

**CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO GENÉTICO ANIMAL EN EL DISEÑO
DE SISTEMAS SUSTENTABLES DE PRODUCCIÓN BOVINA EN EL
TRÓPICO**

**[CHARACTERIZATION OF ANIMAL GENETIC RESOURCE IN THE
DESIGN OF SUSTAINABLE CATTLE PRODUCTION SYSTEMS IN THE
TROPICS]**

**J.G. Magaña^{1*}, G.M. Parra-Bracamonte², R.J. Estrada-León¹, J.C. Ku-Vera¹
and C.F. Sosa-Ferreira³**

¹ *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán,
AP 4-116, C.P. 97100 Mérida, Yucatán, México. email: jmagana@uady.mx*

² *Laboratorio de Biotecnología Animal. Centro de Biotecnología Genómica,
Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México.*

³ *Fac. Ciencias Naturales y Veterinarias. Univ. Autónoma de Querétaro, México.*

** Corresponding author*

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar e identificar el grado de armonía entre los recursos genéticos animales y los alimenticios disponibles en explotaciones comerciales de ganado bovino de doble propósito en el Sureste de México, se estimó la productividad y la eficiencia energética aparente (EEA) de vacas de bajo, medio y alto encaste de genes europeos (GG) manejadas en pastoreo directo con y sin suplementación (NN). Primero, se trabajó con 316 vacas y 254 becerros en nueve hatos agrupados en cuatro niveles de alimentación (pastoreo directo a temporal con o sin suplementación y pastoreo con riego y fertilización con cinco y siete kg de concentrado comercial por vaca al día), y segundo con 63 vacas en dos hatos uno bajo pastoreo directo a temporal y el otro con suplementación con pollinaza y caña de azúcar durante los meses de seca. La estimación de los efectos de GG, NN, su interacción y otros factores ambientales sobre los indicadores de producción se efectuaron por los procedimientos de modelos lineales generalizados; y la EEA a través de la razón entre los equivalentes energéticos (Mcal EM) de la leche vendible (PL), kg de becerro destetado por vaca parida (WW), los cambios de condición corporal (CCC) durante la lactancia y la energía metabolizable aparentemente consumida durante 240 días. Los efectos de GG y NN resultaron significativos para PL, WW and CCC ($P < 0.001$). La EM retenida en los productos y el balance energético no fue diferente entre las vacas manejadas en pastoreo y pastoreo más suplementación y la EEA fue mayor en un 17% con el uso de la suplementación. Con respecto a los GG, la EM retenida y el total de EM en los productos fue mayor para el GG medio en comparación a los otros dos grupos ($P < 0.05$) y la EEA fue mayor en 78 y 86% en comparación al GG bajo y alto, respectivamente. Las

vacas de medio encaste no solamente fueron más productivas sino que también más eficientes en el uso de la energía disponible del pasto y la suplementación. El incremento en la EEA fue mayor con la utilización de animales de medio encaste que con la utilización de suplementos durante la época de sequía, permitiendo el mejor uso de los recursos e incrementando la sustentabilidad del sistema.

Palabras clave: Grupos genéticos, recursos alimenticios, doble propósito, eficiencia energética aparente, trópicos, sostenibilidad.

SUMMARY

With the objective to characterize and to identify the level of harmony between animal genetic and feed resources available in commercial dual purpose cattle production systems in Southeast Mexico, cow productivity and apparent energetic efficiency (EEA) of low, medium and high European grade (GG) managed under direct grazing with and without supplementation (NN) were estimated. First, 316 cows and 254 calves in nine herds grouped in four nutritional levels (temporal direct grazing with or without supplementation and irrigated and fertilized grazing with either five or seven kg of commercial concentrate per cow a day) were used; and second, 63 cows in two herds, one with direct grazing and the second with supplementation with dehydrated poultry excreta mixed with sugar cane during the dry season. Effects of GG, NN and their interaction and other environmental factors on productive traits were estimated by using the procedure of generalized least squares; and EEA through the ratio of energetic equivalents (Mcal ME) of saleable milk production, calf weaning weight per calved cow, cow body condition change during lactation and metabolizable

energy consumed per cow during 240 days. The effects of GG and NN were significant for PL, WW and CCC ($P < 0.001$). ME retained in the products and the energetic balance was similar between cows managed either with or without supplementation and the EEA was 17% higher when supplementation was used. In relation to GG, the ME retained and contained in the products were higher in medium compared to low and high European grade cows ($P < 0.05$) and EEA were 78 and 86% compared to low and high cow GG, respectively. Medium graded cows were both more

productive and more efficient in the use of energy available in grass and supplements used. The increment of EEA was higher when medium grade cows were used than the use of supplements during the dry season, and allowed better use of feed resources and the sustainability of the system.

Key words: Genetic groups, feed resources, dual purpose, apparent energetic efficiency, tropics, sustainability

INTRODUCCIÓN

La caracterización de los recursos genéticos animales (RGA) abarca todas las acciones asociadas con la identificación, descripción cualitativa y cuantitativa y documentación en los sistemas de producción donde son manejados (FAO 2007). A nivel nacional o regional, la caracterización debe contribuir a la predicción objetiva y confiable del comportamiento animal en ambientes definidos y en consecuencia permitir una comparación del comportamiento potencial dentro de varios de los principales sistemas de producción (FAO 2007) y en el caso de sistemas sustentables de doble propósito de México esta es una de las prioridades (CONARGEN 2000; SAGARPA 2002).

