





Reseña

Uso de la energía disponible y rol del Cebú seleccionado para leche en cruzamientos Holstein-Cebú

Use of available energy and the role of Zebu selected for milk production in Holstein-Zebu crosses

Alberto Menéndez-Buxadera *, Alina Mitat Valdés **

*Profesor Invitado Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.

**Centro de Investigación para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical, Cuba

Correspondencia: albertomb2011@gmail.com

Recibido: Abril, 2026.; Aceptado: Abril, 2026.; Publicado: Junio, 2026.

RESUMEN

Antecedentes: En los programas de cruzamiento lechero desarrollados en el trópico, la hembra Cebú típica ha sido utilizada tradicionalmente como “receptora” del efecto “transformador” del semental *Bos taurus*, principalmente Holstein. En este esquema, el componente Cebú aporta adaptación, rusticidad y resistencia ambiental, mientras que el componente Holstein contribuye con mayor potencial genético para la producción de leche. Cuando la energía disponible resulta insuficiente, la influencia de los genes del ‘transformador’ puede generar un conflicto funcional reorientando una mayor proporción de la energía hacia la producción de leche, con posibles efectos negativos sobre el comportamiento reproductivo. **Objetivo.** Reflexionar sobre las bases fisiológicas y genéticas del uso de la energía disponible en animales cruzados Holstein × Cebú, y el posible papel del Cebú seleccionado para leche como componente estratégico en la planificación genética de poblaciones lecheras tropicales. **Desarrollo:** Las evidencias revisadas sugieren modificar el rol del Cebú a “receptor seleccionado” en lugar del Cebú típico no seleccionado, podría incrementar la frecuencia de genes favorables a la producción láctea dentro del componente *Bos indicus* de manera que no actuaría únicamente como fuente de rusticidad, sino como soporte funcional del potencial lechero aportado por el Holstein bajo condiciones alimentarias limitantes. **Conclusiones:** La originalidad del trabajo no reside en proponer nuevos principios de nutrición o genética, sino en integrar elementos conocidos de partición energética, adaptación tropical y modificar del rol del Cebú hacia un 'receptor seleccionado' por producción de leche, como soporte funcional del potencial Holstein bajo condiciones de alimentación limitada. **Palabras clave:** Cebú lechero seleccionado; cruzamiento Holstein-Cebú; energía disponible; adaptación tropical; reproducción; producción de leche (*Fuente: AGROVOC*)

Como citar (APA) Menéndez-Buxadera, A., & Mitat Valdés, A. (2026). Uso de la energía disponible y rol del Cebú seleccionado para leche en cruzamientos Holstein-Cebú. Revista De Producción Animal, 38. <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e331>



©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.

ABSTRACT

Background: In dairy crossbreeding programs developed in the tropics, the typical Zebu female has traditionally been used as a "recipient" of the "transformative" effect of the *Bos taurus* sires, mainly Holstein. In this scheme, the Zebu component provides adaptation, hardiness and environmental resistance, while the Holstein component contributes greater genetic potential for milk production. When the available energy is insufficient, the influence of the genes of the 'transformer' can generate a functional conflict by redirecting a greater proportion of the energy towards milk production, with possible negative effects on reproductive behavior. **Objective.** To reflect on the physiological and genetic bases of the use of available energy in Holstein × Cebu crossbred animals, and to assess the possible role of Zebu selected for milk as a strategic component in the genetic planning of tropical dairy populations. **Development:** The reviewed evidence suggests modifying the role of the Zebu to "selected receptor" instead of the typical non-selected Zebu, could increase the frequency of genes favorable to milk production within the *Bos indicus* component so that it would not only act as a source of hardiness, but as functional support of the milk potential provided by the Holstein under limiting dietary conditions. **Conclusions:** The originality of the work does not lie in proposing new principles of nutrition or genetics, but in integrating known elements of energy partitioning, tropical adaptation and modification of the role of the Zebu towards a 'selected receptor' by milk production, as a functional support of the Holstein potential under limited feeding conditions.

Keywords: Selected dairy zebu; Holstein-Zebu crossing; available energy; tropical adaptation; reproduction; milk production (*Source: AGROVOC*)

INTRODUCCIÓN

En los sistemas tropicales de producción de leche, los cruzamientos Holstein × Cebú (HC) han constituido una de las alternativas más utilizadas para combinar el alto potencial productivo del Holstein con la adaptación, rusticidad y resistencia ambiental propias del Cebú. Sin embargo, la expresión favorable de esta combinación genética depende en gran medida de que el ambiente productivo, particularmente la alimentación disponible, permita sostener las demandas fisiológicas asociadas a la producción de leche.

En condiciones como las de Cuba, el uso directo del consumo de materia seca (CMS) como indicador de la energía disponible puede resultar problemático, debido a la elevada variabilidad en la calidad del forraje, la digestibilidad, el contenido de fibra, la época del año, el estrés térmico y el estado fisiológico del animal (Adan, 2019; Osorio-Giraldo *et al.* 2024). A estos factores se adicionan las limitaciones materiales y organizativas que afectan la alimentación del ganado vacuno, las cuales han contribuido a la depresión de diversos indicadores productivos y reproductivos, con tendencias más desfavorables a medida que aumenta el porcentaje de genes Holstein en la población (Menéndez-Buxadera, 2026).

En una reseña reciente, Menéndez-Buxadera (2026) argumentó que, en los cruzamientos HC, puede manifestarse una dominancia funcional de carácter fisiológico, mediante la cual el componente genético Holstein tiende a priorizar el uso de los nutrientes y de la energía potencialmente disponible hacia la producción de leche. Bajo condiciones de alimentación

insuficiente, esta orientación productiva puede generar un conflicto entre producción, reproducción y adaptación, afectando especialmente los indicadores reproductivos y la estabilidad funcional de los animales cruzados.

