

SCIENTIFIC PAPER

Análisis prospectivo de la base alimentaria en una lechería tropical con programación lineal

Prospective analysis of the feeding basis in a tropical dairy farm with linear programming

J. A. Herrera¹, Anaí García² y J. Suárez³

¹Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Gaveta Postal No. 1, CP 32700, Mayabeque, Cuba

²Escuela Nacional de Salud Pública, La Habana, Cuba

³Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey,

Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Ministerio de Educación Superior, Matanzas, Cuba

Correo electrónico: jherrera@ica.co.cu

RESUMEN: El objetivo de la investigación fue analizar prospectivamente la base alimentaria de una lechería tropical, por medio de un modelo de optimización. Las variables de este modelo fueron: pasto estrella, leucaena asociada con guinea común, caña de azúcar y CT-115. Los requerimientos se estimaron para vacas de 425 kg de PV, con una producción de 4 kg/animal/día, y se establecieron ocho restricciones. El modelo fue resuelto con el programa WinQSB versión 2.0. La función objetivo fue maximizar la producción de MS por hectárea. La solución óptima indicó que la mayor parte del área debe corresponder al pasto estrella, con 45 % del total. El análisis de sensibilidad mostró que la producción de MS por hectárea de la caña de azúcar puede disminuir hasta 7,64 t y aumentar hasta un valor infinito, sin que se afecte la solución óptima obtenida. En el caso del pasto estrella, la disminución permisible sobrepasó el valor cero, y el incremento no debe ser superior a 6,30 t de MS/ha. De acuerdo con los amplios rangos que se lograron con los análisis de sensibilidad, se puede plantear que el modelo no es sensible a grandes cambios en los coeficientes en la función objetivo ni en las restricciones. La técnica matemática de programación lineal resultó una herramienta útil para el análisis prospectivo de la base alimentaria en una lechería tropical, con un enfoque de optimización.

Palabras clave: modelos de optimización, producción lechera

ABSTRACT: The objective of the study was to analyze prospectively the feeding basis in a tropical dairy farm, through an optimization model. The variables of this model were: star grass, leucaena associated with common Guinea grass, sugarcane and CT-115. The requirements were estimated for cows that weighed 425 kg of LW, with a production of 4 kg/animal/day, and eight constraints were established. The model was solved with the program WinQSB version 2.0. The objective function was to maximize the DM production per hectare. The optimal solution indicated that the highest part of the area should correspond to star grass, with 45 % of the total. The sensitivity analysis showed that the DM production per hectare of sugarcane can decrease to 7,64 t and increase to an infinite value, without affecting the optimal solution obtained. In the case of star grass, the permissible decrease exceeded the zero value, and the increase should not be higher than 6,30 t of DM/ha. According to the wide ranges that were achieved with the analyses, it can be stated that the model is not sensitive to great changes in the coefficients of the objective function or in the constraints. The mathematical technique of linear programming turned out to be a useful tool for the prospective analysis of the feeding basis in a tropical dairy farm, with an optimization approach.

Key words: optimization models, milk production, DM production

INTRODUCCIÓN

En la producción agropecuaria se han realizado esfuerzos para describir complejas situaciones productivas partiendo de expresiones matemáticas que contengan una o más variables, cuyos valores se deben determinar (Vargas, 2004). La pregunta que

se formula, en términos generales, es: ¿qué valores deberían tener determinadas variables, para que la expresión matemática tenga el mayor (maximización) o el menor (minimización) valor numérico posible? A este proceso general de maximización o minimización se le denomina optimización.

La optimización, también conocida como programación matemática o investigación de operaciones, fue abordada por autores como Cantorski da Rosa y Garrafa (2009) y Alvarado (2011), y sirve para encontrar la respuesta que proporciona el mejor resultado, las mayores ganancias, la mayor producción o el menor costo, así como el desperdicio o daño provocado al entorno. Con frecuencia, estos problemas implican la utilización más eficiente de los recursos, tales como: dinero, tiempo, maquinaria, personal e insumos.

Asimismo, es axiomático que la producción de leche y carne con animales rumiantes en el trópico dependa, en gran medida, del rendimiento de los pastos y forrajes, ya que alrededor del 90 % de los nutrientes se deriva de estos; lo que a su vez dependerá de la eficiencia y eficacia con que puedan ser utilizados (Ruíz, 2011). En este sentido, se han realizado múltiples investigaciones en las que se emplearon diferentes métodos y herramientas matemáticas y económicas para mejorar la utilización de los insumos y aumentar las producciones ganaderas. A nivel internacional se destacan los trabajos de Holmann *et al.* (2003); Soares (2009); Avilés *et al.* (2010); Flores y Zambrano (2010); Urdaneta *et al.* (2010), y en Cuba, los reportes de Torres *et al.* (2008; 2010); Castro (2009) y Herrera (2013).