Estudios sobre la caracterización de sistemas de producción de leche y doble propósito han sido realizados para las zonas agroecológicas del estado de Yucatán por Anderson *et al.* (1995); Osorio-Arce *et al.* (1999); Santos-Flores *et al.* (2003) y Parra-Bracamonte *et al.* (2005). En esos estudios se describen las características generales de los ranchos, el ambiente de producción, los recursos alimenticios utilizados, el manejo reproductivo y de salud entre otros. Sin embargo, excepto Parra-Bracamonte *et al.* (2005), no se incluyen los niveles del comportamiento productivo de los RGA de la región y ninguno su interacción con la alimentación.

Por otra parte, el grado de sustentabilidad de una unidad de producción pecuaria puede ser descrita por cuatro indicadores: 1) el ingreso neto a largo plazo; 2) la calidad del suelo y agua para sostener la producción; 3) las habilidades administrativas; y 4) impacto sobre el ambiente externo de la unidad (Parker 1996). Los dos primeros se ven afectados por la relación suelo - agua - planta - animal. De ahí que unas de las prioridades identificadas para la investigación en la producción animal sea el uso sustentable de los recursos forrajeros (Gibon *et al.* 1999). Por lo tanto la selección y manejo del germoplasma vegetal y animal será determinante no solo sobre el grado de

sustentabilidad sino sobre la misma supervivencia de la unidad de producción. Idealmente la mejor combinación vegetal-animal para las condiciones climáticas y de retos ambientales debe ser escogida de acuerdo a su armonía. Si se identifica que la disponibilidad de algún recurso es crítica su conservación requiere reducir su consumo o un incremento en la eficiencia del uso (Thompson y Nardone 1999), como es el caso de los recursos forrajeros y de alimentación en los trópicos. Así el grado con el que la interacción planta - animal afecta la sustentabilidad del sistema puede ser evaluado a través de medidas de eficiencia. Parker (1996) propone que la eficiencia técnica y económica en un sistema de producción puede ser expresada en términos generales como:

$$\text{Eficiencia} = [\text{producto}/\text{insumo}] \times [100]$$

Esto es la relación entre la cantidad de recursos utilizados por el sistema y la cantidad de producto generado, expresado en porcentaje. Bajo esta definición general, la eficiencia de los sistemas basados en pastoreo puede ser definida por:

- a) $\text{kg producto animal} / \text{kg pastura producida (desarrollada)}$,
- b) $\text{utilidades netas (\$)} / \text{unidad de alimento consumido}$. (Parker 1996)

A su vez los kg de producto animal, como los de forraje producido, puede ser analizado por sus componentes, sobre todo en sistemas complejos donde hay varias etapas, como en una unidad bajo un sistema de doble propósito, donde se tienen vacas que son ordeñadas y se producen becerros destetados, que a su vez son engordados para el sacrificio. En este caso se desea tener un indicador de la eficiencia de la vaca y del becerro. La eficiencia de la vaca como componente del sistema puede ser evaluado considerando el costo de su obtención, su mantenimiento, su vida productiva y la cantidad de producto generado. Para Garnsworthy (1988) la vaca eficiente es la que aprovecha la mayor proporción de la energía del alimento que consume transformándola en productos sin recurrir a las

reservas corporales ni sacrificar su fertilidad. Bajo este concepto consideramos a la vaca de doble propósito como un componente del sistema que es transformador de energía (energía disponible como alimento a energía en el producto: kg leche y kg de becerro), entonces la eficiencia de este componente puede ser definido como la capacidad de conversión de la energía disponible en energía contenida en el producto.

Uno de los principales retos de los sistemas de doble propósito en el trópico (SDP) es el de igualar los requerimientos de los animales, según su genotipo, a la disponibilidad de forrajes y alimentos que depende de las variaciones climáticas y estacional en esas regiones, y de esa manera lograr un equilibrio entre las salidas y entradas de energía al sistema para mantenerlo en tiempo y hacerlo rentable. Las cruces F1 de *Bos taurus* x *Bos indicus* son más adaptables a condiciones del trópico que razas puras y con mayores niveles de productividad (Cunningham y Syrstad 1987; Magaña *et al.* 2006 b). Aunque se ha sugerido que las razas *Bos taurus* pueden mejorar los niveles de productividad si el estrés ambiental es reducido (McDowell *et al.* 1996). Sin embargo, para esto se incurre en incrementos de costos de producción debido a la utilización de suplementos comprados y con gastos de infraestructura y operación adicionales para el sistema. El suministro de pequeñas cantidades de suplementos (proteína, almidón) que proporcionen metabolitos críticos en el rumen (NH₃; ácido propiónico), podrían tener un efecto positivo sobre la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (Leng 1990; Poppi y McLennan 1995). Por lo tanto el grado de sustentabilidad del SDP se verá afectado por la capacidad del genotipo utilizado, para adaptarse al ambiente y poder transformar la energía disponible en producto en una mayor proporción.

Con el objetivo de caracterizar los recursos genéticos animales utilizados en los sistemas de doble propósito de la región se efectuaron dos trabajos; en el primero se estimaron los efectos del grado de encaste con genes de *Bos taurus* así como el nivel de alimentación sobre la productividad; en el segundo se obtuvo un indicador de Eficiencia Energética Aparente (EEA) de las vacas en el SDP en el trópico y utilizar este indicador como criterio para comparar tres niveles de encaste con genes de *Bos taurus* (bajo, medio y alto) y el efecto de la suplementación. Con base en lo anterior determinar que grado de encaste resulta más adecuado para los recursos alimenticios disponibles en las explotaciones de SDP, y utilizarlo como una medida para lograr la sustentabilidad de los SDP en el trópico.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Estado de Yucatán, ubicado en el sureste de México y comprende dos partes. En la primera se utilizó la información de hatos en SDP de la región centro (4 hatos) y de la región sur del estado (5 hatos), con un total de registros de 316 vacas y 257 becerros. Las condiciones generales ubicación geográfica y de manejo de los hatos fueron descritos por Magaña *et al.* (2006 b), cuyas características como el tamaño del hato, recursos alimenticios y manejo general son similares a los descritos por Osorio-Arce *et al.* (1999) y Santos-Flores *et al.* (2003). En general los hatos se clasificaron en 4 niveles nutricionales (NN) acuerdo con la disponibilidad de pasto verde, materia seca, el uso de suplementos o concentrados y el nivel de producción de cada hato. Los hatos se asignaron a los 4 NN como sigue:

