

Determinación de la sostenibilidad de un sistema de producción cunícula empleando la metodología de síntesis emergética

Determination of the Sustainability of a Rabbit Production System Using the Emergetic Synthesis Methodology

 Yusimí Pérez López*,  Yanoy Morejón Mesa,  Geisy Hernández Cuello y  Octavio Morales García

Universidad Agraria de la Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

E-mail: yusitacar@gmail.com, ymm@unah.edu.cu, geisyh@unah.edu.cu

*Autor para correspondencia: Yusimí Pérez López. E-mail: yusitacar@gmail.com

RESUMEN: El presente trabajo evalúa la sostenibilidad de un sistema de producción cunícula, mediante la metodología de Síntesis Emergética, que integra en una unidad común (emjoule o sej) los flujos de energía, materiales y servicios económicos. La investigación se realizó en un sistema de producción cunícula establecido en la Granja Universitaria “El Guayabal”, perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana (UNAH). El análisis se centró en el periodo de cierre productivo de 2025, con datos hasta enero de 2026. Se analizó un rebaño que pasó de 100 conejos inicialmente a 239 al final del periodo, alimentados con una dieta específica y con un manejo sanitario básico. Se calcularon y analizaron los índices emergéticos tradicionales (Transformidad, Razón de rendimiento energético, Razón de carga ambiental e índice de sostenibilidad emergético), así como indicadores económicos (Ingreso neto, Costo total, Beneficio neto y Relación Beneficio/Costo). Los resultados indican que el sistema presenta una eficiencia en el uso de los recursos renovables locales, con una transformidad moderada y una carga ambiental baja, reflejando una sostenibilidad aceptable pero con margen de mejora. Económicamente, el sistema mostró rentabilidad. Estos resultados demuestran que la Síntesis Emergética constituye una herramienta robusta para diagnosticar la sostenibilidad integral de sistemas de producción cunícula, recomendándose optimizar el uso de insumos no renovables y fortalecer la autosuficiencia alimentaria.

Palabras clave: Síntesis emergética, manejo agroecológico, sostenibilidad, producción cunícula.

ABSTRACT: This study evaluates the sustainability of a rabbit production system using the Emergetic Synthesis methodology, which integrates energy, material, and economic service, flows into a single unit (emjoule or sej). The research was conducted on a rabbit production system established at the "El Guayabal" University Farm, belonging to the Agrarian University of Havana (UNAH). The analysis considered the production closing period of 2025, with data extending into January 2026. An initial herd of 100 rabbits and a final herd of 239 rabbits were analyzed, fed a specific diet and receiving basic health management. Traditional emergetic indices (Transformability, Energy Performance Ratio, Environmental Load Ratio, and Emergetic Sustainability Index) were calculated and analyzed, as well as economic indicators (Net Income, Total Cost, Net Benefit, and Benefit/Cost Ratio). The results indicate that the system exhibits efficiency in the use of local renewable resources, with moderate transformation and a low environmental impact, reflecting acceptable sustainability but with room for improvement. Economically, the system showed profitability. These results demonstrate that Emergetic Synthesis is a robust tool for diagnosing the overall sustainability of rabbit production systems, recommending the optimization of non-renewable input use and the strengthening of food self-sufficiency.

Keywords: Emergetic synthesis, agroecological management, sustainability, rabbit production.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la producción cunícula emerge como una alternativa para la producción sostenible de proteína animal, dada la alta eficiencia reproductiva, rápido

crecimiento y requerimientos de espacio y alimentos (Bernabé et al., 2024). Esta especie constituye una fuente importante de proteína ya que pueden llegar a producir anualmente de 48,6 a 60 kg de carne por reproductora (Palma & Hurtado, 2010; Riverón, 2000).