Basado en los argumentos anteriores, el propósito de esta investigación fue analizar prospectivamente la base alimentaria de una lechería tropical, por medio de un modelo de optimización.

METODOLOGÍA

Supuestos y consideraciones técnico-económicas del modelo

Se simuló el comportamiento de la base alimentaria de la vaquería 41 de la empresa pecuaria

Valle del Perú, con el supuesto efecto de un cambio cuantitativo y cualitativo, lo que permitió analizar *ex ante* diversas circunstancias relacionadas con importantes factores agrobiológicos y económicos. Las variables de los modelos se determinaron a través de una encuesta realizada a 60 expertos de la rama. Se incluyeron las siguientes especies: pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*); leucaena (*Leucaena leucocephala*), variedad Perú, asociada con guinea común (*Panicum maximum*); caña de azúcar (*Saccharum spp.*) y CT-115 (*Pennisetum purpureum* Cuba CT-115). Como función objetivo se consideró la producción de MS por hectárea, ya que constituye uno de los principales indicadores de un alimento destinado al consumo de los rumiantes (Pérez Infante, 2010). El modelo utilizado corresponde a una vaquería de 72 ha y 98 vacas, en condiciones de secano y sin fertilización. Los parámetros y coeficientes fueron determinados de forma teórica.

En la modelación se asumió como base alimentaria el pasto y el forraje, en el periodo poco lluvioso, por ser esta la etapa crítica de la producción de leche en el trópico. Los requerimientos (tabla 1) fueron estimados para vacas de 425 kg de PV, con una producción de 4 kg/animal/día (NRC, 1989).

Se estimó un consumo de MS individual de 2 % del PV para el pasto estrella, el CT-115 y la guinea común; mientras que para la caña de azúcar y la leucaena se consideró un consumo de 1 y 2 %, respectivamente. En la estimación del rendimiento de los pastos y forrajes se consideró la etapa de estabilización de estos en el tiempo. Los costos de establecimiento fueron estimados mediante las fichas de costo de cada especie, en moneda nacional, con su respectivo componente en divisa (Cino, 2010).

Tabla 1. Estimado de los requerimientos nutricionales de los animales.

Requerimiento	Nutriente			
	EM M cal	PB	Ca	P
Requerimiento de mantenimiento/animal promedio/día	12,51 M cal	359,00 g	17,00 g	13,00 g
Requerimiento para 4 kg de leche con 3,5 % de grasa	4,40 M cal	320,00 g	13,32 g	6,04 g
Gasto en pastoreo + estrés 30 %	3,75 M cal			
Requerimiento total para una vaca por día	20,66 M cal	679,00 g	30,32 g	19,04 g
Requerimiento para 98 vacas en 210 días	425 182,80 M cal	13 973,00 kg	623,98 kg	391,84 kg

En función de los principios zootécnicos y agropecuarios que actúan en el sistema analizado, se establecieron ocho restricciones; como consecuencia, las relaciones de los nutrientes se determinaron sobre la base de los requerimientos nutricionales de los animales. La restricción costo de establecimiento se determinó según la cantidad de dinero promedio de la empresa para esa actividad, en los últimos cinco años. El área de CT-115 se manejó, de acuerdo con lo planteado por Martínez (2004).

El modelo fue resuelto por el método Simplex primal, lo que permitió obtener la solución óptima y la ejecución del análisis de post-optimal. Se utilizó el software WinQSB versión 2.0 (Long Chang, 2009).

En la tabla 2 se muestra la estimación de la composición bromatológica y el aporte nutricional de los pastos y forrajes, el cual se predeterminó según la tabla de valor nutritivo y requerimientos para el ganado bovino, recomendada por Cáceres *et al.* (2000). La época de referencia fue la poco lluviosa (210 días), según Pérez Infante (2010). El porcentaje de utilización de los pastos se estimó en 65 %, y el del forraje, en 90 %. El valor nutricional de la caña de azúcar se determinó sobre la base de una suplementación que se ofrecía como forraje verde; del mismo modo, en el consumo de esta se consideraron las características químicas y fisiológicas de la especie.

