e_i)$ .
- d) Análisis de los residuos ( $\beta_i$ ) .
- e) Error standard de los parámetros estimados  $ES(\beta_i)$ .
- f) Validación estadística de los parámetros estimados usando la prueba estadística Chi-cuadrado.

La ejecutoria de un experimento de simulación se fundamentó en los siguientes pasos: formulación del problema, formulación del modelo de simulación ,elaboración del programa de cómputo para el modelo de simulación, desarrollo del experimento de simulación, valoración, tanto del modelo, como del programa y análisis e interpretación de los resultados del experimento.

La programación en Borland Delphi 3.0 (diseño físico) del modelo de simulación (modelo lógico) se realizó aplicando las bondades de la Programación Orientada a Objeto y las posibilidades de la plataforma Delphi para generar aplicaciones en ambiente Windows (Senn, 1998).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los componentes del algoritmo de simulación, representan las estimaciones de aportes ó pérdidas, considerando las principales fuentes de entradas y salidas de N, P y K en el ecosistema, de las cuales es posible, en nuestras condiciones, pronosticar su contribución para un período de un año. Las variables del sistema, aquí agrupadas como variantes, en el caso inicial representan las características reales de la unidad organizativa bajo estudio y como nuevas variantes es posible evaluar otras alternativas para la toma de decisiones.

#### **Las principales variables definidas en el modelo fueron:**

1. Estructura del rebaño por categoría (vacas, toros, bueyes, novillas, terneros).
2. Peso promedio por categoría.
3. Promedio anual de ganancia de peso vivo por categoría.
4. Composición botánica de las áreas de pastoreo.
5. Régimen de lluvia.
6. Categoría agro-productiva del suelo.
7. Consumo anual / suplemento.
8. Si se aplica fertilizante, tipo y dosis utilizada.

#### **Breve descripción de los componentes del modelo de simulación.**

Estimación del N, P y K aportado por las bostas: se estima la cantidad total de bostas depositadas y los nutrientes liberados, considerando la composición química de estas y los modelos de pérdida de N por volatilización.

Estimación del N, P y K aportado por la orina: se procede de forma similar al componente anterior.

Estimación del N, P y K aportado por la hojarasca de los pastos: para cada especie presente se estima la acumulación de hojarasca y la tasa de liberación de sus nutrientes. Se utilizan rangos reportados en la literatura y modelos de predicción obtenidos para algunas especies estudiadas.

Estimación del N, P y K aportado por la hojarasca de los árboles: considerando la densidad de cada especie presente e información de la literatura, se estima la tasa de acumulación de hojarasca y el aporte total de cada nutriente.

Estimación del N, P y K contenido en la suplementación utilizada: el sistema dispone de varias bases de datos con más de 250 alimentos típicos del trópico y su contenido de N, P y K. Partiendo del consumo y la composición de cada suplemento, se determina su aporte por nutriente.

Estimación del N aportado por la lluvia: conociendo los milímetros de lluvia caídos en el año, se pronostica el aporte de nitrógeno por este concepto.

Estimación del N, P y K aportado por la removilización: tomando en cuenta el rendimiento estimado para cada especie de pasto y su composición química, % de utilización de gramíneas y leguminosas por los animales, así como, el % de removilización de ellas, se estima el aporte por la removilización de las gramíneas y las leguminosas.

Estimación del N volatilizado por las bostas: se utilizan ecuaciones de pronóstico obtenidas con datos experimentales que explican la volatilización del N de las bostas en diferentes momentos del año.

Estimación del N volatilizado por la orina: similar a lo aplicado a las bostas.

Estimación del N, P y K en la leche producida: se parte de la producción de leche y su contenido de N, P y K para pronosticar la cuantía de la salida por esta vía.

Estimación del N, P y K en la ganancia de peso vivo: se estima para cada categoría según la ganancia de peso vivo y el % de N, P y K en el cuerpo del animal.

Estimación del N, P y K en los animales que salen del sistema: se procede de manera similar a la anterior estimación, considerando el peso vivo total de los animales que salen por muerte, venta u otras causas del sistema.

Estimación del N, P y K extraído por los pastos: se utiliza un modelo para pronosticar el rendimiento de las especies en función de la categoría agroproductiva del suelo y el régimen de lluvia así como la composición química de cada gramínea y leguminosa y entonces se estima cuanto N, P y K los pastos han extraído del suelo para su crecimiento.

