



Original

Diseño y análisis de alternativas tecnológicas para la producción de leche

Design and Analysis of Technological Alternatives to Milk Production

Javier Herrera Toscano *

* Instituto de Ciencia Animal, Código Postal 3200, Cuba.

Correspondencia: javierantonioquintoherrera@gmail.com

Recibido: Septiembre, 2022; Aceptado: Octubre, 2022; Publicado: Noviembre, 2022.

RESUMEN

Antecedentes: La investigación de operaciones y el diseño de modelos de optimización son herramientas fundamentales en el desarrollo de soluciones prácticas a problemas de producción. **Objetivo.** Diseñar y analizar prospectivamente dos tecnológicas para la producción de leche en una vaquería tropical. **Métodos:** Se utilizó como estudio de casa la unidad 41 Mina Blanca de la empresa pecuaria Valle del Perú. Se simularon dos escenarios en condiciones de secano y sin fertilización, lo que permitió analizar, ex ante, dos circunstancias relacionadas con importantes factores agrobiológicos, económicos y medioambientales. Las variables de los modelos fueron *Cynodon nlemfuensis*, *Leucaena Leucocephala* asociada con *Megathyrus maximus*; *Saccharum officinarum* y *Pennisetum purpureum* vc Cuba CT- 115. Como función objetivo se consideró la producción de materia seca por ha. Los parámetros y coeficientes del modelo se determinaron de forma teórica. Se establecieron diez y nueve restricciones para los escenarios 1 y 2 respectivamente. Se utilizó el programa WinQSB versión 2.0. **Resultados:** Las soluciones óptimas y la contribución por especie a la producción de materia seca indicaron que, en los dos casos la mayor parte del área debe corresponder al pasto estrella 44,9 y 43,76 % del total en los escenarios 1 y 2, respectivamente. **Conclusiones:** Se diseñó y analizó prospectivamente dos tecnológicas para la producción de leche en una vaquería tropical. Las soluciones óptimas para los dos escenarios alternativos propusieron según las restricciones que se establecieron que la mayor parte del área agrícola de las unidades debe ser de pasto estrella.

Palabras clave: lechería, optimización, programación lineal (*Fuente: AGROVOC*)

ABSTRACT

Background: Operation research and optimization model design are essential tools for developing practical solutions to production problems. **Aim:** To design and analyze two types of milk production technologies in a tropical dairy facility. **Methods:** The study was conducted at Mina Blanca, Unit No. 41, Valle del Peru Genetic Project. Dryland conditions without fertilization were created in two simulated scenarios, which permitted *ex-ante* analysis of two

Como citar (APA)

Herrera Toscano, J. (2022). Diseño y análisis de alternativas tecnológicas para la producción de leche. *Revista de Producción Animal*, 34(3). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4294>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

types of circumstances associated with relevant agrobiological, economic, and environmental factors. The model's variables were *Cynodon nlemfuensis*, *Leucaena Leucocephala* associated with *Megathyrus maximus*; *Saccharum officinarum*, and *Pennisetum purpureum* vs *Cuba CT-115*. Dry matter production per ha was considered the objective function. The model's parameters and coefficients were determined theoretically. A total of ten and nine restrictions (scenarios 1 and 2, respectively), were set up. WinQSB version 2.0 was used. **Results:** The optimum solutions and species contribution to dry matter production indicated that in the two cases, the largest portion of the area must correspond to Bermuda grass in scenarios 1 and 2 (44.9 and 43.76%, respectively). **Conclusions:** Two types of technologies were designed and analyzed prospectively, in terms of milk production technologies in a tropical dairy facility. According to the restrictions, the optimum solutions to the alternative scenarios suggested that most farm areas should be planted with Bermuda grass.