- NN1: Producción en pastoreo exclusivamente, promedio de producción de leche por vaca por lactancia menor a 1000kg.
- NN2: Pastoreo de todas las vacas y suplementación a vacas en producción en época de secas, producción promedio por vaca de 1000kg a 1500kg.
- NN3: Pastoreo en praderas irrigadas y fertilizadas, suplementación a vacas en producción con 5kg de concentrado comercial con 16% de proteína cruda, suplementación adicional en época de secas con pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) de corte. Producción promedio de leche por vaca por lactancia de 2000kg a 2500kg.
- NN4: Pastoreo restringido en praderas irrigadas y fertilizadas, alimentadas en corral con pasto Taiwán de corte (10kg a 20kg) y suplementación con 7kg de concentrado comercial o preparado en la unidad con insumos locales. Producción de leche promedio por vaca por lactancia de más de 2500kg.

La información sobre los hatos incluyó los costos fijos y variables, tamaño de la unidad, prácticas de manejo de las praderas y de los animales, producción de materia húmeda y materia seca por hectárea por mes, así como la información de precipitación pluvial. Los registros de la vacas incluyeron fecha de parto, la producción de leche vendible por mes y la condición corporal. Con base en dicha información se calculó la producción de leche vendible por lactancia, los días en ordeño, la leche vendible ajustada al promedio de días de ordeño en cada NN y los cambios en condición corporal. La información de los becerros incluyó peso al destete, edad al destete y supervivencia, lo que permitió el cálculo de ganancias diarias, pesos al destete promedio por vaca parida y mortalidad.

Se utilizó un modelo de efectos fijos para el análisis de las variables producción de leche y crecimiento, como sigue:

$$Y_{ijklmn} = \mu + NN_i + GG_j + MP_k + NP_l + CCP_m + NN \times GG_{ij} + E_{ijklmn}$$

Donde:

Y_{ijklmn} = Kilogramos de Leche Producida, Peso del Becerro al Destete y Peso del Becerro por vaca expuesta.

μ = media general,

NN_i = i-ésimo nivel nutricional (1,2,3, y 4),

GG_j = j-ésimo grupo genético de la vaca (A, M, B),

MP_k = k-ésimo mes de parto, (enero, febrero, ..., diciembre)

NP_l = l-ésimo número de parto (1 y 2 ó más)

CCP_m = m-ésima condición corporal al parto (5, 6,7,8 ó más),

$NN \times GG_{ij}$ = ij-ésima interacción entre nivel nutricional y grupo genético, y

E_{ijklmn} = ijklmn-ésimo error asociado a cada n-ésima observación.

El análisis se realizó a través de modelos lineales generalizados y se obtuvieron medias por mínimos cuadrados para las diferentes clases.

Para la segunda parte del estudio se utilizó la información de 63 vacas multíparas en dos hatos con SDP, uno con alimentación basada en pastoreo y el otro basado en alimentación con pastoreo suplementado en época de secas, localizados ambos en el sur del estado y con la utilización de recursos alimenticios regionales. En los dos hatos, como en la primera parte del trabajo se clasificaron las vacas de acuerdo con el grado de encaste con genes de *Bos taurus* (bajo, medio y alto). En visitas mensuales a los hatos se registró la fecha de parto de las vacas, la cantidad de leche vendible producida por vaca, la condición corporal correspondiente y el peso y fecha de destete de los becerros. En los dos hatos de esta parte del estudio se practica el pastoreo rotacional (descansos de 30 a 40 días) nocturno en praderas de pasto Guinea (*Panicum máximum*) con régimen temporal, sin riego ni fertilización. La suplementación en un hato en época de secas consistió en 3kg de caña de azúcar picada más 1.5kg de pollinaza. Se registraron para cada vaca las variables de fecha de parto, número de parto, condición corporal al parto, fecha de destete y peso del becerro al destete, y en cada visita mensual a los hatos la producción de leche de cada vaca y su condición corporal. La producción de forraje en las praderas de cada unidad se estimó a través de 10 muestras mensuales por hectárea con un cuadrante de 0.5m², las muestras se mezclaron homogéneamente y se determinó el porcentaje de materia seca; posteriormente se estimó la cantidad de

Energía Metabolizable (EM; Mcal) aparentemente disponible por vaca por día, tanto a través del pasto como por la suplementación otorgada. Se utilizaron valores de referencia (Calrac, 1997) para la estimación de la EM (Mcal) por kg de materia seca del pasto Guinea, caña de azúcar y pollinaza; para el pasto Guinea para época de lluvias (2.10 Mcal/kg) y secas (1.80 Mcal/kg), caña de azúcar (2.19 Mcal/kg) y pollinaza (1.72 Mcal/kg). La EM disponible por hectárea se ajustó a la carga animal mensual para estimar la EM aparentemente disponible por vaca, considerando un consumo límite de 3% de su peso vivo en MS.