Recibido: 17/11/2025

Aceptado: 13/05/2026

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Yusimí Pérez López, Yanoy Morejón Mesa, Geisy Hernández Cuello. **Curación de datos, Investigación:** Yusimí Pérez López, Yanoy Morejón Mesa, Geisy Hernández Cuello, Octavio Morales García. **Metodología, Redacción-borrador inicial, Redacción-revisión y edición:** Yusimí Pérez López, Yanoy Morejón Mesa. **Supervisión:** Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López, Octavio Morales García.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Sin embargo, su verdadera sostenibilidad debe evaluarse desde una perspectiva holística que considere no solo la rentabilidad económica, sino también el aporte ambiental y uso eficiente de los recursos. La Metodología de Síntesis Emergética desarrollada por Odum (1996) permite integrar sistemas ecológicos y económicos en términos cuantitativos, empleándose la energía como lenguaje común (López et al., 2018). La misma propicia la caracterización de las principales fuentes de energía que ingresan al sistema (recursos naturales renovables, no renovables, insumos, materiales y servicios) en unidad común de energía solar equivalente (emjoule, sej) revelando la jerarquía energética real y la dependencia del sistema; así como, la estimación de la contribución de los servicios ecosistémicos al sistema socio-económico, como capital natural; la estimación del trabajo de la ecosfera en la dinámica global de los sistemas antrópicos; la realización de una contabilidad ambiental, económica y ecológica integrada sobre bases termodinámicas, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones; y el cálculo de indicadores termodinámicos de rendimiento, impacto y sostenibilidad (Lomas et al., 2007).

Esta metodología constituye un complemento para cubrir las complejas interrelaciones entre las finanzas y el ambiente en que operan los sistemas alimentarios Giampietro et al. (1994), y permite la evaluación de agroecosistemas, con un fuerte componente científico (termodinámico y ecológico) de las relaciones de interdependencia que se establecen entre los sistemas naturales y los sistemas socio-económicos.

La Granja Universitaria "El Guayabal", perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana, dispone de un sistema de producción cunícula, del cual se desconoce su sostenibilidad a largo plazo, partiéndose de esto, el objetivo general de esta investigación es evaluar la sostenibilidad del sistema de producción cunícula destinado a la producción de carne, mediante el empleo de la Síntesis Emergética.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en un sistema de producción cunícula perteneciente a la Granja Universitaria "El Guayabal", ubicada a los 23°00'12.5" latitud N y 82°09'57.9" longitud O, en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba; la cual cuenta con un suelo Ferralítico Rojo típico Hernández et al. (2019) en toda su extensión, relieve llano y una altura sobre el nivel del mar de 120 m, de acuerdo al Sistema de Posicionamiento Global.

Las variables climáticas registradas en los últimos cinco años arrojaron temperaturas y precipitaciones promedio anuales de 25°C y 130 mm, respectivamente. La humedad relativa varía entre 72,8% (mínimo, en marzo) y 84,6% (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento no supera los 5,00 km/h.

El esquema de trabajo siguió las siguientes etapas:

I. Levantamiento de datos. Se realizó a través del método de observación no participante (diagnóstico integral del funcionamiento del área objeto de estudio, análisis de los registros de datos históricos),

entrevistas semi-estructuradas a informantes claves y entrevistas al azar a productores/as; buscándose la triangulación de la información. Previamente se desarrolló un sondeo de las herramientas para valorar la factibilidad de las mismas.

II. Descripción del sistema de producción. La existencia total de conejos (reproductoras, sementales, en ceba y gazapos) fue de 100 conejos en diciembre de 2025 y de 239 conejos a finales del mes de enero 2026; los grupos raciales estuvieron representados por: Chinchilla, Nueva Zelanda y Pardo criollo; como parte del manejo sanitario, todos son desparasitados con el empleo de Labiomec.

La dieta de estos animales, está compuesta por: harina de caña, premezcla mineral y núcleo concentrado de pienso, según categorías la dieta suministrada es:

200 g por reproductora

20 g por gazapos

100 g por conejo en ceba

100 g por semental

III. Evaluación de Síntesis Emergética. Se desarrolló en las cuatro etapas propuestas por Odum (1996):

1. Diagrama sistémico. Con la información obtenida en el levantamiento de datos se representaron los límites, componentes, entradas y salidas del sistema, así como los flujos de energía y materiales, y las interacciones entre componentes. De modo que quedó expresada la complejidad del sistema durante el periodo diciembre 2025- enero 2026, mediante los símbolos universales establecidos. En las diferentes etapas de la metodología, se desglosó la emergencia total (Y); considerándose los recursos de la naturaleza (I), como renovables (R) y no renovables (N); y los recursos de la economía (F), como materiales (M) y servicios (S).