Key words: dairy facility, optimization, linear programming (*Source: AGROVOC*)

INTRODUCCIÓN

La investigación de operaciones y el diseño de modelos de optimización son herramientas fundamentales en el desarrollo de soluciones prácticas a problemas de producción sobre todo en el sector agrícola que necesita de insumos técnicos para desarrollar estrategias para maximizar beneficios (Arias *et al.*, 2021).

La investigación de sistemas agropecuarios se realiza con varias etapas una de estas es el diseño de hipótesis de tecnologías alternativas. En este sentido son múltiples las herramientas que pueden ser utilizadas en esa etapa: presupuestos parciales, modelos matemáticos de simulación y de programación multicriterio entre otros, ejemplo de esto es la investigación de (Benítez *et al.*, 2014).

Por otra parte, es incuestionable que la producción de leche y carne con rumiantes en el trópico, depende en un alto grado del rendimiento de los pastos y forrajes, ya que alrededor del 90 % de los nutrientes se derivan de estos; lo que, a su vez, dependerá de la eficiencia y eficacia con que se puedan utilizar (Gutiérrez *et al.*, 2018), por tanto, para lograr incrementar los niveles de producción de leche y carne es imprescindible el diseño de sistemas eficientes en lo referente a la base alimentaria.

En base a los anteriores argumentos el objetivo del presente artículo fue diseñar y analizar prospectivamente dos tecnológicas para la producción de leche en una vaquería tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la unidad utilizada como caso de estudio la investigación se desarrolló en la unidad 41 Mina Blanca de la empresa pecuaria Valle del Perú en el municipio San José de las Lajas provincia Mayabeque, Cuba.

Componentes de los modelos y escenarios de análisis: Se simularon dos escenarios en condiciones de secano y sin fertilización, lo que permitió analizar, ex ante, dos circunstancias relacionadas con importantes factores agrobiológicos, económicos y medioambientales (tabla 1).

Las variables de los modelos se determinaron por medio de una encuesta realizada a 60 expertos de la rama; de tal forma, se incluyeron las siguientes especies: pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*); leucaena (*Leucaena Leucocephala*) asociada con guinea común (*Panicum maximun*); caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); y CT – 115 (*Pennisetum purpureum vc Cuba CT- 115*). Como función objetivo se consideró la producción de materia seca por ha, por ser uno de los principales indicadores de un alimento para la alimentación de los rumiantes (López *et al.*, 2018). Se modeló, según los indicadores físicos de la vaquería que contó con 73 ha y 67 vacas.

Tabla 1. Componentes de los escenarios y alternativas.

Escenarios	Alternativas tecnológicas
Escenario 1	Pasto estrella, leucaena asociada con guinea común, caña de Azúcar, y CT-115
Escenario 2	Pasto estrella, leucaena asociada con guinea común y CT-115

Determinación de los coeficientes de las variables, valores de las restricciones y parámetros de la función objetivo: La información concerniente a los requerimientos nutricionales de los animales se muestra en la tabla 2. En la modelación se asumió, como base alimentaria, los pastos y forrajes, en el período poco lluvioso (210 días), por ser esta la etapa crítica en la producción de leche en el trópico. Los requerimientos se estimaron para vacas de 425 Kg de peso vivo, con una producción de 4 Kg animal⁻¹ día⁻¹ (NRC, 1985), segunda lactancia y con un gasto energético adicionales por locomoción y otros factores. Se estimó un consumo de MS individual del 2 % del peso vivo para los pastos estrella, CT- 115 y guinea común. Para la caña de azúcar y la Leucaena se consideró un consumo de 1 y 0,7 %, respectivamente (Reyes *et al.*, 2015). Los rendimientos de los pastos y forrajes se estimaron considerando la etapa de estabilización de estos en el tiempo. Los rendimientos de MS de las especies de pastos y forrajes se estimaron en base seca. En las estimaciones relacionadas con en el sistema silvopastoril, se consideró que un 70 % del área corresponda a la gramínea y un 30 % a la leguminosa (Rodríguez *et al.*, 2018).