La estimación de la eficiencia energética aparente (EEA) se realizó a través de la razón de la Energía Metabolizable (EM) en los productos sobre la EM en los insumos aparentemente consumidos desde el parto hasta la edad al destete (240 días). La EM en los insumos es aquella contenida en los sustratos utilizados en la alimentación, tanto del forraje como de los suplementos. La EM en los productos incluye: la EM en la leche vendible durante el ciclo de lactancia (1.06 Mcal por kg de leche); la EM contenida en los kilogramos de becerro destetado expresados como equivalentes de kilogramos de leche requerida para su desarrollo desde el nacimiento al destete (1.06 Mcal x 9 por cada kg de becerro destetado; Syrstad (1993), en el caso de que la vaca no haya destetado un becerro el aporte de EM en este producto se registro como 0; la EM contenida en los cambios de condición corporal (1 unidad de pérdida de CC igual a -25kg peso vivo x 8.46 Mcal; 1 unidad de ganancia de CC igual a +25kg peso vivo x 11.85 Mcal) (Garnsworthy 1988; Green *et al.* 1991), por lo tanto la EEA se calculó como:

$$EEA = (EM_{plv} + EM_{pdv}) \pm EM_{ccc} / (EM_{sp} \text{ ó } EM_{sps})$$

donde:

EEA = eficiencia energética aparente,

EM_{plv} = energía metabolizable en la leche vendible,

EM_{pdv} = energía metabolizable en los kilogramos de becerro destetado

EM_{ccc} = energía metabolizable para los cambios de condición corporal,

EM_{sp} = energía metabolizable disponible en el sistema de pastoreo, y

EM_{sps} = energía metabolizable disponible en el sistema de pastoreo suplementado.

El análisis estadístico de esta segunda parte del trabajo se llevó a cabo utilizando un modelo de efectos fijos para las características de producción de leche y crecimiento de los becerros. El modelo resultante fue:

$$Y_{ijklm} = \mu + SA_i + GG_j + EP_k + CCP_m + SA \times GG_{ij} + E_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = Eficiencia Energética Aparente, Kilogramos de Leche Vendible, Peso del Becerro al Destete y Peso del Becerro por vaca expuesta.

μ = media general,

SA_i = i-ésimo sistema de alimentación (SP, SPS),

GG_j = j-ésimo grupo genético (A, M, B),

EP_k = k-ésima época de parto,

CCP_m = m-ésima condición corporal al parto (6,7,8,9),

$SA \times GG_{ij}$ = ij-ésima interacción entre sistema de alimentación y grupo genético, y

E_{ijkmn} = ijkmn-ésimo error asociado a cada observación.

RESULTADOS

Producción de leche y peso de los becerros

En el primer estudio, se observaron diferencias significativas entre los promedios de los grupos por Nivel Nutricional del hato. Este factor afectó significativamente las características de cantidad de leche vendible por lactancia y los días en ordeño ($P < 0.001$), el peso del becerro al destete y su ganancia diaria ($P < 0.001$), así como la edad al destete ($P < 0.05$). Las vacas tuvieron mayor cantidad de leche vendible y días en ordeña conforme se incremento el NN de los hatos (Tabla 1). El peso de los becerros al destete y su ganancia diaria fueron mayores en el NN1, intermedios en los NN2 y NN3 y menor el NN4 ($P < 0.001$), aunque la menor edad al destete fue el NN4. Sin embargo solo la ganancia de peso pre-destete fue diferente para NN1, siendo superior en comparación a los otros tres NN ($P < 0.001$). Al considerar el peso al destete por vaca parida, lo obtenido en NN1, NN2 y NN3 resultaron similares, mientras que NN4 fue inferior significativamente ($P < 0.001$), esto debido a una mayor pérdida de becerros pre-destete (27.27% vs 10% a 20%) y al menor peso promedio por becerro.

Los efectos del grupo genético sobre las variables analizadas se muestran en la tabla 2. Se observaron diferencias significativas para cantidad de leche vendible y días en ordeño ($p < 0.001$), peso al destete y ganancia de peso pre-destete ($p < 0.01$), pero no para la edad del becerro al destete ($p < 0.05$). Como se puede observar en la Tabla 2 las vacas del grupo genético bajo produjeron significativamente ($p < 0.001$) menor cantidad de leche vendible por lactancia que los grupos genéticos medio y alto, mientras que para producción ajustada al largo de la lactancia solo resultó inferior al grupo genético alto. Los grupos medio y alto no resultaron significativamente diferentes para producción de leche vendible por lactancia o ajustada. En lo que respecta al peso promedio al destete de los becerros, los resultados señalaron que los grupos genéticos medio y bajo no fueron diferentes entre sí pero el grupo genético alto resultó significativamente inferior ($P < 0.001$) a los otros dos grupos. Cabe señalar que no hubo diferencias entre grupos genéticos para edad al destete. La ganancia diaria pre-destete promedio para el grupo genético bajo no fue diferente a los otros dos grupos, pero el promedio del grupo medio fue superior significativamente al grupo alto ($P < 0.001$). En el caso del peso promedio del becerro destetado por vaca parida, el promedio de los becerros del grupo genético de medio encaste fue significativamente superior ($P < 0.001$) al de los otros dos grupos, siendo estos iguales entre sí.

Cuando se consideraron los efectos de Nivel Nutricional y Grupo Genético al mismo tiempo se observó que el grupo genético medio mantuvo su superioridad significativa ($P < 0.05$) en cuanto a kg de leche vendible por lactancia, en NN1 y NN3, mientras que la superioridad aparente sobre GG alto en NN2 y NN4 no fue significativa (Figura 1).