Esta situación obliga a examinar nuevas alternativas que contribuyan a modificar las tendencias depresivas observadas, mediante un manejo más eficiente de los recursos disponibles y una planificación genética más ajustada a las condiciones reales de producción. En este contexto, no basta con definir la composición genética de las poblaciones únicamente por el porcentaje de genes Holstein. También debe considerarse el tipo funcional de Cebú utilizado como base adaptativa del cruzamiento.

Es un principio ampliamente aceptado en genética cuantitativa que la selección modifica la frecuencia de genes aditivos asociados a los rasgos bajo selección y, como consecuencia, puede cambiar la expresión fenotípica y la forma en que los recursos biológicos disponibles se distribuyen entre diferentes funciones, como producción, reproducción, mantenimiento y adaptación (Blasco, 2021). Por tanto, la utilización de Cebú seleccionado para leche dentro de los programas HC podría tener implicaciones diferentes a las derivadas del uso de Cebú típico no seleccionado.

La argumentación desarrollada en este documento no se fundamenta en un experimento específico diseñado para demostrar directamente este enfoque, lo cual sería difícil de realizar en condiciones prácticas. En su lugar, se propone una reflexión basada en la discusión e interpretación de publicaciones disponibles sobre cruzamiento, requerimientos energéticos, adaptación tropical y partición de la energía en bovinos lecheros. En el trópico, Madalena *et al.* (2012) señalaron que la utilización de animales Cebú seleccionados para leche en programas de cruzamiento HC podría modificar no solo el nivel de producción esperado, sino también la forma en que los recursos derivados del CMS son utilizados y distribuidos entre producción, reproducción y adaptación. Posteriormente, Oliveira (2015), en un metaanálisis de 60 experimentos relacionados con la utilización de la energía consumida en *Bos taurus* y cruces *Bos taurus* × *Bos indicus*, concluyó que los animales cruzados presentaban requerimientos energéticos de mantenimiento inferiores a los de *Bos taurus* puro. Esta tendencia fue corroborada por Silvestre *et al.* (2022), quienes sugirieron que la composición racial de animales Gyr, Holstein × Gyr y Holstein puros no solo se asocia con diferencias en los requerimientos de mantenimiento, sino también con diferencias en la capacidad de partición de la energía.

Sobre la base de estos elementos, la hipótesis de trabajo de esta reseña es que la selección sostenida para producción de leche dentro de poblaciones *Bos indicus* puede incrementar la frecuencia de genes favorables para producción láctea y utilización de nutrientes, sin eliminar necesariamente los atributos adaptativos fundamentales de la especie. En consecuencia, cuando estos animales son utilizados en programas de cruzamiento HC, el componente indicus podría aportar no solo adaptación ambiental, sino también una contribución genética más favorable para sostener la producción de leche bajo condiciones alimentarias limitantes.

Según estos elementos, el objetivo de este documento es reflexionar sobre las bases fisiológicas y genéticas del uso de la energía disponible en animales cruzados Holstein × Cebú, y el posible papel del Cebú seleccionado para leche como componente estratégico en la planificación genética de poblaciones lecheras tropicales.

DESARROLLO

El consumo de energía constituye un componente esencial del crecimiento, mantenimiento, reproducción y producción del animal doméstico. Sin embargo, su medición directa en condiciones prácticas resulta difícil, costosa y poco frecuente, especialmente en sistemas tropicales basados en pastoreo, donde la oferta y la calidad del alimento presentan elevada variabilidad. Por esta razón, en muchos estudios las inferencias sobre utilización de la energía se realizan mediante comparaciones entre genotipos, niveles de producción, requerimientos de mantenimiento y respuestas productivas o reproductivas bajo diferentes condiciones de alimentación. En esta revisión se emplea un enfoque similar. No se pretende demostrar directamente la partición de la energía mediante mediciones experimentales específicas, sino interpretar resultados publicados que han tenido aceptación universal, sobre cruzamientos Holstein × Cebú, requerimientos energéticos, producción de leche, reproducción y adaptación tropical, con el propósito de valorar si el uso de Cebú seleccionado para leche pudiera modificar favorablemente la eficiencia funcional de los genotipos cruzados.

Definición básica del procedimiento empleado.

Para interpretar posibles diferencias en el rendimiento de los cruces Holstein × Cebú, es necesario recordar algunos principios generales del uso de la energía metabolizable (cuadro1).

Definición básica del procedimiento empleado.

Para interpretar posibles diferencias en el rendimiento de los cruces Holstein × Cebú, es necesario recordar algunos principios generales del uso de la energía metabolizable cuya síntesis se presenta en la figura 1.