2. Tabla de Síntesis Emergética. Los flujos representados en el diagrama sistémico fueron convertidos en una línea de cálculo en la Tabla de Evaluación de Emergencia. Se calculó la Emergencia Solar de los bienes y servicios implicados en la producción, para lo cual, se consideró la cuantía en que entró cada flujo al sistema, su transformidad, fracción renovable y factor de conversión. De esta forma, se ponderaron las distintas calidades energéticas y se expresaron en julios solares (seJ).

3. Índices emergéticos. Se calcularon e interpretaron los Índices de Desempeño Emergético tradicionales; transformidad, renovabilidad, razón de rendimiento emergético, razón de inversión emergética, razón de carga ambiental e índice de sostenibilidad (Tabla 1). El procesamiento de los índices se realizó mediante el sistema informático EmTable.

4. Análisis económico. El comportamiento financiero del sistema de producción cunícula se evaluó a partir de los indicadores propuestos por Funes (2009):

Tabla 1. Índices emergéticos.

Índices Emergéticos	Expresión	Concepto
Transformidad solar	$Tr=Y/EP$	Emergía total / Emergía del recurso
Renovabilidad	$\%R=100(R/Y)$	Entradas renovables / Emergía total
Razón de Rendimiento Emergético	$EYR=Y/F$	Emergía total / Recursos de la economía (EYR >2 es favorable)
Razón de Inversión Emergética	$EIR=F/I$	Recursos de la economía / Recursos de la naturaleza
Razón de Carga Ambiental	$ELR=(N+F)/R$	(Recurso no renovables + Recursos de la economía) / Recursos renovables (EYR < 2 indica menos estrés ambiental)
Índice de Sostenibilidad Emergética	$ESI=EYR/ELR$	(Emergía total / Recursos de la economía) / [(Recurso no renovables + Recursos de la economía) / Recursos renovables] (ESI= 1 y 10 sugiere sistema con sostenibilidad potencial)

ingreso neto de la producción, costo total, beneficio bruto y relación beneficio/costo (Tabla 2). En el cálculo de los costos totales de producción se consideraron costos fijos y variables: materias primas y materiales (alimento, materiales de la construcción, medicamentos y materiales afines, materiales y artículos de consumo, útiles y herramientas, partes y piezas de repuesto), combustibles (diésel, lubricantes y aceites), energía, salarios, depreciación de activos fijos y servicios profesionales.

Se considera que la distribución del rebaño es típica (reproductoras, sementales, gazapos y conejos en ceba). Las transformidades estándar de la harina de caña y el alimento concentrado (núcleo de pienso) son $1,5 \times 10^5$ sej/J y $2,0 \times 10^6$ sej/J, respectivamente. Los recursos naturales renovables y no renovables (R, N), se consideran a partir de las hectáreas de alimento (caña de azúcar) utilizados por el sistema. Los precios de los insumos y productos se tomaron por la ficha de costo de los mismos en el mercado nacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los principales resultados obtenidos se muestra el Diagrama del Sistema de producción cunícola objeto de estudio.

En la Figura 1 se representa dicho Diagrama y sus principales flujos energéticos que inciden en la producción de carne de conejo durante el periodo diciembre 2025 y enero 2026. Las energías provenientes del sol, las precipitaciones y el viento dirigen básicamente el resto de los flujos del sistema, ya que comprenden las entradas desde fuentes renovables de la naturaleza. Las importaciones de mayor representatividad provienen de los recursos de la economía (materiales y servicios) e involucraron electricidad, alimento animal, artículos de consumo, medicamentos, prestaciones de servicios técnico-profesionales y materiales de la infraestructura.