Tabla 2. Estimado de los requerimientos nutricionales de los animales.

Requerimientos	Nutrientes			
	EM (Mcal)	PB (g)	Ca (g)	P (g)
Requerimiento de mantenimiento/animal promedio/día	12,51	359,00	17,00	13,00
Requerimiento para 4 Kg de leche con 3.5 % de grasa	4,40	320,00	13,32	6,04
Gasto en pastoreo + estrés 30%	3,75			
Requerimientos totales para una vaca día ⁻¹	20,66	679,00	30,32	19,04
Requerimientos para 67 vacas en 210 días	290 686,20	9553,53 (kg)	426,60 (kg)	267,84 (kg)

Las tablas 3 y 4 muestran los valores de la composición bromatológica y el aporte nutricional de los pastos y forrajes, el cual se predeterminó según la tabla de valor nutritivo de (García y Pedrozo, 1989). El porcentaje de utilización de los pastos se estimó en 65 % y el forraje 90 %,

según (Soler., *et al* 2018). En el caso de la caña de azúcar el consumo de esta se consideró de acuerdo a las características químicas y fisiológicas promedio de la especie. Como corresponde a continuación:

Consumo de caña por animal por día (kg MS) = 1% del PV

Consumo de caña del rebaño en 210 días (kg MS) = (425 kg x 67 vacas x 210 días) x 0,01

Consumo de caña del rebaño en 210 días (kg MS) = 59 797.5 kg

Consumo de caña del rebaño en 210 días (t MS) = 59.79 t

Hectáreas de caña = 59.79 t MS: 18 t MS ha⁻¹

Hectáreas de caña = 3.32 ha

Por tanto, las hectáreas de caña mínimas necesarias son 3.32

Tabla 3. Composición bromatológica asumida y estimados de rendimiento de MS y MS consumible en ambos escenarios.

Especie	EM (Mcal kg MS ⁻¹)	PB g kg MS ⁻¹	Ca g kg MS ⁻¹	P g kg MS ⁻¹
Caña de azúcar	2.20	3.80	0.55	0.14
Pasto estrella	1.87	6.60	0.53	0.18
CT - 115	1.90	6.30	0.52	0.17
Leucaena y guinea común	1.93	10.35	1.25	0.20

Los parámetros y coeficientes del modelo se determinaron de forma teórica. Se establecieron diez y nueve restricciones para los escenarios 1 y 2 respectivamente, en función de los principios zootécnicos y agropecuarios que modelan el sistema que se analizó, las relacionadas con los nutrientes se determinaron con base a los requerimientos nutricionales de los animales, la restricción referida al costo de establecimiento se determinó según la disponibilidad promedio en los últimos cinco años, de la empresa, para esa actividad. En el caso del área de CT – 115, se limitó según la proporción propuesta por (Martínez, 2004), Se incluyeron dos restricciones relacionadas con el medio ambiente, potencial para la producción de CH₄ y CO₂ por consumo animal, por la importancia que tienen, actualmente, dichas variables en los efectos del calentamiento global; se asumió, en dichos casos una disminución del 30% en la variable de mayor aporte.

Los coeficientes correspondientes a los costos de establecimientos se estimaron por medio de las fichas de costos de cada especie, en moneda nacional, con su respectivo componente en moneda libremente convertible (Cino, 2004).

Los coeficientes medioambientales se estimaron por el balance estequiométrico (Stuart, 2010) y proporciones aritméticas. Los valores correspondientes al patrón de fermentación y digestibilidad de la materia orgánica de cada cultivo, asumidos en los modelos de optimización, se determinaron teóricamente.