Tabla 1. Medias por mínimos cuadrados y errores estándar para producción de leche total y ajustada a días en ordeño, días en ordeño, peso del becerro al destete total y por vaca parida, edad al destete y ganancia diaria de peso, por clase de Nivel Nutricional.

Característica	Nivel Nutricional del Hato			
	NN1	NN2	NN3	NN4
Kg leche por lactancia	562.4 (106.1)d	1141.6 (93.5)c	1775 (117.9)b	2366 (100)a
Kg leche ajustada a días	749.3 (42.4)d	934.4 (36.5)c	1803.9(43.3)b	2088 (35)a
Días en ordeño	133.8 (9.4)c	175.6(8.4)b	206.1 (10.4)a	216 (8.8)a
Kg becerro al destete	176.9 (5)a	162.1 (4.1)b	165.2 (5.5)b	150.4 (5.6)c
Kg becerro por vaca parida	135.2 (8.2)a	138.6 (7.4)a	130.1 (9.2)a	96.0 (7.8)b
Días al destete	216.2 (5.1)b	233.7 (4.2)a	222.9 (5.9)a	171.4 (5.8)c
Ganancia de peso /día (g)	652 (26)a	539 (25)b	587 (27)b	638 (30)b
Tasa de mortalidad	15 / 72	8 / 86	9 / 59	27 / 99

Errores estándar entre paréntesis. Diferentes literales señalan diferencias significativas con $P < 0.001$, excepto para edad al destete con $P < 0.05$.

Tabla 2. Medias por mínimos cuadrados y errores estándar para producción de leche total y ajustada a días en ordeño, días en ordeño, peso del becerro al destete total y por vaca parida, edad al destete y ganancia diaria de peso, por clase de Grupo Genético.

Característica	Grupo Genético		
	Bajo	Medio	Alto
Kg leche por lactancia	828.8 (95.2)b	1727.5 (94.7)a	1603.5 (83.5)a
Kg leche ajustada a días	1289.3 (39)b	1389 (36.4)ab	1503.4 (31.2)a
Días en ordeño	132.9 (8.4)b	209.6 (8.4)a	196 (7.4)a
Kg becerro al destete	164.7 (6)ab	169.7 (4.1)a	156.2 (4.2)b
Kg becerro por vaca parida	103.7 (7.4)b	152.8 (7.4)a	118.4 (6.5)b
Días al destete	212.3 (5.2)a	211.5 (4.2)a	209.3 (4.3)a
Ganancia de peso /día (g)	603 (27)ab	628 (26)a	580 (24)b
Tasa de mortalidad	27 / 80	7 / 97	28 / 139

Errores estándar entre paréntesis. Diferentes literales señalan diferencias significativas $P < 0.001$.

Un comportamiento similar se observó para la cantidad de días en ordeño. Las vacas del GG medio estuvieron más días en ordeño que las de los otros dos GG de forma independiente al Nivel Nutricional.

En lo que se refiere a el peso promedio de los becerros al destete, el GG medio tuvo mayores pesos significativamente ($P < 0.05$) que el GG bajo en el NN2, que el GG alto en el NN1 y NN2, no hubo diferencia entre los tres GG en el N3 y el GG bajo resultó superior a los otros dos GG en el N4 (Figura 2) lo que representa una interacción importante. En contraste no hubo diferencias significativas entre los GG para edad al destete dentro de los diferentes NN.

Es importante señalar que solamente en el NN2 el GG medio tuvo ganancias de peso predestete significativamente ($P < 0.05$) superiores a los otros dos GG. Sin embargo al considerar la mortalidad de becerros el GG medio fue significativamente superior al GG bajo y GG alto en todos los NN excepto en el NN1 y NN3 respectivamente.

Eficiencia Energética Aparente

En la segunda parte del estudio se observó un comportamiento productivo similar de los GG a la primera parte en el que el GG medio tuvo mejor desempeño que el GG bajo ($p < 0.05$) en la cantidad de leche vendible, y superior ($p < 0.05$) a los GG bajo y GG alto en los kilogramos de becerro destetado. Igualmente la suplementación tuvo un efecto significativo sobre los kilogramos de leche vendible, pero no incrementó los kilogramos de becerro destetado.

Al evaluarse la eficiencia en la utilización de la energía disponible se observó que el sistema de pastoreo con suplementación incrementó la Eficiencia

Energética Aparente de 0.24 a 0.28. Mientras que el GG de medio encaste con genes europeos tuvo mayor EEA que los otros dos GG en aproximadamente 0.17 (Tabla3).

DISCUSIÓN

La inclusión de criterios de sustentabilidad en la evaluación de los sistemas de producción animal pueden ser vistos desde una perspectiva de la disponibilidad de los recursos o de la integridad funcional del sistema, esta última incluye los componentes del suelo, la planta, los animales, así como al humano y sus instituciones (Thompson y Nardone 1999). Esta última perspectiva implica que la integridad del sistema depende de la constitución de todos sus elementos y que la desaparición de uno afecta a la totalidad. De acuerdo con esta postura es necesario buscar mantener niveles de eficiencia en el uso de los recursos de tal manera que se disminuya el riesgo de agotar cualquiera de ellos. Una forma es buscando y utilizando la mejor combinación de elementos que interactúan dentro del componente biológico del sistema.

Los RGA disponibles para los Sistemas de Doble Propósito para la producción de leche y carne en el trópico de México consisten en razas cebuínas o europeas y sus cruza, mientras que las estrategias de alimentación de los animales consisten en solo pastoreo de forrajes tropicales o pastoreo y suplementación con concentrados o con subproductos agroindustriales (Sosa, 1998; Anderson *et al.* 1995; Osorio-Arce *et al.* 1999; Santos-Flores *et al.* 2003; Parra-Bracamonte *et al.* 2005; Magaña *et al.* 2006 a). Idealmente la vaca debe convertir eficientemente la energía del alimento en productos vendibles como leche y kilogramos de becerro.