Se identificaron como componentes internos al sistema los factores tanto de la biocenosis como del biotopo, que se mantuvieron dentro de los límites del mismo;

entiéndase de forma simplificada, forrajes (caña de azúcar), ganado cunícola, mano de obra y suelo. En el diagrama se puede observar una escasa complejidad trófica, así como la incorporación al suelo de los residuos orgánicos obtenidos del proceso productivo. El único producto de interés comercial y alimentario generado en el sistema es la carne, no se ha considerado el valor agregado de las pieles, por tanto la carne de conejo es la única fuente de ingreso económico, a partir de la cual, se deben garantizar los materiales y servicios provenientes de la economía.

Sobre la base de los fundamentos planteados por Bassan et al. (2015); Bastianoni et al. (2005); Brandt & Fogelberg (2004); Cavalett et al. (2006); Coelho et al. (2003); Odum (1996); Odum et al. (2000); Ortega et al. (2002), se determinaron las entradas correspondientes al mes de enero de 2026, donde los recursos de la naturaleza (I) ascienden a $0,3 \cdot 10^{16}$ sej; los recursos renovables de la naturaleza (R) ascienden a $2,15 \cdot 10^{15}$ sej y los recursos no renovables (N) $5,00 \cdot 10^{14}$ sej. Los recursos de la economía (F) ascendieron a $1,80 \cdot 10^{16}$ sej de las inversiones en términos emergéticos, destacándose la utilización de alimento animal (harina de caña de azúcar y alimento concentrado). Los servicios de la economía (S) y la emergencia invertida en infraestructura fueron bajas, dado por la baja proporción de emergencia empleada por concepto monetario en mano de obra fija y servicios profesionales contratados.

Indicadores emergéticos

La transformidad solar (Tr) además de ser utilizada como factor de conversión (factor de intensidad emergética) de los flujos energéticos a emergencia, brinda información sobre la calidad del sistema.

Durante el periodo de estudio (Tabla 3) el sistema necesitó $2,47 \cdot 10^6$ sej para producir cada J de emergencia contenido en un kg de carne de conejo.

La Renovabilidad (%R) revela el porcentaje que representa la emergencia renovable de la naturaleza del total de emergencia utilizada por el sistema.

Tabla 2. Indicadores económicos

Indicador	UM	Expresión
Ingreso neto de la producción	USD	Ingresos por concepto de venta de conejos (producción en kg)
Beneficio Neto		Ingreso neto de la producción - Costos totales de producción (costos fijos + costos variables)
Relación beneficio/costo		Ingreso neto de la producción / costos totales de producción (costos fijos + costos variables)