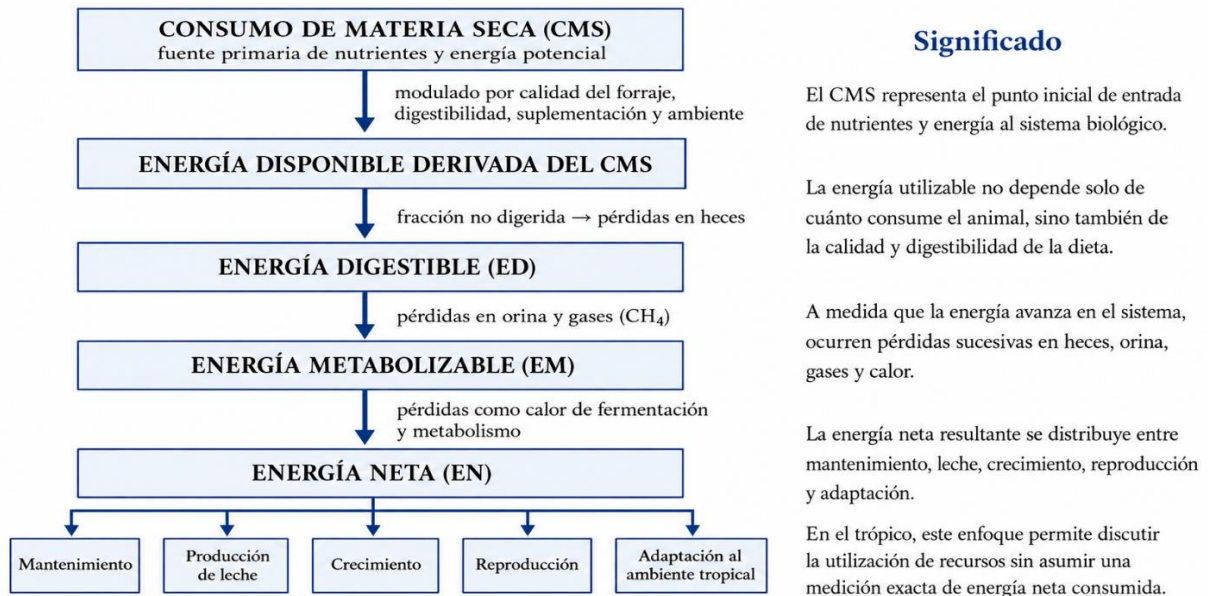


Figura 1. Relación conceptual entre el consumo de materia seca y el uso de energía.

La energía metabolizable, definida como la energía consumida menos las pérdidas en heces, orina y gases, se distribuye entre energía neta para mantenimiento y energía neta para producción. La energía destinada al mantenimiento cubre procesos basales, actividad física y, en ambientes tropicales, una parte importante de los costos asociados a la termorregulación.

Cualquier factor que incremente los requerimientos de mantenimiento reduce la proporción de energía que puede destinarse a funciones productivas, como lactancia, crecimiento o reproducción. Estos conceptos son ampliamente conocidos en nutrición y fisiología animal; sin embargo, no siempre se han utilizado de forma explícita para interpretar la planificación genética de poblaciones lecheras tropicales. Por esta razón, en la figura 1 previo se presentó una síntesis conceptual que servirá de base para la discusión posterior.

Este marco conceptual permite inferir, a partir de la literatura disponible, que las diferencias entre un progenitor Cebú típico y un Cebú seleccionado para leche podrían no limitarse al nivel de producción esperado, sino extenderse a la forma en que los animales cruzados utilizan y distribuyen los recursos energéticos disponibles. Esta interpretación es particularmente relevante en sistemas donde el potencial genético Holstein no puede expresarse plenamente debido a restricciones alimentarias, estrés térmico y limitaciones generales del ambiente productivo.

Eficiencia productiva del cruzamiento Holstein × Cebú.

Existe una amplia cantidad de referencias que describen la producción de leche y el comportamiento reproductivo de animales con diferentes proporciones de genes Holstein y Cebú. A los efectos de esta revisión se utilizaron los datos sintetizados por Rege (1998), quien integró resultados de casi medio siglo de publicaciones sobre cruzamientos Holstein × Cebú en países de

América Latina, Asia y África. La amplitud de esa revisión permite asumir que sus resultados representan tendencias generales más probables para la producción de leche y el intervalo entre partos en animales con proporciones variables de genes Holstein.

La forma suavizada de respuesta de ambos rasgos se presenta en la figura 2, junto con una línea interpretativa de eficiencia productiva. En este documento, la eficiencia productiva no se define como una medición directa de eficiencia energética, sino como una expresión funcional del equilibrio entre mayor producción de leche y mejor comportamiento reproductivo. Desde el punto de vista práctico, producir más leche sin deteriorar severamente la reproducción constituye un objetivo económico y biológicamente aceptable para los criadores de ganado lechero tropical.

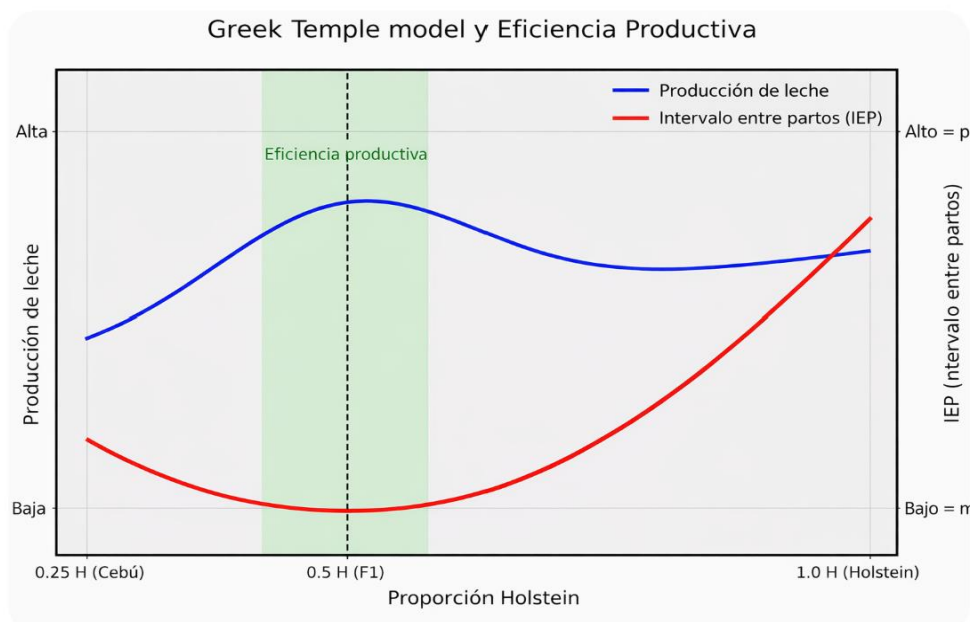


Figura 2. Evolución de la producción de leche y el intervalo entre partos en animales cruzados Holstein × Cebú en diferentes proporciones raciales. (Adaptado de datos de Rege. 1998).