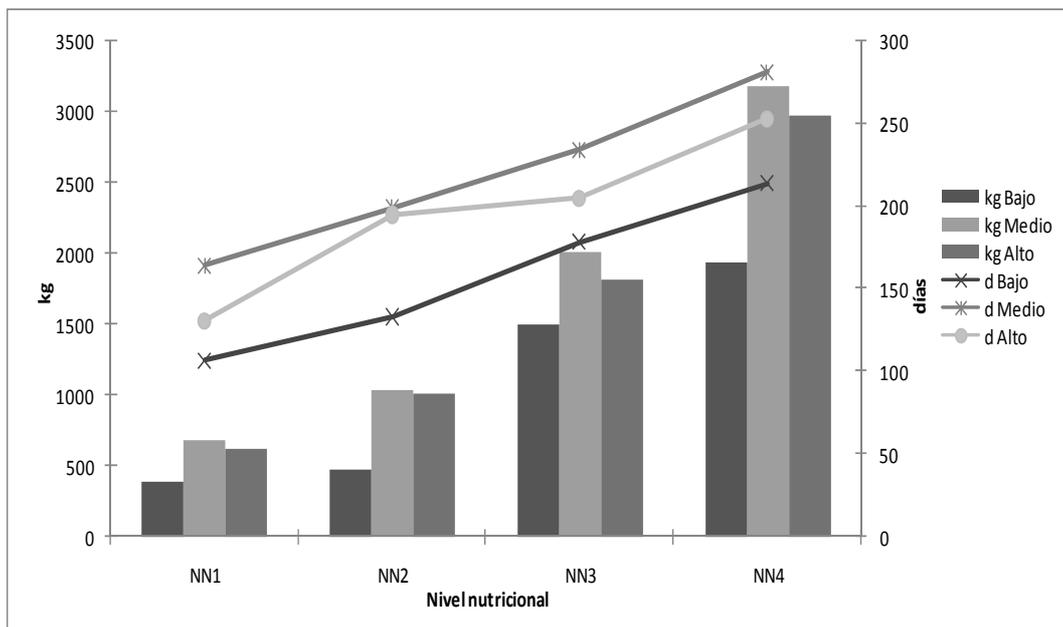


Figura 1. Kilogramos de leche por lactancia y días en ordeño por Nivel Nutricional y Grupo Genético.

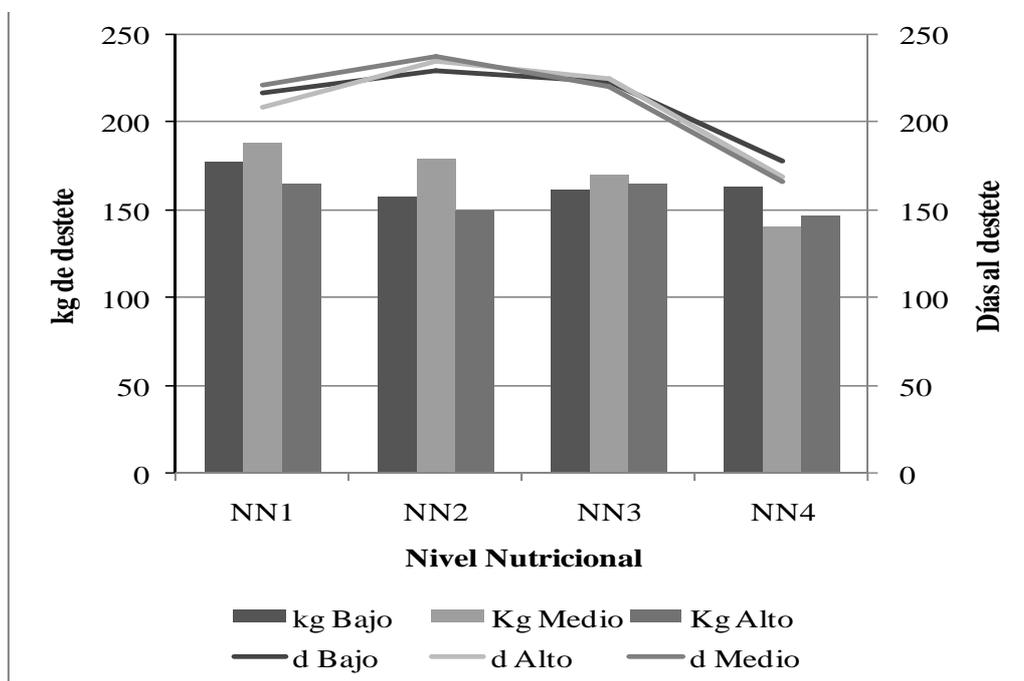


Figura 2. Peso (kg) promedio de los becerros al destete y días al destete (d) por grupo genético y nivel nutricional.

Tabla 3. Energía Metabolizable Retenida (EMR) en los productos, Balance Energético (BE), Total de Energía Metabolizable de los productos (TEM), Energía Metabolizable Disponible (EMD) y Eficiencia Energética Aparente (EEA) por Sistema de Alimentación y Grupo Genético*.

Factor	EMR	BE	TEM	EMD	EEA
Pastoreo	1689a	560 ^a	1129b	4708	0.24
Pastoreo y suplemento	2141a	502 ^a	1639a	5841	0.28
Grupo Genético Bajo	1643b	493b	1150b	5319	0.19
Grupo Genético Medio	2465a	466b	1999a	5170	0.39
Grupo Genético Alto	1737b	633a	1104b	5319	0.22

* Valores expresados en Mcal por vaca del parto hasta el destete a 240 días.

