

<http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4456>

Artículo

Correlaciones genéticas entre producción de leche y características de crecimiento en una población multirracial

Genetic correlations among milk yield and growth traits in a multibreed population

Sergio I. Román-Ponce^{a,d}

Felipe J. Ruiz-López^{a,d,*}

José Luis Romano-Muñoz^{a,d}

Carlos G. Vásquez-Peláez^{b,d}

Vicente E. Vega-Murillo^{c,d}

Heriberto Román-Ponce^{c,d}

^a Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 1 Carretera a Colón, Ajuchitlán, 76280 Querétaro, México.

^b Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

^c Campo Experimental La Posta. Centro de Investigación Regional Golfo-Centro, INIFAP. Veracruz, México.

^d Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería Bovina Tropical (REDGATRO). México.

Autor de correspondencia: ruiz.felipe@inifap.gob.mx

● **Resumen:**

Con el objetivo de estimar las varianzas y covarianzas genéticas entre producción total de leche por lactación y crecimiento corporal en una población multirracial de bovinos de doble propósito en el trópico de México, se estimaron las varianzas y covarianzas genéticas entre la producción total de leche durante la primera (PTL1L), la segunda (PTL2L) y la tercera lactaciones (PTL3L), y las varianzas y covarianzas genéticas entre PTL1L con peso al nacimiento (PN) y los pesos ajustados a los 205 (P205) y 365 (P365) días de edad. Se utilizaron 1,349 registros de lactaciones de hembras de cruza de razas cebuinas (CE) con Holstein (HS) [558], con Suizo Pardo (SP) [444] y con Simmental (SM) [357]. Se presentan las heredabilidades estimadas en ambos análisis. Las correlaciones genéticas encontradas en el primer análisis fueron 0.77 (\pm 0.16) entre PTL1L y PTL2L, 0.47 (\pm 0.25) entre PTL1L y PTL3L, y 0.73 (\pm 0.21) entre PTL2L y PTL3L. Las correlaciones genéticas encontradas en el segundo análisis fueron 0.10 (\pm 0.35) entre PTL1L y PN, 0.20 (\pm 0.25) entre PTL1L y P205 y 0.21 (\pm 0.32) entre PTL1L y P365. Se concluye que las correlaciones genéticas son positivas entre las tres primeras lactaciones y se sugiere una correlación positiva entre la primera lactación y características de crecimiento corporal, lo cual hace factible el planteamiento de programas de mejoramiento genético que tomen en cuenta ambas características de manera simultánea.

● **Palabras clave:** Cruzamiento, Trópico, Doble propósito.

● **Abstract:**

In order to estimate the genetic parameters and correlations between total lactation milk yield and growth traits in a multiracial population of dual purpose cattle in tropical environments of Mexico, genetic variances and covariances were estimated between total milk yield during the first (PTL1L), second (PTL2L) and third lactations (PTL3L) and between PTL1L with birth weight (PN) and with weights adjusted to 205 (P205) and 365 (P365) days of age. To carry out this study, 1,349 records of lactations of females of cebuine breed crosses (CE) with Holstein (HS) [558], with Brown Swiss (SP) [444] and with Simmental (SM) [357] were used. Estimated heritabilities in both analyzes are presented. Genetic correlations found in the first analysis were 0.77 (\pm 0.16) between PTL1L and PTL2L, 0.47 (\pm 0.25) between PTL1L and PTL3L, and 0.73 (\pm 0.21) between PTL2L and PTL3L. Genetic correlations found in the second analysis were 0.10 (\pm 0.35) between PTL1L and PN, 0.20 (\pm 0.25) between PTL1L and P205 and 0.21 (\pm 0.32) between PTL1L and P365. It is concluded that the genetic correlations are positive between the first three lactations and a positive correlation is suggested between first lactation milk yield and growth traits, which makes feasible the genetic improvement programs that take into account both characteristics simultaneously.

● **Key words:** Crossbreeding, Tropical environments, Dual purpose.

Recibido 01/04/2017.

Aceptado 12/12/2017.