A continuación se detallan aspectos relacionados con el consumo de la caña de azúcar, y con el procedimiento que se utilizó para calcular el área mínima necesaria de este forraje:

- Consumo de caña por animal por día (kg de MS) = 1 % del PV
- Consumo de caña del rebaño en 210 días (kg de MS) = (425 kg x 70 vacas x 210 días) x 0,01
- Consumo de caña del rebaño en 210 días (kg de MS) = 62 475 kg
- Consumo de caña del rebaño en 210 días (t de MS) = 62,475 t
- Hectáreas de caña necesarias = 62,475 t de MS: 18 t de MS/ha
- Hectáreas de caña = 3,47 ha

Por tanto, como mínimo se necesitan 3,47 hectáreas de caña.

El modelo matemático que se utilizó en el análisis se describe a continuación:

i. Definición de las variables

X1: hectáreas de caña de azúcar

X2: hectáreas de pasto estrella

X3: hectáreas de CT-115

X4: hectáreas de leucaena + guinea común

ii. Sistema de restricciones

iii. Función objetivo

$$\text{Máx } Z = 18\,000 X_1 + 975,00 X_2 + 7\,200,00 X_3 + 6\,300,00 X_4 \text{ (producción de MS/ha)}$$

$39\,600 X_1 +$	$1\,823,25 X_2 +$	$13\,680,00 X_3 +$	$12\,159,00 X_4$	\geq	425 182,80	Requerimiento mínimo de energía (Mcal)
$68 X_1 +$	$64,35 X_2 +$	$453,60 X_3 +$	$585,90 X_4$	\geq	13 973,00	Requerimiento mínimo de proteína (kg)
$99,00 X_1 +$	$5,16 X_2 +$	$37,44 X_3 +$	$66,84 X_4$	\geq	623,98	Requerimiento mínimo de calcio (kg)
$25,20 X_1 +$	$1,75 X_2 +$	$12,24 X_3 +$	$12,22 X_4$	\geq	391,00	Requerimiento mínimo de fósforo (kg)
X_1				\leq	3,47	Requerimiento máximo del área con caña de azúcar (ha)
		X_3		\leq	21,60	Requerimiento máximo del área con CT- 115 (ha)
$6\,522,42 X_1 +$	$2\,303,37 X_2 +$	$2\,268,50 X_3 +$	$5\,672,24 X_4$	\leq	22 8729,96	Requerimiento máximo para el costo de establecimiento (\$)
X_1	X_2	X_3	X_4	$=$	72	Requerimiento exacto del área (ha)

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0$$

Tabla 2. Estimado de la composición bromatológica, rendimiento de MS y cantidad utilizable de las especies de pastos y forrajes en el periodo poco lluvioso.

Especie	EM (Mcal/kg de MS)	PB (g/kg)	Ca (g/kg)	P (g/kg)	Rendimiento (t de MS/ha)	Cantidad utilizable total (t de MS/ha)
Caña	2,20	38,00	5,50	1,40	20,00	18,00
Pasto estrella	1,87	66,00	5,30	1,80	1,50	0,975
CT-115	1,90	63,00	5,20	1,70	12,00	7,20
Leucaena asociada con guinea común	1,93	93,00	10,61	1,94	9,00	6,30

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Soluciones óptimas y análisis de las contribuciones

Las soluciones óptimas y la contribución por especie a la producción de MS (tabla 3) indicaron que la mayor parte del área correspondió al pasto estrella (45 % del total), lo que se debió, fundamentalmente, a la restricción del costo de establecimiento; no obstante, la contribución de esta especie en cuanto a MS fue la menor con respecto al resto de los pastos y forrajes utilizados. Le siguió el área de CT-115, con 21,6 ha (30 % del área), en correspondencia exacta con la restricción planteada. Esta especie fue la de mayor contribución a la producción de MS en la situación simulada, con valores que oscilaron alrededor del 45 %, lo que corrobora lo reportado por Monteagudo (2007) y García *et al.* (2009).

Posteriormente, el modelo estimó que el sistema silvopastoril compuesto por leucaena y guinea común, que ocupó el 20 % de este subsistema, tuvo valores altos en la producción de MS (6,30 t de MS/ha), lo que se corresponde con lo informado por Jiménez *et al.* (2008) y García *et al.* (2009). En cambio, estos valores fueron superiores a lo obtenido por Bugarín *et al.* (2009): 5,02 t de MS/ha. En el caso de la caña de azúcar, los resultados sugieren que, de acuerdo con las condiciones impuestas al sistema, la máxima producción de MS por hectárea se logra si la especie ocupa el 5 %.

