

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO REGIONAL EN CIENCIAS VETERINARIAS TROPICALES



**ESTIMACIÓN DE HETEROSIS Y TENDENCIAS GENÉTICAS PARA
VARIABLES PRODUCTIVAS Y REPRODUCTIVAS DE LAS RAZAS HOLSTEIN,
PARDO SUIZO Y SUS CRUCES EN LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ**

Sustentante: Aníbal Melquisedec Sánchez Serracín

Heredia, abril 2017

**Tesis sometida a consideración del tribunal examinador del
Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de
Magister Scientiae con énfasis en Producción Animal Sostenible**

**ESTIMACIÓN DE HETEROSIS Y TENDENCIAS GENÉTICAS PARA
VARIABLES PRODUCTIVAS Y REPRODUCTIVAS DE LAS RAZAS HOLSTEIN,
PARDO SUIZO Y SUS CRUCES EN LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ**

Aníbal Melquisedec Sánchez Serracín

Tesis presentada para optar al grado de *Magister Scientiae* en
Producción Animal Sostenible. Cumple con los requisitos establecidos por el
Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional.
Heredia, Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador

Dr. Francisco San Lee Campos
Representante del Consejo Central de Posgrado

Dra. Sandra Estrada König
Directora del Programa de Posgrado

Dr. Bernardo Vargas Leitón
Tutor

Dr. Jorge Elizondo Salazar
Asesor

Dr. Jorge Camacho Sandoval
Asesor

Aníbal Melquisedec Sánchez Serracín
Sustentante

RESUMEN GENERAL

El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño productivo y reproductivo de las vacas de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus respectivos cruces en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá). En el primer estudio se analizó un total de 56 406 registros de partos procedentes de 17 298 vacas y 31 hatos de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces. Los rasgos analizados fueron edad a primer parto (EPP), intervalo entre parto y concepción (IPC), servicios por concepción (SCO), duración de la lactancia (DLA), producción corregida a 305 días (P305) y vida productiva (VPR). Estos rasgos se ajustaron a un Modelo Lineal Mixto Generalizado que incluyó el grupo racial como efecto fijo y el efecto aleatorio de hato/año/ época. Para IPC, SCO, DLA y P305 se agregaron además el efecto fijo de Lactancia×Edad y el efecto aleatorio de vaca dentro de hato. Como resultado, se obtuvieron medias marginales para EPP de 34,0, 34,3 y 37,0 meses para los grupos Holstein, Holstein×Pardo Suizo y Pardo Suizo, respectivamente. Para las demás variables, las medias respectivas por grupo racial fueron 162, 159 y 169 días para IPC; 2,04, 2,07 y 1,91 para SCO; 332, 335 y 342 días para DLA; 5 495, 4 880 y 4 470 kg para P305; y 45,3, 44,3 y 53,3 meses para VPR. Se obtuvieron estimados favorables de heterosis para las variables EPP (-2,07%), IPC (-3,99%), P305 (1,21%) y VPR (1,51%); y estimados desfavorables para las variables DLA (-0,24%) y SCO (1,83%). Los resultados indicaron efectos genéticos aditivos de magnitud importante, siendo la raza Holstein superior en las variables EPP, IPC y P305, mientras que la raza Pardo Suizo fue superior en SCO, DLA y VPR. Los efectos de heterosis directa entre estas razas son de baja magnitud en la población y rasgos analizados en este estudio.

En el segundo estudio se estimaron las tendencias genéticas y fenotípicas para P305 y consanguinidad en las poblaciones de razas Holstein y Pardo Suizo de la provincia de Chiriquí, República de Panamá. Se utilizó un modelo animal multirracial que incluyó el hato-año-época, hato-semental, ambiente permanente, animal y el error residual como efectos aleatorios. Los estimados de heredabilidad y repetibilidad para P305 fueron 0,17 (D.E 0,01) y 0,39 (D.E 0,01), respectivamente. El estimado de incremento fenotípico anual para P305 fue de 113,04 kg ($P < 0,001$) para Holstein, mientras que para las razas Pardo Suizo y el cruce entre Holstein×Pardo Suizo no se obtuvo incrementos significativos. El

incremento genético anual para P305 se estimó en 31,4 kg ($P < 0,001$) para la raza Holstein, mientras que para los otros dos grupos tampoco se obtuvieron estimados significativos. El promedio de consanguinidad fue 0,005% (D.E 0,0016) para la población total y 1,84% (D.E 0,028) entre animales con consanguinidad mayor a cero. El incremento anual en consanguinidad fue bajo y se estimó en 0,03% y 0,01% para Holstein y Pardo Suizo, respectivamente. El valor de cría promedio fue de +246 kg (D.E 429 kg) mientras que la confiabilidad promedio fue de 0,58 (D.E 0,08). Estos resultados indican que ha existido un mejoramiento sostenido en producción de leche de vacas Holstein de Panamá durante las últimas 2 décadas, no así en la raza Pardo Suizo. La contribución genética a este mejoramiento fue menor a la contribución ambiental y con tendencias a la reducción.