❖ Introducción ❖

En la ganadería bovina tropical de México, el sistema de producción de bovinos de doble propósito (SDP) es el predominante; aporta a nivel nacional alrededor del 19.5 % de la leche y 40 % de la carne^(1,2). En México, la mayoría de los animales en el SDP son producto de distintos cruzamientos de razas europeas (*Bos taurus taurus*) con razas cebuinas (*Bos taurus indicus*) o con ganado local de origen desconocido⁽²⁾; las producciones diarias de leche promedio por vaca varían entre 3 y 9 kg, en una lactación que dura entre 120 y 180 días, y donde se presenta un parto cada 18 a 24 meses, aproximadamente^(1,2). Los efectos de cruzamiento, tales como los efectos aditivos directos de raza, coeficiente de heterocigocidad y pérdidas por recombinación o epistasias^(3,4), ya han sido descritos para poblaciones multirraciales en el trópico mexicano⁽⁵⁾.

Los programas de mejoramiento de genético requieren estimar los parámetros genéticos de una población específica⁽⁶⁾. Los SDP tienen como principales fuentes de ingresos la producción de leche y la venta de becerros al destete, lo que diferencia sus programas de mejoramiento genético con respecto a otras especies-producto⁽⁷⁾. La información disponible sobre las relaciones genéticas entre la producción del leche y características de peso corporal es escasa en poblaciones multirraciales tropicales. En México, se estimó una correlación genética entre PTL1L y P205 de 0.20⁽⁷⁾. En general las correlaciones entre producción de leche y pesos corporales son negativas, aunque las observadas entre la primera lactación y las características de la canal son positivas. En ganado productor de leche se han publicado correlaciones genéticas negativas entre pesos corporales al parto y producción de leche que varían entre -0.09 a -0.35^(8,9) y positivas entre características de canal y producción de leche en el rango de 0.08 a 0.29⁽¹⁰⁾. En ganado bovino productor de carne, las correlaciones genéticas entre peso al nacimiento y producción de leche varían entre -0.16 y -0.08; entre peso al destete y producción de leche los valores se ubican entre -0.04 a -0.21 y entre peso al año y producción de leche valores entre -0.19 a -0.12⁽¹¹⁾.

Los objetivos de este trabajo fueron estimar las varianzas y covarianzas genéticas entre producción total de leche de las primeras tres lactaciones, y entre la producción total de leche de la primera lactación y los pesos al nacimiento, ajustados a 205 y 365 días, en poblaciones multirraciales de bovinos de doble propósito en el trópico de México.

Material y métodos

Se utilizaron los registros productivos y genealógicos de seis hatos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en cinco Campos Experimentales (CE): dos hatos en el CE La Posta y un hato en el CE de Playa Vicente, los tres en el estado de Veracruz, el CE Las Margaritas en la Sierra Oriente del estado de Puebla, el CE Matías Romero en Oaxaca y el CE Balancán en Tabasco. La alimentación, manejo, la estructura y origen de las subpoblaciones ya fue descrita⁽⁵⁾.

Para la realización de este estudio se utilizaron 1,359 registros de lactaciones de cruza de razas cebuinas (CE) con Holstein (HS) [558], con Suizo Pardo (SP) [444] y con Simmental (SM) [357]; de un total de 5,040 lactancias de cruza de razas cebuinas (CE) con Holstein (HS) [2,253], Suizo Pardo (SP) [1,921] y Simmental (SM) [866]. Una descripción más detallada de la información utilizada por genotipos y lactaciones se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Estadísticas descriptivas para primeras, segundas y terceras lactaciones de vacas cruzadas en sistemas de doble propósito en el trópico mexicano

Grupo racial	N	PTL1L (kg)	N	PTL2L (kg)	N	PTL3L (kg)
Holstein X Cebú	558	1938.8 ± 1098.3	496	2288.5 ± 1145.4	224	2545.1 ± 1157.6
Suizo Pardo X Cebú	444	1545.7 ± 898.5	403	1848.9 ± 937.6	175	1961.8 ± 930.4
Simmental X Cebú	357	1146.2 ± 563.0	345	1468.0 ± 705.4	132	1672.2 ± 780.9
Total	1359	1647.4 ± 989.8	1244	1974.7 ± 1045.6	531	2165.7 ± 1069.4

PTL1L= producción total de leche durante la primera lactación; PTL2L= producción total de leche durante la segunda lactación; PTL3L= producción total de leche durante la tercera lactación.

Producción total de leche. La producción de leche se registró diariamente al momento de la ordeña, calculando la producción total por lactación como la suma de las producciones diarias

durante todo el periodo. Sólo se incluyeron lactaciones con un mínimo de 90 días y hasta un máximo de 800 días; de las cuales 70 tuvieron menos de 121 días en lactación, 153 tuvieron entre 122 y 242 días en lactación, 141 tuvieron entre 243 y 365 días en lactación y 914 presentaron más de 365 días en lactación.