TEM = EMR - BE; EEA = TEM / EMD.

El impacto del mejoramiento de las praderas y la suplementación sobre la productividad y eficiencia del ganado en el trópico está documentado. Vite-Cristobal *et al.* (2007) mostraron que vacas F₁ y ³/₄ con genes europeos consumiendo pasto y concentrados con 18% de PC mostraron comportamientos similares en producción de leche al día y por lactancia, valores por encima de lo reportado para sistemas basados solamente en pastoreo. También, Vieira *et al.* (2005) observaron en vacas Nelore, que los niveles de productividad (P = kg de becerro/vaca) y eficiencia (E = P/100 kg de vaca) fueron satisfactorios cuando se pastorearon en praderas fertilizadas de *Brachiaria decumbens* y se suplementaron con sales minerales.

Anzola *et al.* (1992) evaluaron el efecto de la suplementación de vacas F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*) de doble propósito sobre la productividad y la eficiencia (kg producto/peso metabólico de la vaca). Al igual que en el presente trabajo encontraron que la suplementación favorece el incremento en la producción de leche, el peso del becerro al destete y una menor pérdida en el peso o condición corporal de la vaca. Encontraron un efecto de la suplementación sobre la eficiencia de la vaca en un 25% a 35% en comparación con solo pastoreo de *Brachiaria sp.*

Jenkins *et al.* (1991) señalan que se requiere considerar los requerimientos de energía por parte de las vacas del hato en el momento de decidir explotar las diferencias entre razas para mejorar la eficiencia de la producción en el sistema.

Varios autores estudiaron el efecto de diversos factores sobre la eficiencia de vacas, puras o cruzadas, expresada como la razón kg de producto sobre kg de vaca o kg de alimento consumido. Jenkins *et al.* (1991) encontraron una variación importante entre vacas F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*) de carne para eficiencia, expresada como peso de becerro destetado sobre consumo de energía metabolizable por parte de la vaca. Grings *et al.* (1996) encontraron que ni la raza

del padre del becerro, ni el tamaño de la vaca de carne cruzada, expresado como una función de peso, condición corporal y estatura, tuvieron efecto sobre la eficiencia medida como kg de becerro sobre el consumo de materia orgánica, pero si encontraron efecto del nivel de producción de leche de la vaca.

Una forma de medir la eficiencia de vacas de doble propósito en el trópico es obtener un indicador como la proporción de energía convertida en producto de la energía disponible en el alimento. En el presente estudio, se observó un incremento significativo en la cantidad de leche vendible al incrementar el nivel nutricional del sistema de manejo en las unidades de producción de doble propósito, sin embargo la cantidad de leche ordeñada no es en realidad el total de la leche producida y se esperaría mayor crecimiento del becerro ya que se supone mayor leche residual para su consumo, aunque en el presente estudio no se registraron incrementos en los kilogramos de becerro destetado. Esto debido a que los productores que suplementan a sus vacas realizan el ordeño más a fondo para obtener mayor cantidad de leche vendible y la cría tiene disponible menor leche residual después de la ordeña o la leche de un cuarto de la ubre. Como consecuencia el productor obtiene más leche para vender pero no becerros más pesados, como ocurrió en los NN más altos.

Al comparar vacas de tres grupos genéticos consistentes en animales de bajo encaste con genes de razas europeas, animales de medio encaste o animales de alto encaste europeo, se observó que los animales de grupo genético (GG) con medio encaste tuvieron mejor o igual desempeño que los animales de bajo o alto encaste, independientemente del sistema de alimentación. La menor mortalidad de becerros del GG medio elevó la productividad al compararla con la del GG alto o la del GG bajo.

Para determinar el efecto del encaste y del nivel de alimentación sobre la eficiencia del uso de la energía

de las vacas de diferente grado de encaste, se estimó la Eficiencia Energética Aparente bajo dos sistemas de alimentación. En esta segunda parte del estudio se pudo determinar que la suplementación de las vacas incrementó la eficiencia aparente en la utilización de la energía disponible de 0.24 a 0.28. Esta diferencia representa un incremento del 17% en la eficiencia en la utilización de la energía disponible. El incremento fue el resultado de una mayor retención de energía en los productos equivalente al 45% (1639Mcal v.s. 1129Mcal), con un incremento del 24% en la energía disponible (5841Mcal v.s. 4708Mcal). Estos resultados son consistentes con las propuestas de diversos autores (Leng 1990; Poppi y McLennan 1995), quienes han sugerido que el suministro de cantidades pequeñas de nutrientes críticos (proteína o almidón de baja degradación ruminal) pudiera mejorar la eficiencia de la utilización de la energía en rumiantes en pastoreo.

También se observó que el Grupo Genético de medio encaste resultó más eficiente en la utilización de la energía disponible. El incremento en la EEA del GG medio fue del 78% y 86% al compararse con el GG bajo y GG alto respectivamente. Este incremento se debió no solo a una mayor producción de leche y de kilogramos de becerro sino a una menor pérdida de condición corporal durante la lactancia.

CONCLUSIÓN

Para la ganadería tropical, específicamente para el SDP el uso de vacas F1 o de medio encaste no solamente incrementan la productividad del rebaño, como se demuestra en este trabajo y ha sido señalado por varios autores, sino que además tienen mayor eficiencia aparente en la utilización de la energía disponible en forma de forraje o suplemento, más aún el incremento en la eficiencia energética aparente fue mayor con la utilización de animales de medio encaste que con la utilización de suplementos durante la época de sequía, permitiendo el mejor uso de los recursos e incrementando la sustentabilidad del sistema de doble propósito basado en el uso de sus recursos forrajeros tropicales e insumos locales.