El problema fue resuelto por el método simplex primal, lo que permitió obtener la solución óptima. Se utilizó el programa WinQSB versión 2.0 (Long Chang, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 4 se presentan los parámetros y coeficientes del modelo, con el aporte nutricional de cada una de las especies y otras variables de interés económico y ambiental. En este sentido la caña de azúcar es la especie que mayor cantidad de MS y energía debe aportar al sistema por unidad de área sin embargo las limitaciones desde el punto de vista nutricional y fisiológico de la misma limitan su utilización a mayor escala (Guerrero.; *et al* 2018). Otras especies de pastos como el CT – 115 y la Leucaena deberán hacer un aporte superior de materia seca y de nutrientes a pesar de que al igual que en el caso anterior presentan restricciones tecnológicas tal es el caso del CT – 115 y nutritivas en la leucaena, debido fundamentalmente a factores anti nutricionales (Castillo., *et al* 2022).

El pasto de estrella fue la única especie que no presentó restricciones lo que se corresponde con sus características botánicas, no obstante, los rendimientos de materia seca deberán ser muy inferiores al resto de las especies.

Desde el punto de vista económico el análisis indicó que el establecimiento del banco de energía con la caña de azúcar y el de proteína basado en el sistema silvopastoril leucaena – en asociación con guinea serán los más costosos por unidad de área.

En cuanto al potencial para la emisión de CO₂ y CH₄ gases de efecto invernadero el consumo de caña de azúcar será el que más cantidad de gases deberá aportar al ambiente lo que, se corresponde con las limitaciones que fueron anteriormente aludidas de dicha planta y que guardan una relación con los procesos digestivos y de fermentación entérica que ocurren en el estómago de los animales. Cabe mencionar el beneficio que debe esperarse en este sentido del sistema silvopastoril uno de los aspectos más importante de la tecnología y que coincide con los reportes de (Ruiz *et al.*, 2020).

Tabla 4. Valores de las variables, parámetros y coeficientes del modelo.

Parámetros	Variables			
	Caña de azúcar	Pasto Estrella	CT - 115	Leucaena y Guinea
Producción de MS (kg ha ⁻¹)	18 000.00	975.00	7 200.00	6 300.00
Aporte de energía (Mcal ha ⁻¹)	39 600.00	1 823.25	13 680.00	12 159.00
Aporte de proteína (kg ha ⁻¹)	684.00	64.35	453.60	652.05
Aporte de Ca (kg ha ⁻¹)	99.00	5.16	37.44	78.75
Aporte de P (kg ha ⁻¹)	25.20	1.75	12.24	12.60
Costo de establecimiento (\$ ha ⁻¹)	6 522.42	2303.37	2 268.50	5 672.24
Potencial de producción de CO ₂ por consumo animal (t ha ⁻¹)	10.5	0.19	2.84	2.83
Potencial de producción de CH ₄ por consumo animal (t ha ⁻¹)	5.32	0.32	1.58	1.26

Las soluciones óptimas obtenidas y la contribución por especie a la producción de MS (tabla 5) indicaron que, en los dos casos la mayor parte del área debe corresponder al pasto estrella 44.9 y 43.76 % del total en los escenarios 1 y 2, respectivamente, lo que se debió, fundamentalmente, a la restricción del costo de establecimiento; no obstante, la contribución de esta especie, en cuanto al aporte de MS, es la menor con respecto al resto de los pastos y forrajes que se utilizaron en la simulación. Seguidamente, se ubicó en ambos casos el área de CT – 115, con 21.6 ha, que constituyen el 30% del área, en correspondencia con la restricción que se planteó. Esta especie fue la de mayor contribución a la producción de MS en todas las situaciones simuladas, con valores que oscilaron entre 45 y 52 %, resultado que, aunque se estimó teóricamente, validan los reportes de (Martínez y Medina, 2018). Posteriormente, el modelo propuso que el sistema silvopastoril compuesto por leucaena y guinea ocupará 20 y 26 % para los escenarios 1 y 2, respectivamente; proporción que coincidió con los reportes de (Rodríguez *et al.*, 2018), este subsistema mostró valores altos en cuanto a la producción de MS.