Características de crecimiento. Se analizaron los pesos al nacimiento (PN) y pesos ajustados a 205 (P205) y 365 (P365) días de edad, de 801 vacas (cuyos grupos raciales se describen en el Cuadro 2) de acuerdo con la metodología descrita por la Federación de Mejoramiento de Ganado Productor de Carne de los Estados Unidos de América⁽¹²⁾.

Cuadro 2: (Co)varianzas y parámetros genéticos entre primeras (n=1278), segundas (n=1022) y terceras (n=834) lactaciones de vacas cruzadas en sistemas de doble propósito en el trópico mexicano

Parámetro	PTL1L – PTL2L	PTL1L – PTL3L	PTL2L – PTL3L
σ^2_{GT1}	185700	185700	131200
σ^2_{GT2}	119800	75270	98330
$\sigma_{G(T1-T2)^*}$	131200	139300	139300
σ^2_{ET1}	429106	429106	555479
σ^2_{ET2}	555479	625710	625710
$\sigma_{E(T1-T2)}$	113700	174851	204010
h^2_{T1}	0.30 ± 0.08	0.30 ± 0.08	0.19 ± 0.08
h^2_{T2}	0.19 ± 0.08	0.18 ± 0.09	0.18 ± 0.09
$r_{G(T1,T2)}$	0.77 ± 0.16	0.47 ± 0.25	0.73 ± 0.21

σ^2_{GT1} : varianza genética aditiva para la primera característica; σ^2_{GT2} : varianza genética aditiva para la segunda característica; $\sigma_{G(T1-T2)}$: covarianza genética aditiva entre la primera y segunda característica; σ^2_{ET1} : varianza residual para la primera característica; σ^2_{ET2} : varianza residual para la segunda característica; $\sigma_{E(T1-T2)}$: covarianza residual entre la primera lactación y la segunda característica; h^2_{T1} : heredabilidad para la primera característica n; h^2_{T2} : heredabilidad para la segunda característica $r_{G(T1,T2)}$: correlación genética entre la primera y segunda característica.

PTL1L= producción total de leche durante la primera lactación; PTL2L= producción total de leche durante la segunda lactación; PTL3L= producción total de leche durante la tercera lactación; * T1 y T2= corresponden a la característica según sea el caso (PTL1L, PTL2L y PTL3L).

Se realizaron dos análisis: el primero fue la estimación de las varianzas y covarianzas genéticas entre la producción total de leche durante la primera lactación (PTL1L), la segunda lactación (PTL2L) y la tercera lactación (PTL3L); y el segundo análisis consistió en la estimación de las varianzas y covarianzas genéticas entre PTL1L con el PN, P205 y P365.

● Análisis estadístico ●

Todos los análisis se realizaron mediante la metodología de modelos mixtos, utilizando el programa ASReml⁽¹³⁾. Los efectos de cruzamiento se incluyeron en el modelo como el efecto directo de raza (PG), que se expresó como el porcentaje de la raza europea con respecto las razas cebuinas, el coeficiente de heterocigocidad (HT) y el coeficiente de pérdidas por recombinación (RC) para cada raza europea por separado⁽⁵⁾.

● Estimación de varianza y covarianzas entre PTL1L, PTL2L y PTL3L ●

Para la estimación de las correlaciones genéticas entre las tres primeras lactaciones se utilizó un modelo animal multivariado que incluyó como efecto aleatorio al animal (efecto genético directo), como efectos fijos los del hato y año de parto, época (lluvias y secas) y sexo de la cría. Como covariables lineales se incluyeron los efectos de cruzamiento antes descritos (PG, HT y RC), siendo el modelo ajustado el siguiente:

$$Y = X\beta + Qn + Z_1u + e$$

Donde:

Y = matriz de los registros para la primera, segunda y tercera lactación,

X = matriz de incidencia para los efectos fijos (hato, año, época y sexo de la cría),

Q = matriz de incidencia para los coeficientes de regresión de PG, HT y RC,

Z₁ = matriz de incidencia para los efectos genéticos directos del animal,

β = vector de coeficientes para los efectos fijos,

n = vector de coeficientes de regresión de PG, HT y RC,

u = vector de efectos genéticos directos del animal ($u \sim N(0, A\sigma^2_u)$),

e = vector de residuos ($e \sim N(0, I\sigma^2_e)$).