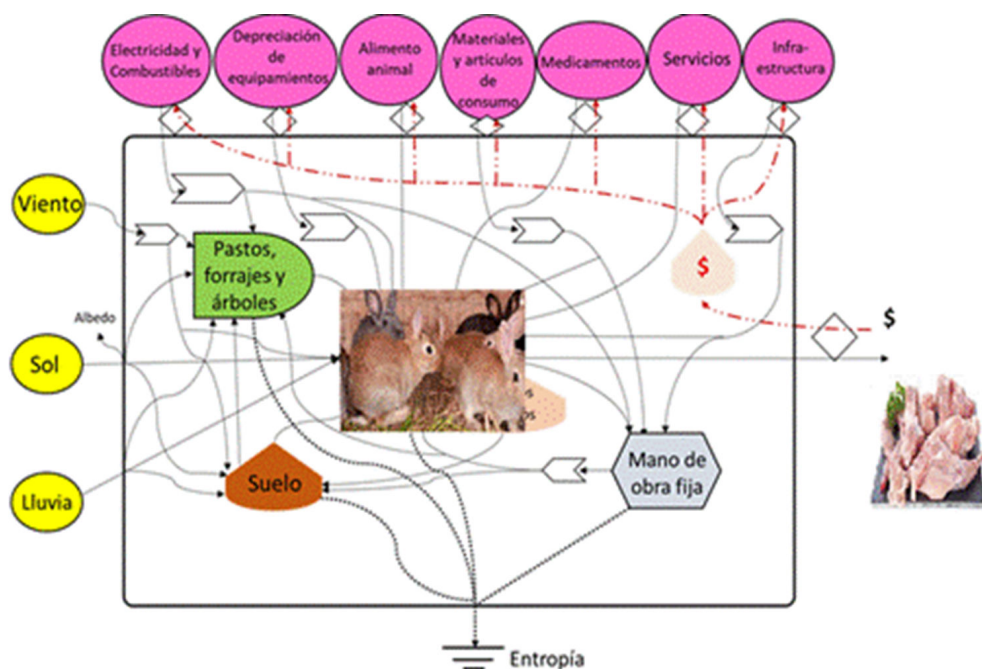


Figura 1. Diagrama simplificado del flujo de energía en el sistema de producción cunícola.

Tabla 3. Indicadores de desempeño emergético en el periodo observado

Indicador	Expresión	Unidad	Dic. 2025-Ene.2026
Tr	$Tr=Y/Ep$	seJ/J	2,47E+6
%R	$\%R=100(R/Y)$	%	10,23
EYR	$EYR=Y/F$	adimensional	1,17
EIR	$EIR=F/I$	adimensional	6,0
ELR	$ELR=(N+F)/R$	adimensional	7,4
ESI	$ESI=EYR/ELR$	adimensional	0,16
Y	$Y=I+F$	seJ.ha ⁻¹ .año ⁻¹	2,10 E+16
EP	$EP=Pa*VC$	J.año ⁻¹	8,50E+09

(Leyenda: Pa: producción anual, kg/ año; VC: valor calórico de la carne de conejo = 130 a 160 kcal/100 g (543,4 a 668,8 kJ/ 100 g).

Elevados valores indican mayores posibilidades de auto-mantenerse en el tiempo, por lo que constituye un medidor de sostenibilidad.

Este comportamiento señala, además, el elevado aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables de la naturaleza como: el sol, las precipitaciones y el viento, ya que, incluso las renovabilidades parciales generadas por materiales y servicios fueron inferiores a las ofrecidas por la naturaleza.

Evaluación económica

Los costos totales de producción obtenidos durante el periodo observado (Tabla 4) ascienden a 1 350 USD, destacándose los gastos correspondientes al alimento

concentrado 1 100 USD y otros insumos y servicios con un valor de 250 USD, lo cual, se corresponde con los resultados de desempeño emergético donde los mayores gastos energéticos fueron consecuencia del uso de medicamentos (fundamentalmente antiparasitarios).

El precio de la carne de conejo, por concepto de venta de 139 conejos de ceba, con una masa promedio de 2 kg es de 13 USD/animal, este valor posibilita proyectar un ingreso total de 1 800 USD (Tabla 4).

La relación beneficio/costo reveló que el sistema es económicamente rentable ($B/C > 1$) en el corto plazo, con un beneficio neto positivo. Sin embargo, esta rentabilidad depende críticamente del precio de los alimentos concentrados.

Tabla 4. Comportamiento de los indicadores económicos

Indicador	Dic. 2025-enero 2026
Ingreso neto de la producción (IT), USD	1 800
Costos totales de producción (costos fijos + costos variables) (CT), USD	1 350
Beneficio Neto (BN= IT-CT) , USD	450
Relación beneficio/costo (B/C=IT/CT)	1,33

CONCLUSIONES

- La Metodología de Síntesis Emergética proporcionó una evaluación complementaria a los análisis económicos, revelando aspectos críticos para la sostenibilidad que los análisis puramente económicos no consideran.
- El sistema presenta rentabilidad económica a corto plazo ($B/C > 1$), impulsada por la eficiencia productiva del conejo.
- Los índices emergéticos ($EYR=1,17$, $ELR=7,4$, $ESI=0,16$) indican una sostenibilidad ambiental débil, caracterizada por una alta dependencia de insumos externos (especialmente alimentos concentrados) y una baja capacidad de aprovechar recursos renovables locales.
- La transformidad del producto ($2,47E6$ sej/J) es consistente con sistemas pecuarios, pero sugiere que existe espacio para mejorar la eficiencia global del uso de la energía.