AGRADECIMIENTOS

El segundo y el tercer autor agradecen a PRIORI-UADY el apoyo otorgado para realizar parte del presente trabajo a través de una beca-tesis.

REFERENCIAS

- Anderson, S., Santos, J., Boden, R., Wadsworth, J. 1995. Characterization of cattle production systems in the state of Yucatan. In: Anderson, S. and Wadsworth, J. (eds.). Dual Purpose Cattle Production Research. International Foundation for Science and Universidad Autónoma de Yucatán. México. Pp. 150-161.
- Anzola H.J., Martínez G., Gómez G.F., Hernández, Y., Huertas R.H. 1992. Strategic supplementation of bypass protein and fat for dual purpose cattle in the Colombian tropics during the dry season. In: Anderson S. and Wadsworth J. (eds.), Dual Purpose Cattle Production Research. International Foundation for Science and Universidad Autónoma de Yucatán. México. Pp. 220-228.
- CALRAC. 1997. Software para la alimentación de rumiantes, Versión 1. ICA, Cuba.
- CONARGEN, 2000. Plan de Acción para Ganado Bovino de Doble Propósito. Comité Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. Noviembre, México, D. F. pp. 22-31.
- Cunningham E.P., Syrstad O., 1987. Crossbreeding *Bos indicus* and *Bos taurus* for milk production in the tropics. FAO Animal Production and Health paper. N 108. Rome, Italy.
- Garnsworthy P.C. 1988. The effect of energy reserves at calving on performance of dairy cows. In: Garnsworthy PC (Ed). Nutrition and Lactation in the Dairy Cow, Butterwords, London. Pp. 157-170.
- FAO. 2007. The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Barbara Rischkowsky and Dafydd Pilling (eds.). Rome.
- Gibon A., Sibbald A.R., Thomas C. 1999. Improved sustainability in livestock systems, a challenge for animal production science. Livestock Production Science, 61:107-110.
- Green R.D., Cundiff L.V., Dickerson G.E. 1991. Life cycle efficiency of *Bos indicus* x *Bos taurus* crossbred cow-calf production to weaning. Journal of Animal Science 69:3544-3563.
- Grings E.E., Short R.E., MacNeil M.D., Haferkamp M. R., Adams D. C. 1996. Efficiency of production in cattle of two growth potentials on northern great plains rangelands during spring-summer grazing. Journal of Animal Science. 74:2317-2326.
- Jenkins T.G., Cundiff L.V., Ferrell. C.L. 1991. Differences among breed crosses of cattle in the conversion of food energy to calf weight

- during the pre-weaning interval. *Journal of Animal Science*. 69:2762-2769.
- Leng, R.A. 1990. Factors affecting the utilization of poor quality forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Reviews*. 3:277-293.
- Magaña J.G., Ríos, G. y Martínez J.C.. 2006a. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivos de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 14:105-114.
- Magaña. J.G., Tewolde A., Anderson, S., Segura J.C., 2006b. Productivity of different cow genetic groups in dual-purpose cattle production systems in south-eastern Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 38:583-591.
- McDowell, RE., Wilk, JC., and Talbott, CW. 1996. Economic viability of crosses of *Bos Taurus* and *Bos indicus* for dairying in warm climates. *Journal of Dairy Science* 79:1292-1303.
- Osorio-Arce, M.M., Segura-Correa, J.C., Osorio-Arce, D.A., Marfil-Acevedo, A.A. 1999. Caracterización de la ganadería lechera en el estado de Yucatán. *Revista Biomédica*, 10:217-227.
- Parker, W.J. 1996. *Animal Production from Pasture: A System Approach*. Proceeding of Conference on Sustainable Animal Production from Pasture. Massey University, New Zealand. pp: 1-12.
- Parra-Bracamonte, G.M., Magaña, J.G., Delgado, R., Osorio-Arce, M.M., Segura-Correa, J.C. 1995. Genetic and non-genetic effects on productive and reproductive traits of cows in dual-purpose herds in southeastern Mexico. *Genetic and Molecular Research*. 4: 482-490.
- Poppi, D.P. y McLennan, S.R. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science*. 73:278-290.
- SAGARPA. 2002. Informe sobre la Situación de los Recursos Genéticos Pecuarios de México. *Claridades Agropecuarias*. III: 1-39.
- Santos Flores, J., Anderson, S., Leaver, D. 2003. Characterization of small scale dairy farms in the south-east of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2: 31-43.
- Sosa, C.F. 1998. Bases para la evaluación Genética del ganado de doble propósito y lechero en el trópico. Memoria IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería Bovina de Doble Propósito. SAGAR. Villahermosa, Tabasco, 17-18 de septiembre. pp:103-106.
- Syrstad O., 1993. Evaluation of dual purpose (milk and meat) animals. *World Animal Review*, (77)4:56-59.
- Thompson, P.B., Nardone A., 1999. Sustainable Livestock production: methodological and ethical challenges. *Livestock Production Science*, 61:111-119.
- Vieira A., Piva Lobato J.F., Simões C. E., de Almeida Torres R.A. Jr, Martins C.I., 2005. Produtividade e Eficiência de Vacas Nelore em Pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf nos Cerrados do Brasil Central. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:1357-1365.
- Vite-Cristobal, C., López-Ordaz, R., García-Muñiz, J.G., Ramírez-Valverde, R., Ruiz-Flores, A., López-Ordaz, R. 2007. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. *Veterinaria México* 38:63-72.

Submitted September 07, 2007 – Accepted June 11, 2008
Revised received October 23, 2008