● **Estimación de varianzas y covarianzas entre PTL1L con PN, P205 y P365** ●

Para la estimación de las correlaciones genéticas entre PTL1L y PN, P205 y P365 se utilizaron modelos mixtos bivariados similares a los utilizados para analizar las lactaciones.

En todos los casos la heredabilidad (h^2) fue estimada de la siguiente manera:

$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}$; donde σ_a^2 representa la varianza genética aditiva y σ_p^2 representa la varianza

fenotípica, misma que es el resultado de la suma de la varianza genética aditiva (σ_a^2) y la varianza del error (σ_e^2).

Finalmente, la correlación genética ($r_{u1,u2}$) fue estimada de la siguiente manera:

$r_{u1,u2} = \frac{\sigma_{u1u2}}{\sqrt{\sigma_{u1}^2 \sigma_{u2}^2}}$; donde σ_{u1u2} representa la covarianza genética aditiva entre la primera y la

segunda característica y σ_{u1}^2 y σ_{u2}^2 representan las varianzas genéticas aditivas para la primera y la segunda característica, respectivamente.

❖ **Resultados** ❖

● **Correlaciones genéticas entre PTL1L, PTL2L y PTL3L** ●

El promedio general para la producción de leche en la primera lactación fue $1,647.4 \pm 989.8$, en la segunda lactación fue $1,974.67 \pm 1,045.6$ y finalmente para las terceras lactaciones fue $2,165.7 \pm 1,069.38$. Lo anterior, representa un incremento de aproximadamente 20 y 31 % para la segunda y tercera lactaciones con respecto a la primera. Esta misma tendencia de incrementos en la producción de leche se observó dentro de cada grupo racial, siendo el grupo racial Holstein X Cebú el que presentó la mayor producción de leche por lactación y el grupo racial Simmental X Cebú el que menor producción de leche por lactación presentó. Las

estadísticas descriptivas para las primeras, segundas y terceras lactaciones por grupo racial se presentan en el Cuadro 1.

La heredabilidad aquí estimada para producción de leche en PTL1L fue 0.30 ± 0.08 , para PTL2L fue 0.19 ± 0.08 y para PTL3L 0.18 ± 0.09 . La correlación genética entre PTL1L y PTL2L fue 0.77 ± 0.16 , entre PTL1L y PTL3L fue 0.47 ± 0.25 y entre PTL2L y PTL3L fue 0.73 ± 0.21 . Las varianzas y covarianzas genéticas y residuales son presentadas en el Cuadro 2.

● Correlaciones genéticas entre PTL1L y PN, P205 y P365 ●

La producción de leche en primera lactación (PTL1L) para las 801 vacas que presentaron información para PN, P205 y P365 fue $1,636.0 \pm 975.1$. En este caso, la producción de leche por lactación de los grupos raciales Holstein X Cebú y Suizo Pardo X Cebú fue 74 y 24 % superior con respecto al grupo racial Simmental X Cebú respectivamente (Cuadro 3). Los promedios para PN, P205 y P365 fueron 36.50 ± 5.6 , 154.46 ± 39.6 y 198.47 ± 50.8 kg. No se observaron diferencias entre los grupos raciales al PN, sin embargo, el grupo racial Simmental X Cebú fue el más pesado en P205 y P365, mostrando un 20 % y 14 % mayor peso que los grupos raciales Holstein X Cebú y Suizo Pardo X Cebú, respectivamente. Las estadísticas descriptivas para PTL1L, PN, P205 y P365 por grupo racial se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Estadísticas descriptivas para 801 vacas cruzadas con información de producción total en la primera lactación y peso al nacimiento y pesos ajustados a los 205 y 365 días en sistemas de doble propósito en el trópico mexicano

Grupo racial	N	PTL1L (kg)	N	PN	N	P205	N	P365
Holstein X Cebú	327	2047.4 ± 1139.5	324	36.4 ± 5.8	327	143.7 ± 32.9	273	187.4 ± 47.2
Suizo Pardo X Cebú	291	1461.0 ± 780.3	288	36.3 ± 5.4	291	153.2 ± 39.3	238	197.3 ± 47.6
Simmental X Cebú	183	1179.0 ± 566.9	183	37.1 ± 5.5	183	175.7 ± 42.8	124	225.2 ± 54.8
Total	801	1636.0 ± 975.1	795	36.5 ± 5.6	801	154.5 ± 39.6	635	198.5 ± 50.8

PTL1L= producción total de leche durante la primera lactación; PN= peso al nacimiento; P205= peso ajustado a los 205 días; P365= peso ajustado a los 365 días.