A partir de esta representación, se observa que en el conjunto de condiciones resumidas por Rege (1998), la proporción cercana a 0.5 H × 0.5 C, correspondiente al F1, manifestó el patrón más favorable de eficiencia productiva. Este resultado permite inferir que dicho genotipo logra un mejor equilibrio funcional entre producción de leche y reproducción bajo condiciones tropicales. Sin embargo, esta inferencia no debe interpretarse como una medición directa de eficiencia energética, sino como una expresión fenotípica compatible con un uso más equilibrado de los nutrientes disponibles.

A ambos lados de ese punto, que puede considerarse óptimo dentro del escenario analizado, se manifiestan tendencias de direcciones opuestas, ya señaladas por Madalena *et al.* (2012). Cuando aumenta la proporción de genes Holstein, la producción de leche puede mantenerse o presentar oscilaciones relativamente menores, pero el intervalo entre partos tiende a deteriorarse con mayor intensidad. Por el contrario, cuando disminuye la proporción de genes Holstein, la producción de

leche decrece de forma más marcada, mientras que el intervalo entre partos se afecta en menor grado.

Este patrón sugiere que la eficiencia productiva óptima se encuentra en un rango relativamente estrecho alrededor de la proporción $0.5H \times 0.5C$. No obstante, debe considerarse la conocida relación antagónica entre producción de leche y reproducción, la cual puede acentuarse en ambientes nutricionalmente restrictivos (Lucy, 2001). En términos biológicos, esto refleja la existencia de compromisos funcionales entre producción, reproducción, mantenimiento y adaptación. Por tanto, cualquier programa de mejora genética en condiciones tropicales, ya sea mediante cruzamiento o selección, puede modificar la prioridad fisiológica con que se utiliza la energía disponible.

Este punto de vista, aunque forma parte de los principios generales de la biología evolutiva y de la genética cuantitativa, ha recibido relativamente poca atención en los estudios sobre el comportamiento de los cruzamientos HC en el trópico. La mayoría de los trabajos publicados han utilizado vacas Cebú de poblaciones típicas como “*receptoras*” del potencial “*transformador*” del Holstein. En ese esquema, el componente Cebú aporta adaptación, rusticidad y resistencia ambiental, mientras que el Holstein aporta mayor potencial lechero. La finalidad ha sido producir un genotipo con mayor eficiencia productiva bajo las difíciles condiciones ambientales del trópico, especialmente en sistemas basados en pastoreo. Sin embargo, los resultados históricos de este enfoque no siempre han sido satisfactorios. Rutledge (2001) señaló que los esfuerzos realizados durante casi un siglo para producir una vaca lechera adaptada al trópico mediante el cruzamiento entre razas especializadas y hembras Cebú no alcanzaron plenamente los resultados esperados, en parte debido a problemas derivados de la recombinación entre sistemas genéticos con diferentes grados de compatibilidad funcional. Esta observación no invalida el cruzamiento Holstein \times Cebú, pero sí obliga a reconsiderar el tipo de Cebú utilizado como base del sistema.

En la mayor parte de los estudios publicados, el genotipo Cebú utilizado como *receptor* no estuvo sometido a programas intensivos de selección para producción de leche. De ahí surge una interrogante central para esta revisión: ¿qué podría ocurrir si se empleara un Cebú como “*receptor seleccionado*” del potencial productivo Holstein?

Aunque biológicamente no es posible maximizar simultáneamente todas las funciones fisiológicas, existen evidencias que, consideradas de conjunto, sugieren que hembras Cebú seleccionadas para leche podrían atenuar el antagonismo entre producción, reproducción y adaptación en los cruzamientos Holstein \times Cebú (Hansen, 2004; Madalena *et al.*, 2012; Odero-Waitituh, 2017). En este contexto, el Cebú seleccionado para leche no actuaría únicamente como fuente de adaptación, sino como un “*receptor seleccionado*” capaz de aportar una mayor frecuencia de genes favorables para producción láctea dentro de una base biológica adaptada al trópico. Más recientemente, Al Kalalkeh *et al.* (2021, 2023) demostraron la existencia de regiones comunes del genoma en *Bos indicus* y *Bos taurus* con efectos positivos sobre la producción de leche, e identificaron regiones que diferencian a ambas especies en su contribución al rendimiento lechero. Estas evidencias permiten inferir que *Bos indicus* posee, además de sus atributos adaptativos característicos, un

potencial lechero que puede ser aprovechado de manera más sistemática en los programas de cruzamiento HC.