En el caso del escenario donde se contempló el uso de la caña de azúcar, los resultados sugieren, de acuerdo con las condiciones impuestas a los sistemas, que la máxima producción de MS ha⁻¹ se logra si esta especie ocupa 4.54 % del área, situación que es favorable a los efectos del balance forrajero para el período lluvioso.

Tabla 5. Solución óptima y contribución total de MS de cada especie.

Variable de decisión	Solución óptima (ha)		Contribución total (kg de MS)	
	Escenario ₁		Escenario ₁	
Caña de azúcar	3.32		59 760.00	
Pasto estrella	33.73		32 884.52	
CT – 115	21.90		157 680.00	
Leucaena asociada con guinea	14.05		88 529.44	
Variable de decisión	Escenario ₂		Escenario ₂	
Pasto estrella	32.89		32 067.62	
CT – 115	21.9		157 680.00	
Leucaena asociada con guinea	18.21		114 723.88	

En consecuencia, con lo anterior, la contribución total a la función objetivo (producción de MSha⁻¹) y la carga que pudiera soportarse en cada contexto, según los escenarios tecnológicos, indicó que el mayor aporte se debe obtener en el escenario 1; este debe superar al 2.84 % al 2, lo que se debió a que en dichos escenarios se asumió destinar una porción del área a la caña de azúcar. Con las cantidades de alimentos que, presumiblemente, se pudiera producir en cada escenario es posible soportar cargas entre 2.64 y 2.54 animales, por tanto, según las estimaciones, las tecnologías demostraron las potencialidades de los pastos y forrajes para la producción de leche, en período poco lluvioso.

CONCLUSIONES

Se diseñó y analizó prospectivamente dos tecnológicas para la producción de leche en una vaquería tropical. Las soluciones óptimas para los dos escenarios alternativos analizados

propusieron según las restricciones que se establecieron que la mayor parte del área agrícola de las unidades debe ser de pasto estrella.

REFERENCIAS

- Arias-Collaguazo, W. M., Castro-Morales, L. G., Maldonado-Gudiño, C. W., & Burbano-García, L. H. (2021). Análisis del modelo de optimización aplicado a la producción agrícola en la Asociación del Gobierno Autónomo Parroquial de Cahuasqui. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78902021000200046&script=sci_arttext
- Benítez Leyva, L. V., Jerez Pereira, R., Pompa Chávez, Y., Tamayo Saborit, M., & de la Rosa Andino, A. (2014). Aplicación de una herramienta de ayuda a la planificación energética en comunidades rurales aisladas. Caso de aplicación Las Peladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2), 70-75. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93231238012.pdf>
- Castillo-Luna, G., Cortez, L. R., Morales, R. L. C., Lozano, E. A., Flores, E. S., & Carrasco, L. B. (2022). Follaje de leucaena (*Leucaena esculenta*) como reemplazo parcial de trigo en dietas para conejos de engorda: comportamiento productivo y rendimiento en canal. *Latin American Archives of Animal Production*, 30(Supl. 1), 143-145. http://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/3077
- Cino, D. M., Martín, P. C., & Torres, V. (2004). Estudio económico preliminar de alternativas de producción de leche bovina. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(1), 3-11. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017870001.pdf>
- García-Trujillo, R y Pedroso, D. (1989). Alimentos para rumiantes. Tablas de valor nutritivos. EDICA, La Habana, Cuba. [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=1131](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=1131)
- Guerrero, J. M. H., Cordero, J. M. M., & Josias, M. W. S. (2018). Suplementación de ovinos con caña picada y urea en la época seca. *Agrisost*, 24(2), 130-142. <https://core.ac.uk/download/pdf/268093131.pdf>
- Gutiérrez, F., Estrella, A., Irazábal, E., Quimiz, V., Portilla, A., & Bonifaz, N. (2018). Mejoramiento de la eficiencia de la proteína de los pastos en bovinos de leche utilizando cuatro formulaciones de balanceados. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 28(2), 115-122. https://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S139085962018000200115&script=sci_arttext
- Long Chang. (2009). Program to quantitative anlysis (Computer). Version 2.0.
- López, G., Nuñez, J., Aguirre, L., & Flores, E. (2018). Dinámica de la producción primaria y valor nutritivo de tres gramíneas tropicales (*Melinis minutiflora*, *Setaria sphacelata* y *Brachiaria mutica*) en tres estados fenológicos. *Revista de Investigaciones Veterinarias*