La heredabilidad estimada para producción de leche para PTL1L fue 0.23 ± 0.01 , para PN fue 0.16 ± 0.01 , para P205 0.32 ± 0.03 y para P365 fue 0.21 ± 0.01 . La correlación genética entre PTL1L y PN fue 0.10 ± 0.35 , entre PTL1L y P205 fue 0.20 ± 0.25 y, finalmente entre PTL1L y P365 fue 0.21 ± 0.32 . La información de las varianzas y covarianzas genéticas y residuales se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4: (Co)variancias y parámetros genéticos para primeras lactaciones con peso al nacimiento y peso ajustado a los 205 y 365 días en 742 vacas cruzadas en sistemas de doble propósito en el trópico mexicano

Parámetro	PTL1L - PN	PTL1L – P205	PTL1L – P365
σ^2_{GPTL1L}	132276	133851	130830
σ^2_{GPC}	18.60	431.98	15818.40
$\sigma_{G(PTL1L,PC^*)}$	162.63	1506.84	10034.40
σ^2_{EPTL1L}	455440	454044	456768
σ^2_{EPC}	103.09	959.68	63682.60
$\sigma_{E(PTL1L,PC^*)}$	-163.89	1518.82	-15199.60
h^2_{PTL1L}	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01
h^2_{PC}	0.16 ± 0.01	0.32 ± 0.03	0.21 ± 0.01
$r_{G(PTL1L,PC^*)}$	0.10 ± 0.35	0.20 ± 0.25	0.21 ± 0.32

σ^2_{GPTL1L} : varianza genética aditiva para la primera lactación; σ^2_{GPC} : varianza genética aditiva para los pesos corporales (PN, P205 y P635); $\sigma_{G(PTL1L,PC^*)}$: covarianza genética aditiva entre la primera lactación y los pesos corporales; σ^2_{EPTL1L} : varianza residual para la primera lactación; σ^2_{EPC} : varianza residual para los pesos corporales (PN, P205 y P635); $\sigma_{E(PTL1L,PC^*)}$: covarianza residual entre la primera lactación y los pesos corporales; h^2_{PTL1L} : heredabilidad para la primera lactación; h^2_{PC} : heredabilidad para los pesos corporales (PN, P205 y P635); $r_{G(PTL1L,PC^*)}$: correlación genética entre la primera lactación y los pesos corporales.

PTL1L= producción total de leche durante la primera lactación; PN= peso al nacimiento; P205= peso ajustado a los 205 días de edad; P365= peso ajustado a los 365 días de edad; * PC= corresponde a la característica (PN, P205 o P365) según sea el caso.

Discussion

Los resultados en la literatura sobre asociación genética entre producción de leche y crecimiento corporal son escasos; algunos autores^(10,11) han observado correlaciones fenotípicas y genéticas entre producción de leche y peso corporal al parto menores que 0.01

y de -0.09 ± 0.22 , respectivamente. Los autores concluyeron que, al ser bajas las correlaciones estimadas, la producción de leche puede ser mejorada sin incrementos significativos en el peso vivo del ganado lechero⁽⁸⁾. En cambio, otros autores presentaron correlaciones genéticas entre producciones de leche y pesos vivos a distintas semanas en ganado HS en el rango de -0.01 a -0.35 , mientras que las correlaciones fenotípicas estuvieron entre 0.11 a 0.20 ⁽⁹⁾. En México, se estimó una correlación genética entre PTL1L y P205 de 0.20 ± 0.445 ; en este estudio se utilizó un modelo semental como parte de los análisis preliminares al presente trabajo⁽⁷⁾.

En ganado Ayrshire finlandés se han estimado correlaciones genéticas entre características de canal como son peso, grado y carnosidad de la canal y producción de leche en el rango de 0.08 a 0.29 ⁽¹⁰⁾, y las correlaciones genéticas entre peso al nacimiento y producción de leche entre -0.16 y -0.08 ; entre peso al destete y producción de leche valores entre -0.21 a -0.04 y entre peso al año y producción de leche valores entre -0.19 a -0.12 ⁽¹⁰⁾. De manera similar, en Ganado Sahiwal en Kenya, se han estimado correlaciones genéticas entre producción de leche y peso al nacimiento (0.12), peso al destete (0.34) y peso al año (0.21)⁽¹⁴⁾.