Para Cuba, esta posibilidad resulta particularmente prometedora. Los primeros resultados publicados por Menéndez-Buxadera *et al.* (2025) demostraron que el Cebú cubano, mantenido bajo condiciones de alimentación basada en pastos y en sistemas cooperativos de bajos recursos, manifestó variabilidad genética importante para producción de leche. Esta variabilidad constituye una base potencial para desarrollar un programa de selección orientado a fortalecer el papel del Cebú como componente adaptativo y lechero dentro de los cruces HC. No obstante, debe señalarse que los enfoques modernos de genética molecular podrían acelerar la identificación y utilización de animales superiores, siempre que se integren con evaluaciones productivas, reproductivas y de adaptación bajo condiciones reales de producción.

Prioridad en la utilización de la energía en el cruzamiento Holstein × Cebú.

El Holstein y el Cebú son genotipos bovinos genéticamente compatibles, pero con historias de selección y prioridades funcionales diferentes. El Holstein ha sido intensamente seleccionado para producción de leche, mientras que el Cebú ha mantenido atributos relacionados con adaptación, tolerancia al calor, rusticidad y supervivencia en ambientes restrictivos. Por esta razón, el cruzamiento HC ha sido ampliamente utilizado en el trópico con el objetivo de combinar potencial lechero y adaptación ambiental. Los efectos de heterosis observados en la generación F1 pueden ser muy favorables; sin embargo, estos efectos no eliminan las limitaciones que aparecen cuando aumenta la proporción de genes Holstein y la energía disponible para sostener la producción resulta insuficiente. En ese contexto, la selección dentro del componente Cebú adquiere especial importancia, pues no todos los animales *Bos indicus* deben considerarse equivalentes desde el punto de vista funcional. En la región latinoamericana hay ejemplos de resultados muy favorables de animales tipo Cebú seleccionados para producción de leche, como el Guzerat Lechero (Peixoto *et al.*, 2006) y el Gyr Lechero (Pacheco *et al.*, 2015) de Brasil, aunque los niveles nutritivos usados en este país están muy alejados de lo disponible en el trópico, no obstante, hay espacio para desarrollar un programa de selección y los primeros resultados logrados en Cuba son alentadores (Menéndez-Buxadera *et al.*, 2025)

El programa de cruzamiento HC lleva implícito producir animales que difieren no solo en niveles de productividad, sino también en su capacidad funcional para utilizar la energía disponible en mantenimiento, crecimiento, reproducción, lactancia y adaptación (ver cuadro 1). La partición de la energía entre estas funciones posee una jerarquía biológica bien establecida (Bauman y Currie 1980), cuya prioridad puede variar en función del componente genético del animal (Carvalho *et al.*, 2018; Silvestre *et al.*, 2022). La energía neta (ver cuadro 1) no es un recurso ilimitado ni en cantidad, calidad y tiempo, en este contexto no se puede asumir que un Cebú “receptor” típico de la población manifieste el mismo comportamiento que “un receptor seleccionado”, ambos poseen su misma capacidad de adaptación y tolerancia, la diferencia se puede deber a la selección por leche de este último, que debe esperarse posea una frecuencia génica mayor respecto al Cebú “receptor”.

Desde el punto de vista conceptual, la energía consumida disponible puede representarse mediante una expresión general en la que intervienen diferentes funciones de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 1 } Y_{EC} = b_1PV^{0.75} + b_2CC + b_3PL + b_4Rep + e_r$$

donde Y_{EC} representa la energía consumida o disponible considerada en el análisis; $PV^{0.75}$ es el peso metabólico; CC , PL y Rep representan condición corporal, producción de leche y reproducción respectivamente; b_1 , b_2 , b_3 y b_4 son coeficientes asociados al uso de energía para cada uno de estos procesos; y e_r representa la fracción no explicada por los componentes incluidos. el cual internacionalmente se conoce como Residual Feed Intake (**RFI**).

Los principales sistemas internacionales de alimentación de rumiantes, tales como NRC/NASEM, INRA, CSIRO y NorFor, han establecido modelos para estimar requerimientos de mantenimiento y producción bajo condiciones relativamente controladas de alimentación, manejo y ambiente, donde los animales se encuentran en condiciones de ausencia de agentes estresantes y una dieta uniforme siempre disponible. Lo anterior resulta el método más recomendable ya que se trata de establecer un patrón comparativo. En términos prácticos hay que señalar varios puntos críticos:

- Se considera que no hay variabilidad entre animales para los coeficientes b_i
- Se han empleado animales genéticamente diferentes a las generaciones actuales.
- Se asume que la energía acumulada en su CC es la misma y se moviliza igual para todos los animales.
- No considera que en condiciones prácticas la energía consumida se utiliza para múltiples procesos tales como: *estrés térmico (ST)*; *competición por el espacio y el nivel de actividad para cosechar el alimento (M)*; *resistencia a enfermedades (Ref)* y *parasitismo (P)*
- Otros elementos, tal como el error de muestreo (e_m).

Según lo expuesto y empleando la simbología indicada anteriormente, es posible construir una nueva ecuación:

$$\text{Ecuación 2 } Y_{EC} = b_1PV^{0.75} + b_2CC + b_3PL + b_4Rep + b_5ST + b_6M + b_7Ref + b_8P + e_m$$

Entre ambas ecuaciones 1 y 2, los cuatro primeros términos son los mismos, mientras que el resto de los coeficientes b_5 b_8 corresponden con las variables explicativas mencionadas previamente que no fueron incluidas en 1 y que por definición son parte del término ' e_r ' el cual se conoce como Residual Feed Consumption (**RFI**). Por simple comparación de ambas ecuaciones se tendrá que

$$e_r = RFI = \frac{b_5ST + b_6M + b_7Ref + b_8P}{\downarrow} + e$$

CARACTERES ADAPTATIVOS

De esta forma, resulta obvio que el término e_r es un indicativo de **RFI** y explica la proporción de energía empleada para una serie de procesos fisiológicos ligados a lo que se denomina componentes funcionales adaptativos y e_m es un error de muestreo. Es importante señalar que en **RFI** se "absorbe" las variaciones individuales en b_1 ... b_4 así como las diferencias de composición de

la condición corporal, de manera que el significado biológico de **RFI** puede tener una mayor aplicación práctica. La derivación de estas fórmulas fue adaptada de Luiting *et al.* (1997).