En relación con lo anterior, la contribución total a la función objetivo (producción de MS/ha) y la carga que pudiera soportar el sistema indicaron que, con la cantidad de alimento que presumiblemente se debe producir, es posible soportar una carga de 1,9 animales (fig. 1), lo cual fue informado por Senra (1992) en una investigación experimental. Por tanto, según los estimados, se demostraron las potencialidades de los pastos y forrajes para la producción de leche en el periodo poco lluvioso.

Análisis post-óptimo

La producción de MS por hectárea de la caña de azúcar pudiera disminuir hasta 7,64 t y aumentar hasta un valor infinito, sin que se afecte la solución óptima. No obstante, existen límites biológicos, por lo que el valor infinito indica que un aumento, no es sensible para el ordenamiento óptimo propuesto (tabla 4).

En el pasto estrella, el análisis indicó una disminución permisible que sobrepasó el valor cero, lo que permite inferir que se pudiera prescindir de esta especie y mantener la solución óptima. Sin embargo, desde el punto de vista agronómico esta conclusión no es factible, ya que biológicamente es imposible que alguna especie rinda por debajo de cero; aunque en circunstancias accidentales, si ocurre esa situación, el incremento no debe ser superior a 6,30 t de MS/ha.

El rango de sensibilidad en el CT-115 indicó que, mientras la producción de MS sea superior

Tabla 3. Solución óptima y contribución total de MS de cada especie.

Variable de decisión	Solución óptima (hectáreas a sembrar)	Contribución total (kg de MS)
Caña de azúcar	3,47	62 460,00
Pasto estrella	32,38	31 575,32
CT-115	21,60	155 520,00
Leucaena asociada con guinea	14,54	91 633,84

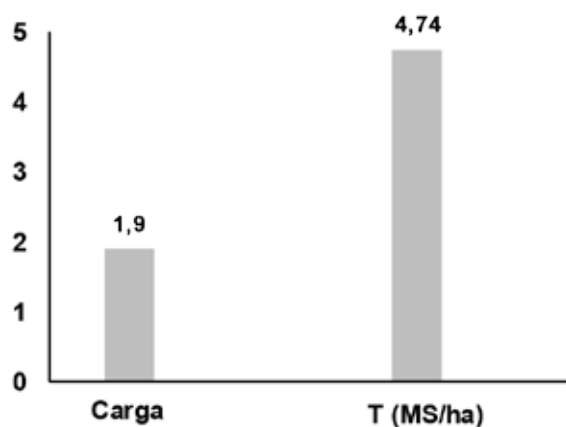


Figura 1. Estimados de la contribución total a la función objetivo (producción de MS/ha) y la carga soportable, para el periodo poco lluvioso.

Tabla 4. Análisis de sensibilidad de la función objetivo.

Variable de decisión	Valor de la función objetivo (t de MS/ha)	Disminución mínima permisible de la función objetivo (t de MS/ha)	Aumento máximo permisible de la función objetivo (t de MS/ha)
Hectáreas de caña de azúcar	18,00	7,64	Infinito
Hectáreas de pasto estrella	0,975	-40,06	6,30
Hectáreas de CT-115	7,20	0,91	Infinito
Hectáreas de leucaena asociada a guinea	6,30	0,975	14,54

Tabla 5. Análisis de sensibilidad de las restricciones y de los recursos.

Restricción	Valor de la restricción	Disminución mínima permisible	Aumento máximo permisible	Precios sombra o dual	Holgura o sobrante
Aporte de energía (Mcal)	425 182,80	Infinito	668 799,14	0,00	243 616,35
Aporte de proteína (kg)	13 973,00	Infinito	20 639,64	0,00	6 666,63
Aporte de Ca (kg)	623,98	Infinito	2 291,53	0,00	1 667,55
Aporte de P (kg)	391,84	Infinito	586,24	0,00	194,40
Costo de establecimiento (\$)	228 729,95	185 667,84	337 830,63	1,58	0,00
Área de caña de azúcar (ha)	3,47	0	13,42	10 356,16	0,00
Área de CT-115 (ha)	21,60	4,71	35,31	6 280,12	0,00
Área total de la unidad (ha)	72,00	52,77	93,27		0,00

a 6,28 t de MS/ ha, el ordenamiento propuesto se mantendrá. Por otra parte, el aumento de este coeficiente no es sensible para la solución óptima, lo que

indica que es posible utilizar cualquier valor. Con respecto al sistema silvopastoril, si la producción de biomasa oscila entre 5,32 y 20,86 t de MS/ha, la

estructura del sistema propuesta por el modelo no sufrirá cambios (tabla 4).