Las correlaciones genéticas entre la producción de leche y las características de crecimiento corporal aquí presentadas están acordes con las publicadas en otras poblaciones y sistemas de producción^(8-11,14); ya sea en bovinos productores de leche o bovinos productores de carne, en su mayoría los valores observados son negativos o positivos con variabilidades grandes^(8,9,11); lo que contrasta con las correlaciones genéticas estimadas entre producción de leche y características de la canal⁽¹⁰⁾. En el SDP, los ingresos dependen de la producción de leche y de la venta de los becerros al destete⁽⁷⁾, lo que hace fundamental el planteamiento de esquemas de selección que maximicen el beneficio económico del sistema de producción.

❖ Conclusiones e implicaciones ❖

Los resultados indican la existencia de correlaciones genéticas positivas entre la primera, segunda y tercera lactación; además de ser positivas entre la primera lactación y características de crecimiento corporal. Lo anterior hace factible el planteamiento de programas de mejoramiento genético que puedan tomar en cuenta a las diferentes características estudiadas de manera simultánea.

🌿 Agradecimientos 🌿

A la Compañía “Nestlé México” SA de CV por el financiamiento del Proyecto de Mejoramiento Genético de Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico Mexicano del INIFAP, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor durante el desarrollo del programa de Maestría. Los resultados del presente trabajo no reflejan la opinión o punto de vista de la compañía Nestlé México o del CONACyT.

● LITERATURA CITADA

1. SIAP. Resumen Nacional, Población ganadera, avícola y apícola. 2014. <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/resumen/resumen.pdf>.
2. Roman-Ponce H, Ortega RL, Hernandez AL; Díaz AE, Espinosa GJA, Nuñez HG *et al.* Produccion de leche de bovino en el sistema de doble proposito. Veracruz, Ver. Libro Tecnico N°22. 2009.
3. Akbas Y, Brotherstone S, Hill WG. Animal model estimation of non-additive genetic parameters in dairy cattle, and their effect on heritability estimation and breeding value prediction. *J Anim Breed Genet* 1993;110(1-6):105-113.
4. Brotherstone S, Hill WG. Estimation of non-additive genetic parameters for lactations 1 to 5 and survival in Holstein-Friesian dairy cattle. *Livest Prod Sci* 1994;40(2):115-122.
5. Román-Ponce SI, Ruiz-López FJ, Montaldo VHH, Rizzi, Román-Ponce H. Efectos de cruzamiento para producción de leche y características de crecimiento en bovinos de doble propósito en el trópico húmedo. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(4):405-416.
6. Henderson CR. Estimation of variance and covariance components. *Biometrics* 1953;9(2):226–252.
7. Román-Ponce SI. Estimación de componentes de varianza y covarianza en una población multirracial de ganado bovino dentro de un sistema de doble propósito en el trópico mexicano [tesis maestría]. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México; 2006.
8. Bandinga L, Collier RJ, Wilcox CJ, Thatcher WW. Interrelationships of milk yield, body weight and reproductive performance. *J Dairy Sci* 1985;68:1828-1831.

9. Lee AJ, Boichard A, McAllister AJ, Lin CY, Nadarajah K, Batra TR, *et al.* Genetics of growth feed intake and milk yield in Holstein Cattle. *J Dairy Sci* 1992;75:3145-3154.
10. Liinamo AE, Ojala M, Van Arendonk J. Genetic relationship of meat and milk production in Finnish Ayrshire. *Livest Prod Sci* 2001;69:1-8.
11. Lee C, Pollack EJ. Genetic antagonism between body weight and milk production in beef cattle. *J Anim Sci* 2002;80:316-321
12. BIF. Beef Improvement Federation. Guidelines for uniform beef improvement programs. 9th ed. Athens: The University of Georgia; 2016.
13. Gilmour AR, Gogel BJ, Cullis BR, Thompson RA. *SREml User Guide Release 3.0* VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK. 2009.
14. Ilatsia ED, Migose SA, Muhuyi WB, Kahi AK. Sahiwal cattle in semi-arid Kenya: Genetic aspects of growth and survival traits and their relationship to milk production and fertility. *Trop Anim Health Prod* 2011;43:1575–1582.