Cuando el proceso de selección está dirigido a maximizar un carácter productivo puede producirse una especialización en el metabolismo de los animales que favorece dicho rasgo y se reduce en una de estas funciones productivas hacia la cual se prioriza la energía consumida, y no estará disponible para otras funciones de importancia, principalmente aquellos rasgos vinculados al componente adaptativo, cuyas consecuencias fueron revisadas por Rauw *et al.* (1998). De hecho, **RFI** y la **Allocation of Resources Theory** (Rauw *et al.* 2002) permiten tener información sobre la manera en que el animal utiliza y distribuye la **Y_{EC}** en producir y reproducirse. En los cruces HC se combinan estos elementos, menos gastos de mantenimiento y adaptación del Cebú y mayor orientación genética del Holstein hacia la producción de leche. El equilibrio entre ambos componentes puede romperse cuando la energía disponible es insuficiente.

La generalización de lo expuesto indica que en sistemas de cruzamiento HC donde se usa Cebú del tipo “*un receptor seleccionado*”, la contribución genética para producción láctea estará favorecida por la contribución de ambos progenitores, consecuentemente los animales producidos serán más eficientes en términos de **EP** debido a una mayor proporción relativa de **EC** dirigida a la lactancia y reproducción, incluso en condiciones subóptimas. En esta población cruzada HC se puede manifestar un conflicto mediante el cual la influencia de los genes lecheros forzaría una mayor **PL** pudiéndose afectar la reproducción y el animal dejará de ciclar y gestarse. En otras palabras, se manifestará una alteración en la fisiología animal en el uso de los nutrientes:

Si proviene de un Cebú *receptor* normal:

mantenimiento/adaptación → reproducción → producción limitada

Si proviene de un Cebú *receptor seleccionado*:

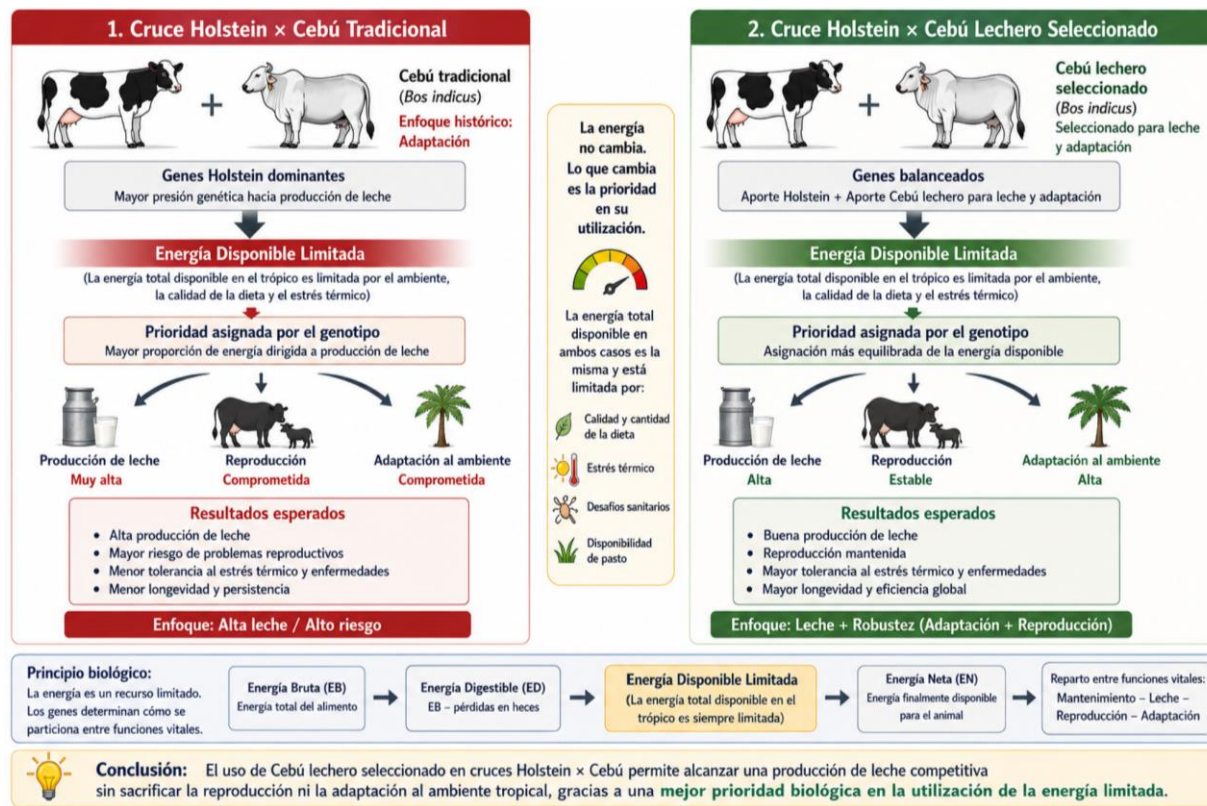
mantenimiento/adaptación → producción de leche + reproducción → mayor equilibrio funcional

En esta prioridad en el uso de los nutrientes, se mantiene las necesidades vitales de mantenimiento y el cambio se manifestará en los rasgos que definen la **EP**. Si la limitante en **Y_{EC}** disponible es muy severa el animal disminuye su nivel de **PL** y **Rep**, será menos resistentes y aumentará el nivel de mortalidad.