del Perú, 29(2), 396-409. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172018000200002&script=sci_arttext&tlng=pt

- Martínez, R. O. (2004). Bancos de biomasa para la sostenibilidad de la ganadería tropical. *Estrategias de alimentación para ganado Bovino en el trópico. Instituto de Ciencia Animal (Ed) EDICA*, 133-139.
- Martínez, R. O., & Medina, Y. (2018). Influencia de la utilización de bancos de biomasa con Cuba CT-115 en el comportamiento estacional de la producción de leche con vacas Siboney de Cuba.
- N.R.C (National Research Council). (1985). *Nutrient requirements of sheep* (Vol. 5). National Academies Press. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hcbPz4A-fdoEC&oi=fnd&pg=PR1&dq=N.R.C+\(National+Research+Council\).+\(1985\).+Nutrient+requirements+of+sheep+\(Vol.+5\).+National+Academies+Press.&ots=v5cohMJ6Rj&sig=6rH1YHnVLSSiChfeMSosLPTIjc8#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hcbPz4A-fdoEC&oi=fnd&pg=PR1&dq=N.R.C+(National+Research+Council).+(1985).+Nutrient+requirements+of+sheep+(Vol.+5).+National+Academies+Press.&ots=v5cohMJ6Rj&sig=6rH1YHnVLSSiChfeMSosLPTIjc8#v=onepage&q&f=false)
- Reyes, J. J., Padilla, C., Martín, P. C., Gálvez, M., Rey, S., Noda, A., & Redilla, C. (2015). Consumo de forrajes tropicales por vacas lecheras, mestizas Siboney, manejadas en condiciones de estabulación. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 19(1), 31-40. <https://www.redalyc.org/journal/837/83738998003/html/>
- Rodríguez, C. J. A., Sosa, N. H., Martínez, I. M., Morales, A. G., Jimenez, J. A. C., Conde, E. A. M., & Vargas, D. M. (2018). Composición y estructura de la vegetación en un sistema silvopastoril de la Finca Ganadera 16, Empresa Agropecuaria "Ruta Invasora", Ciego de Ávila, Cuba-Composition and structure of the vegetation in a silvopastoral system of the Cattle Ranch 16, Agricultural Company" Ruta Invasora", Ciego de Avila, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 6(1), 5. <https://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/215>
- Ruiz, C. M. A., Gonzalez, M. A. H., Riaño, A. L., & Vargas, D. R. (2020). Sistemas silvopastoriles "Una opción estratégica para el desarrollo sostenible del sector pecuario". *Revista Siembra CBA*, (2), 7-32. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Revsiembracba/article/download/3624/4088>
- Soler, Y., Ramírez, W., Flores, A., & Antúnez, G. (2018). Sistemas informáticos para el balance alimentario. *REDVET*, 19(4), 1-9. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Soler%2C+Y.%3B+Ram%3ADrez%2C+W.%3B+Flores%2C+A+%26+Ant%3BAnez%2C+G.+%282018%29.+>
- Stuart, J. R. (2010). Balance FR. *Un modelo para el cálculo de la estequiometría de la fermentación ruminal y la producción esperada de metano en el rumen. XVII Fórum de Ciencia y Técnica. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba.*

Herrera Toscano, J.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: JHT; análisis e interpretación de los datos: JHT; redacción del artículo: JHT.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declaran que no existen conflicto de intereses.