Con estos resultados, se determina el N, P y K total que ha sido aportado por los diferentes componentes en el año y de forma análoga, se procede con las pérdidas, obteniéndose un reporte del balance resultante. En este reporte, se señala la cantidad (kg) de cada nutriente que entra y la que sale del sistema, especificando la fuente de entrada o salida correspondiente, así como la cuantía que representa por unidad de área productiva (kg/há).

El programa tiene seis opciones principales : Archivo, Edición, Balance, Bases de Datos, Ventana y Ayuda que definen otros submenú anidados, cumpliendo todos los requerimientos definidos en el análisis y diseño del sistema de simulación. El programa utiliza bases de datos de los Pastos, Suplementos (Forrajes Permanentes, Forrajes Temporales, Leguminosas Forrajeras, Heno de Gramíneas, Raíces y Tubérculos, Cereales y Subproductos de Molinería, Mielles de Caña de Azúcar, Residuos de Agroindustria, Tortas y Harinas Protéicas, Minerales ) y Composición\_Química (Bostas, Orina, Leche, Fertilizantes) que el usuario puede actualizar con su propia información (fig 1).

Un aspecto muy significativo de esta aplicación lo constituye la posibilidad de evaluar diferentes alternativas para la toma de decisión. Después de obtener el balance de una unidad a partir de los valores reales de las variables del modelo (Variante 1), el usuario puede generar nuevas variantes (Variante 2, 3, 4,...) donde modifica los valores de las variables y obtiene el balance correspondiente a la variante que esté activa, pudiendo permutar de una a otra variante y comparando los resultados respectivos (fig. 3), el productor puede definir la estrategia más ajustada a sus condiciones, evitando posibles déficits de nutrientes. La validación del programa en varias unidades productivas ha sido satisfactoria.

El sistema se distribuye en 4 discos de 31/2 con un programa de instalación, siendo necesario para su explotación, aproximadamente 2.0 megabytes de espacio en disco duro de una microcomputadora 386 o superior y sistema operativo Windows.

## 4. CONCLUSIONES

1. El modelo de simulación definido, establece una metodología válida para estimar el balance de NPK en los sistemas de pastoreo bovino con independencia del sistema de manejo y las características propias de la unidad productiva.
2. La metodología que se propone para la modelación de los procesos biológicos, constituye una herramienta adecuada para profundizar en el estudio de los procesos del reciclaje.
3. El algoritmo de simulación, posibilita aumentar la precisión de las estimaciones mediante nuevas investigaciones de los procesos considerados e incorporar otros posibles componentes,
4. El software posee un interfaz amigable y requiere de mínimos conocimientos de computación para su utilización.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

1. Addiscott, T.M. (1993). Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*. 60: 15-40.
2. Aguilar, G.C. y Caña, C.R. (1992). Simulación de sistemas: aplicación en producción animal. En: *Simulación de sistemas pecuarios*. RISPA. p. 189-282.
3. Bandermer, H. (1981). Methods for checking assumption in regression models. *Biometrical Journal*. 23(5): 419-427.
4. Crespo, G., Rodriguez, Idalmis, Torres, Verena, Ortiz, J. y otros. (1998). Estudio del reciclado de los nutrientes en sistemas de producción vacuna. Informe final de proyecto. ICA.
5. Draper, N.R. and Smith, H. (1966). *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
6. Fernández Cancio, A. 1980. Posibles aplicaciones de las técnicas de simulación a la investigación agraria. *Comunicaciones INIA. Serie: General*. 6. 62p.
7. Fernández, Lucia. (1996). Modelos que describen la dinámica de procesos biológicos en Ciencias Agropecuarias. Tesis de Maestría. ISCAH.
8. Guerra, Walkiria., Calzadilla, Josefina. y del Valles, J. (1993). Aspectos cuantitativos-cualitativos sobre modelos que describen la dinámica de crecimiento en poblaciones. Monografía. ISCAH.
9. Haberman, S.J. (1973). The analysis of residuals. *Biometrics*. 29(1): 205-221.
10. Iones, P.N. and Carberry, P.S.(1994). A technique to develop and validate simulation models. *Agricultural Systems* 46: 427-442.
11. León-Valarde, C.V., Arce, B. y Quiroz, P. (1997). Modelación de Sistemas de producción de leche: descripción de sus componentes e interacciones para el diseño de modelos de simulación. En: *Metodologías para el estudio de sistemas pecuarios*. Rispa.
12. Liski, E. P. (1987). A growth curve analysis for bulls test station. *Biometrical Journal*. 29(3): 331-345.
13. Senn, J.A. (1998). *Analysis & design of information systems*. McGraw-Hill, Inc., USA.
14. Steel, R.G. and Torrie, I.H. (1988). *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw-Hill. Interamericana. México, S.A.