La hipótesis propuesta en esta revisión es que el uso de un Cebú seleccionado para leche como receptor del Holstein podría modificar favorablemente este equilibrio. En ese caso, la contribución genética para producción láctea no dependería exclusivamente del componente Holstein, sino también del componente *Bos indicus*. Como resultado, los animales cruzados podrían presentar una eficiencia productiva más favorable, no necesariamente por producir más leche a cualquier costo, sino por expresar un balance más adecuado entre producción de leche, reproducción y adaptación bajo condiciones subóptimas.

El problema del cruce HC en el trópico donde la disponibilidad de nutrientes siempre es deficitaria, no es solamente encontrar el porcentaje óptimo del semental “*transformador*”, sino identificar qué

combinación genética permite usar la energía limitada sin romper el equilibrio entre leche, reproducción y adaptación. La siguiente figura (3) sintetiza esta estrategia.



Concepto basado en: Teoría de Asignación de Recursos (Roff, 1992; Stearns, 1992) y Nutrición Energética de Rumiantes (NRC, 2001; Van Soest, 1994).

Figura 3. Cruces Holstein x Cebú: Misma energía limitada, diferente prioridad es su utilización.

Respecto al comportamiento de animales Cebú calificados como “receptores seleccionados” la única referencia disponible se llevó a cabo en Brasil por Madalena *et al.* (2012). Estos autores analizaron los datos de un rebaño de vacas F₁ de padres Holstein y diferentes tipos de vacas *indicus* y los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados comparativos de vacas F₁ de Holstein con diferentes razas de *B. indicus*.

Rasgo	Genotipos de las vacas		
	Gyr	Guzerat	Nelore
Número de animales	148	45	19
Prod. de leche (kg)	2849	2493	2039
Eficiencia Productiva*	7,1	6,4	5,6

*Se refiere a la relación entre producción de leche y el intervalo entre partos.

Si se considera el Nelore como un Cebú tipo “receptor” los cruces con vacas “receptores seleccionados” del Gyr y Guzerat manifestaron un 39,7 % y 22,2 % mayor nivel de producción de leche respectivamente, mientras que la superioridad en EP fue de 26,7 % y 14,3 %. Aunque el

número de observaciones es pequeño, las tendencias fueron coherentes con el enfoque planteado, lo que indica que el aporte genético vía materna puede brindar beneficios importantes

En consecuencia, el papel del Cebú dentro de los cruzamientos HC no debe limitarse al de una base adaptativa pasiva, el proceso de selección para producción de leche puede convertirlo en un receptor capaz de aportar genes favorables para lactancia sin perder necesariamente su contribución a la adaptación tropical. Esta visión abre una alternativa para planificar la composición genética de poblaciones lecheras del tipo HC en ambientes donde la alimentación disponible no permite sostener de forma estable animales con alta proporción de genes Holstein.

CONCLUSIONES

La evidencia revisada indica que los animales F1 provenientes del cruzamiento entre *Bos indicus* y *Bos taurus* han mostrado, en numerosas condiciones tropicales, un comportamiento favorable en producción de leche, reproducción y eficiencia productiva. Sin embargo, el principal problema práctico no radica en la obtención del F1, sino en la estrategia genética a seguir en las generaciones posteriores. En muchos esquemas de absorción, retro cruzamiento o apareamiento inter se, la eficiencia productiva tiende a disminuir, debido a la reducción de los efectos de heterosis y a las pérdidas asociadas con la recombinación génica, señaladas por Rutledge (2001).

A partir de la discusión e interpretación de las evidencias consultadas, se propone que el cambio del papel tradicional del Cebú, desde un simple “receptor” adaptativo hacia un “receptor seleccionado” para producción de leche, puede representar una alternativa genética de importancia para los programas de cruzamiento HC. Este enfoque permitiría aprovechar con mayor intensidad el componente genético materno, incrementar la frecuencia de genes favorables para producción láctea dentro de *Bos indicus* y utilizar la variabilidad genética aditiva existente en estas poblaciones.

Las evidencias revisadas sugieren que modificar el papel del Cebú, desde un receptor adaptativo típico hacia un receptor seleccionado para leche, podría incrementar la frecuencia de genes favorables a la producción láctea dentro del componente *Bos indicus*. Estas sugerencias deben interpretarse con cautela, aun cuando las tendencias observadas apoyan la hipótesis de que el tipo funcional de Cebú utilizado como progenitor materno puede influir de manera importante en el equilibrio entre producción de leche, reproducción y adaptación.

El trabajo realizado permite inferir que la estrategia no debería centrarse únicamente en incrementar la proporción de genes Holstein, sino en seleccionar mejor el componente Cebú para producción láctea, manteniendo su contribución adaptativa. Esta estrategia podría contribuir a reducir la dependencia de animales con alta proporción Holstein, cuya demanda energética resulta difícil de sostener en sistemas de bajos recursos.

Finalmente, además del Cebú lechero, en Cuba existe el ganado Criollo, una raza históricamente presente en el país y reconocida por su adaptación al ambiente tropical. Su posible contribución a programas de cruzamiento o selección para producción de leche merece ser considerada, aunque

actualmente no existen evidencias suficientes para incorporarlo con el mismo nivel de respaldo que al Cebú lechero seleccionado.