RECOMENDACIONES

- Incorporar forrajes verdes, subproductos agrícolas locales y cultivos específicos para reducir la dependencia del concentrado comercial. Esto aumentaría el flujo R y mejoraría el EYR y el ESI.
- Mejorar el manejo reproductivo propiciaría aumentar la producción por unidad de insumo, mejorando la Transformidad y la rentabilidad.
- Uso de estiércol procedente del sistema de producción para la producción de biogás o compostaje para reintegrar nutrientes al suelo, creando un ciclo cerrado que reduce la necesidad de F (fertilizantes externos) y valora un residuo.
- Realizar este análisis anualmente para monitorear la tendencia de los índices y evaluar el impacto de las mejoras implementadas.
- Estudiar cómo afectan las variaciones en el precio del concentrado a la rentabilidad, para dimensionar el riesgo económico de la dependencia actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bassan, E., Arcaro, I., & Ambrosio, L. (2015). *Sustainability of milk production system: Capital diagnosis and emergy synthesis*. *Emergy synthesis 8*. Proceedings of the 8th Biennial Emergy Conference.
- Bastianoni, S., Campbell, D., Susani, L., & Tiezzi, E. (2005). The solar transformity of oil and petroleum natural gas. *Ecological Modelling*, 186(2), 212-220, ISSN: 0304-3800, Publisher: Elsevier.
- Bernabé, R. J., Garreta, A., & Lage, O. (2024). A decentralized private data marketplace using blockchain and secure multi-party computation. *ACM Transactions on Privacy and Security*, 27(2), 1-29, ISSN: 2471-2566, Publisher: ACM New York, NY.
- Brandt, W. S., & Fogelberg, S. (2004). *Nested comparative emergy assessments using milk production as a case study*. 3rd Biennial Emergy Research Conference.
- Cavalett, O., De Queiroz, J. F., & Ortega, E. (2006). Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193(3-4), 205-224, ISSN: 0304-3800, Publisher: Elsevier.
- Coelho, O., Ortega, E., & Comar, V. (2003). Balanço de emergia do Brasil. *Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável (Ecological Engineering and Sustainable Agriculture)*. Enrique Ortega.
- Funes, M. F. R. (2009). *Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba*. Universidad de Matanzas, Estación Experimental "Indio Hatuey.
- Giampietro, M., Bukkens, S. G., & Pimentel, D. (1994). Models of energy analysis to assess the performance of food systems. *Agricultural Systems*, 45(1), 19-41, ISSN: 0308-521X, Publisher: Elsevier.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Speck, N. C. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos tropicales*, 40(1), ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- Lomas, P., Di Donato, M., & Ulgiati, S. (2007). La síntesis emergética: Una valoración de los servicios de los ecosistemas con base termodinámica. *Ecosistemas*, 16(3), ISSN: 1697-2473.
- López, B. E. J., García, M. Y., & Valdés, L. A. (2018). Evaluación de la sostenibilidad de la producción de azúcar crudo mediante el análisis emergético. *Centro Azúcar*, 45(2), 59-67, ISSN: 2223-4861, Publisher: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Odum, H. T. (1996). Scales of ecological engineering. *Ecological Engineering*, 6(1-3), 7-19, ISSN: 0925-8574, Publisher: Elsevier.
- Odum, H. T., Brown, M. T., & Brandt-Williams, S. (2000). Handbook of emergy evaluation Folio 1: Introduction and global budget. *University of Florida, Gainesville*, 16.
- Ortega, E., Anami, M., & Diniz, G. (2002). *Certification of food products using emergy analysis*. 227-237.
- Palma, O., & Hurtado, E. (2010). Comportamiento productivo de conejos durante el período de crecimiento-engorde alimentados con frutos de mango (*Mangifera indica*) en sustitución parcial del alimento balanceado comercial. *Idesia (Arica)*, 28(1), 33-37, ISSN: 0718-3429, Publisher: SciELO Chile.
- Riverón, S. (2000). *Present situation of rabbit production in Cuba*. 7th World Rabbit Congress, vol B, (págs. 131-134). Valencia.