De acuerdo con los amplios rangos que se lograron en este análisis, es posible plantear que el modelo no es sensible a grandes cambios en los coeficientes de la función objetivo, aspecto que demuestra su validez (Alvarado, 2009; 2011).

El análisis de sensibilidad de las restricciones y de los recursos mostró, por medio de diferentes reportes, en qué medida se cumplió con las limitaciones del sistema y en qué rangos se deben mover individualmente los valores de cada restricción, sin que se afecte la solución óptima; aunque sí se afecta la contribución total de la función objetivo (tabla 5).

El aporte de energía pudiera disminuir hasta el infinito, lo que en la situación real del problema significa que se debe mover desde un límite inferior—que se corresponde con el valor de la restricción—hasta un límite superior (425 182,80-668 799,14 Mcal). El precio sombra o dual—que es el índice de mejoría del valor óptimo ante el aumento en una unidad en el lado derecho de una restricción, manteniendo fijos los demás parámetros—indicó que el aumento en una unidad en el lado derecho de la restricción provocará que la función objetivo disminuya hasta un valor nulo, lo que significa que en esa situación no se alcanza el óptimo. La holgura en esta restricción equivale al excedente (181 566,45 Mcal), y representa un supuesto margen de seguridad de este importante nutriente. En el resto de los nutrientes el análisis es el mismo, lo que se debe a que dichas restricciones son mayores o iguales (\geq).

En cuanto al costo de establecimiento, el análisis mostró que este puede tener valores entre \$185 667,84 y 337 830,63. Este amplio rango constituye una información importante desde el punto de vista económico, que puede ser utilizada por la dirección de la empresa para trazar estrategias de planificación en este sentido, con el fin de mejorar la base alimentaria de las vaquerías. El precio dual indicó que, si aumenta en una unidad el lado derecho de esa restricción, la producción de MS por hectárea aumentará en 1,58 veces. Este recurso, según los valores de holgura, se debe utilizar completamente en caso de implementar la base alimentaria de la entidad analizada con esa distribución.

Con respecto a las restricciones de superficie, es posible una disminución a cero en la caña de azúcar, y el espacio destinado a esta no debe superar las 13,42 ha. El precio dual indicó que por cada

unidad que se aumente a partir de las 3,47 ha mínimas necesarias, aumentará en 10 356,16 kg la producción de MS por hectárea. Este recurso, según el modelo, debe ser utilizado sin excedentes, lo que se evidenció con el valor que se obtuvo en la holgura, resultado que fue idéntico para el grupo de restricciones menores o iguales (\leq).

Según el informe, es permisible que el área de CT-115 varíe desde 4,71 a 35,31 ha. Esta especie presentó el mayor valor del precio dual, lo que se corresponde con su elevado potencial para la producción de MS. El área total pudiera estar entre 52,77 y 93,27 ha y el modelo sería el mismo, información que desde el punto de vista práctico es de gran utilidad; ya que demuestra, según las condiciones del sistema, el rango de área factible para mantener la estructura propuesta por el modelo. Esta restricción fue de igualdad, y por tanto no se obtuvo un precio dual.

CONCLUSIONES

Con el método de análisis utilizado se estimó la producción de MS y la carga soportable, los cuales son elementos importantes en la planificación lechera. Se demostró que el análisis post-optimal aportó información valiosa para el examen de diferentes situaciones relacionadas con los coeficientes de la función objetivo, así como con las restricciones del modelo, lo que indica que este no fue sensible a grandes cambios en los valores numéricos de ambos componentes. Por otra parte, se demostró que la programación lineal es una herramienta útil para el análisis prospectivo de la base alimentaria de una lechería tropical, con un enfoque de optimización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J. La programación lineal: aplicación en las pequeñas y medianas empresas. *Revista Reflexiones*, 88 (1): 89-105, 2009.
- Alvarado, J. El análisis post-optimal en programación lineal aplicada a la agricultura. *Revista Reflexiones*, 90 (1): 161-173, 2011.
- Aviles, J. *et al.* Caracterización productiva de explotaciones lecheras empleando metodologías de análisis multivariado. *Revista Científica FCU-LUZ* 20 (1): 74-80, 2010.
- Bugarín, J. *et al.* Evaluación de dos especies de *Leucaena* asociadas a *Brachiaria brizantha* y *Clitorea ternatea* en un sistema silvopastoril de Nayarit, México. II. Producción y composición bromatológica de la biomasa. *Pastos y Forrajes* 32 (4): 1-11, 2009.