REFERENCIAS

- Adan, A. A. (2019). Variations of the growth periods for three tropical pastures, under the effects of climate change. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 97-106. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA616528881&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=08640394&p=IFME&sw=w>
- Al Kalalkeh, M., Swaminathan, M., Gaundare, Y., Joshi, S., Aliloo, H., Strucken, E. M., Ducrocq, V., & Gibson, J. P. (2021). Genomic evaluation of milk yield in a smallholder crossbred dairy production system in India. *Genetics Selection Evolution*, 53(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s12711-021-00667>
- Al Kalalkeh, M., Swaminathan, M., Podtar, V., Jadhav, S., Dhanikachalam, V., Joshi, A., & Gibson, J. P. (2023). Detection of genomic regions that differentiate *Bos indicus* from *Bos taurus* ancestral breeds for milk yield in Indian crossbred cows. *Frontiers in Genetics*, 13, 1082802. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1082802>
- Bauman, D. E., & Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, 63(9), 1514-1529. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83111-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83111-0).
- Blasco A. (2021). Mejora Genetica Animal. Editorial Síntesis, Madrid España. ISBN:978-84-1.357-116-4, 343 pag. <https://www.bing.com/search?q=Blasco+A.+++%282021%29.+Mejora+Genetica+Animal.+Editorial+S%C3%ADntesis%2C+Madrid+Espa%C3%B1a.+ISBN%3A978841.3571164%2C+343+pag.+&qs=n&form=QBRE&sp=1&lq=0&pq=&sc=00&sk=&evd=256C1D53910C42A9887E1BCBEC4E026C>
- Carvalho, P. H. D. A., Borges, A. L. D. C. C., Silva, R. R. E., Lage, H. F., Vivenza, P. A. D., Ruas, J. R. M., & Carvalho, A. Ú. D. (2018). Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. *Plos one*, 13(8), e0202088. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0202088>
- Hansen, P. J. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*, 82, 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.011>
- Lucy, M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 84, 1277-1293. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70158-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-0)
- Luiting, P. O., Vangen, W. M., Rauw, W. M., Knap, P. W. & Beilharz, R. (1997). Physiological consequences of physiological consequences of selection for growth. In: Book of Abstracts of the 48th Annual Meeting of the European Association for Animal Production. https://doi.org/10.1163/9789004684034_081

- Madalena, F. E., Peixoto, M. G. C. D., & Gibson, J. (2012). Dairy cattle genetics and its applications in Brazil. *Livestock Research for Rural Development*, 24(6), 1-49. <http://www.lrrd.org/lrrd24/6/made24097.htm>
- Menéndez-Buxadera, A (2026). Situación actual y perspectivas del ganado vacuno en Cuba. *Revista de Producción Animal*, 38, 11pag. <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e315>
- Menéndez-Buxadera, A., Balmaseda, R., Valdivia, J. C., & Mitat Valdés, A. (2025). Evaluación del potencial lechero del Cebú en un rebaño de la provincia de Sancti Spíritus, Cuba. *Revista de Producción Animal*, 37, 222-232. <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e188>
- Odero-Waitituh, J. A. (2017). Smallholder dairy production in Kenya; a review. *Livestock Research for Rural Development*, 29(7), 139. <http://www.lrrd.org/lrrd29/7/atiw29139.html>
- Oliveira, A.S, (2015). Meta-analysis of feeding trials to estimate energy requirements of dairy cows under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 210:94-103. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2015.10.006](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.006)
- Osorio-Giraldo, J. F., Calderón-Bedoya, V., de Mesa, O. L., & Restrepo-Berrio, D. (2024). Importancia de la disponibilidad de alternativas forrajeras para la alimentación de ganado bovino. *Revista Politécnica*, 20(39), 18-30. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a2>
- Pacheco, G. B, Nascimento, G. C., Pinheiro, R., Teixeira, R. B., & Verneque, Panetto, J. C. (2015). Genetic parameters of milk production in Gyr dairy cattle (*Bos indicus*). Repositório Institucional da EMBRAPA (Repository Open Access to Scientific Information from EMBRAPA - Alice). <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1039088>
- Peixoto, M. G. C. D., Verneque, R. S., Teodoro, R. L., Penna, V. M., & Martinez, M. L. (2006). Genetic trend for milk yield in Guzerat herds participating in progeny testing and MOET nucleus schemes. *Genet. Mol. Res*, 5(3), 454-465. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17117360>
- Rauw W. Pieter W. Knap, Martinus W.A. Verstegen, P Luiting, (2002) Food resource allocation patterns in lactating females in a long-term selection experiment for litter size in mice. *Genet. Sel. Evol.*, 34 83–104. DOI: [10.1051/gse:2001005](https://doi.org/10.1051/gse:2001005)
- Rauw, W. Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E. N., & Grommers, F. J. (1998). Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Production Science*, 56(1), 15-33. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00147-X)
- Rege, J. E. O. (1998). Utilization of indigenous African cattle breeds in dairy production. Collections; ILRI archive 8 pag. <https://hdl.handle.net/10568/51304>
- Rutledge J. J. (2001). Greek temples, tropical kine and recombination load. *Livestock Production Science*, 68(171–179). [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00245-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00245-1)

Menéndez-Buxadera, A., Mitat Valdés, A.

Silvestre, T., Ferreira, A. L., Machado, F. S., Campos, M. M., Tomich, T. R., Pereira, L. G. R., Rodrigues, P. H. M., & Marcondes, M. I. (2022). Energy requirements of Holstein, Gyr, and Holstein× Gyr crossbred heifers using the respirometry technique. *Frontiers in Animal Science*, 3, 919515. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.919515>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

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

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.