- Cáceres, O. *et al.* Tablas de valor nutritivo y requerimientos para el ganado bovino. *Pastos y Forrajes* 23 (2): 105, 2000.
- Cantorski da Rosa, L. & Garrafa, M. Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subproceso colheita da canola. *Gest. Prod.* 16 (1): 63-73, 2009.
- Castro, M. Caracterización multifactorial de los sistemas de producción ovina en la provincia de Cienfuegos. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en Producción Animal para la Zona Tropical. Instituto de Ciencia Animal. San José de las Lajas, Cuba. 76 p., 2009.
- Cino, Delia. Fichas de costos de las principales tecnologías para la producción de leche y carne en Cuba. Documento de trabajo. Instituto de Ciencia Animal San José de las Lajas, Cuba. 23 p., 2010.
- Flores, J. O. & Zambrano, C. La eficiencia técnica de explotaciones agrarias mixtas con producción ovina en el municipio Guanarito, Estado Portuguesa, Venezuela. III Congreso de Producción Animal, 15-19 nov., La Habana, Cuba, 2010.
- García, D. E. *et al.* Caracterización de la calidad nutritiva de 53 accesiones del género *Leucaena* en condiciones tropicales. *Pastos y Forrajes* 32 (1): 1-16, 2009.
- Herrera, J. A. Procedimiento integrador para el análisis, evaluación y corrección de los sistemas de producción de leche en pastoreo. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba, 135 p., 2013.
- Holmann, F. *et al.* Evolución de los sistemas de producción de leche en el trópico latinoamericano y su interrelación con los mercados. Un análisis del caso colombiano. Documento de Trabajo No. 193. Centro Internacional de Agricultura Tropical, International Livestock Research Institute y Systemwide Livestock Program, Cali, Colombia, 11 p. http://webapp.ciat.cgiar.org/tropileche/articulos.pdf/ArtCol_Esp_May_2003.pdf [22/02/2014], 2003.
- Jiménez, F. G. *et al.* Árboles y arbustos forrajeros de la región norte-tzotzil de Chiapas, México. *Veterinaria México*, 39 (2): 199-213, 2008.
- Long Chang. Program to quantitative analysis (Computer). Version 2.0. Georgia Institute of Technology. Georgia, USA, 2009.
- Martínez, R. O. Banco de biomasa para la sostenibilidad de la ganadería tropical. Estrategias de alimentación para el ganado bovino en el trópico. Instituto de Ciencia Animal. San José de las Lajas, Cuba. 133 p., 2004.
- Monteagudo F. 2007. Uso del banco de biomasa como solución al déficit de alimento en vaquerías comerciales. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en Producción Animal para la Zona Tropical. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba. 66 p., 2007.
- National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Sixth Revised Edition. Washington, D. C., National Academy Press, 1989.
- Pérez Infante, F. Ganadería del futuro: producción y eficiencia. Editorial. PALCOGRAF, La Habana, Cuba. 39 p., 2010.
- Ruíz, R. Producción de leche basada en pastos y forrajes tropicales. *Rev. Ciencia y Tecnología Ganadera*, 5 (1): 1-21, 2011.
- Senra, A. F. Producción de leche en los sistemas que se aplican en Cuba. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 26 (4): 227, 1992.
- Soares, J. M. Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Matemática Aplicada. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 146 p., 2009.
- Torres, Verena. *et al.* Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. *Rev. Cubana Cienc. agríc.*, 42 (2): 133-139, 2008.
- Torres, Verena *et al.* Evaluación de los supuestos estadísticos en el modelo estadístico multivariado de medición de impacto (MEMI), en un estudio de caso. III Congreso de Producción Animal, 15-19 nov., La Habana, Cuba, 2010.
- Urdaneta, Fátima *et al.* Eficiencia técnica en fincas ganaderas de doble propósito en la cuenca del lago de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica FCV-LUZ*, 20 (6): 649-658, 2010.
- Vargas, E. Elementos teóricos en programación matemática: Una introducción. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, 6 p., 2004.

Recibido el 20 de abril de 2014

Aceptado el 10 de septiembre de 2014