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the productive and reproductive performance of Holstein and Brown Swiss cows, and their respective crosses in dairy herds that make use of the VAMPP software located in the province of Chiriquí, Panama. In the first study, a total of 56 406 births from 17 298 cows and 31 herds of the Holstein, Brown Swiss and their crossbred races were analyzed. The characteristics analyzed were age at first parturition (EPP), interval between delivery and conception (IPC), conception services (SCO), duration of lactation (DLA), production corrected at 305 days (P305) and productive life. These traits were adjusted to a Generalized Mixed Linear Model that included the racial group as fixed effect and the random effect of herd / year / season. For IPC, SCO, DLA and P305 the fixed effect of Lactation \times Age and the random effect of cow within herd were also added. As a result, marginal means for EPP of 34.0, 34.3 and 37.0 months were obtained for the Holstein, Holstein \times Brown Swiss and Brown Swiss groups, respectively. For the other variables, the respective means by racial group were 162, 159 and 169 days for IPC; 2.04, 2.07 and 1.91 for SCO; 332, 335 and 342 days for DLA; 5 495, 4 880 and 4 470 kg for P305; And 45.3, 44.3 and 53.3 months for VPR. We obtained favorable estimates of heterosis for the variables EPP (-2.07%), IPC (-3.99%), P305 (1.21%) and VPR (1.51%); and unfavorable estimates for the variables DLA (-0.24%) and SCO (1.83%). The results indicated additive genetic effects of significant magnitude, being the Holstein breed superior in the variables EPP, IPC and P305, whereas the Brown Swiss breed was superior in SCO, DLA and VPR. The effects of direct heterosis among these breeds were of low magnitude in the population and traits analyzed in this study.

In the second study, the genetic and phenotypic trends for P305 and inbreeding in the Holstein and Brown Swiss breeds of the province of Chiriquí, Republic of Panama were estimated. A multiracial animal model was used, that included the herd-year-season, herd-sire, permanent environment, animal and residual error as random effects. The estimates of heritability and repeatability for P305 were 0.17 (D.E 0.01) and 0.39 (D.E 0.01), respectively. The estimated annual phenotypic increase for P305 was 113,04 kg ($P < 0.001$) for Holstein, whereas for the Brown Swiss races and the cross between Holstein \times Brown Swiss, no significant increases were obtained. The annual increment in breeding value for P305 was estimated at 31.4 kg ($P < 0.001$) for the Holstein breed, while for the other two

groups no significant estimates were obtained either. The average inbreeding was 0.005% (D.E 0.0016) for the total population and 1.84% (D.E 0.028) among animals with inbreeding coefficients greater than zero. The annual increase in inbreeding was low and was estimated at 0.03% and 0.01% for Holstein and Brown Swiss, respectively. The average breeding value was +246 kg (D.E 429 kg) while the average reliability was 0.58 (D.E 0.08). These results indicate that there has been a sustained improvement in milk production of Holstein cows from Panama during the last 2 decades, but not in the Brown Swiss breed. The genetic contribution to this improvement is less than the environmental contribution and shows tendencies to reduction.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Edilsa Serracín y Emilio Sánchez por sus consejos y apoyo incondicional.

Al Servicio Alemán de intercambio Académico (DAAD) por el apoyo económico brindado para cursar esta maestría.

Al Dr. Bernardo Vargas L. por ser mi guía (tutor) en este proyecto de investigación.

A los doctores Jorge Elizondo y Jorge Camacho por su colaboración como lectores de esta tesis.

Al proyecto CRIPAS por facilitarme la información de base para elaborar este estudio.

A mis compañeros de maestría por el apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres Emilio Sánchez y Edilsa Serracín

A mi hijo Diego Sánchez y mi Esposa Katia Luján

A mis hermanos Julio Leitón y Larisa Sánchez

A toda mi familia y amigos de maestría.

ÍNDICE

RESUMEN GENERAL	IV
GENERAL ABSTRACT	VI
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE	VII
LISTA DE CUADROS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.0. Justificación	1
2.0. El Sector Lechero en Panamá	3
3.0. Factores Genéticos Aditivos y no Aditivos	5
4.0. Evaluación de rendimiento productivo y reproductivo en fincas lecheras. ..	6
BIBLIOGRAFÍA	12
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
CAPÍTULO I	
Estimación de efectos genéticos aditivos y no aditivos para rasgos productivos y reproductivos de razas Holstein, Pardo Suizo y Holstein×Pardo Suizo en hatos lecheros de la provincia de Chiriquí, Panamá	18
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
INTRODUCCIÓN	21
MATERIAL Y MÉTODOS	24
Edición y selección de la información.	24
Análisis estadístico descriptivo	24
Análisis estadístico por Modelos Lineales Mixtos Generalizados	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
Edad al primer parto (EPP)	33

Intervalo Parto Concepción (IPC)	35
Servicios por concepción (SCO)	37
Días en lactancia (DLA)	40
Producción corregida a 305 días (P305)	42
Vida Productiva (VPR)	44
CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	48
CAPÍTULO II	
Estimación de tendencias genéticas para producción de leche en ganado lechero de la región de Chiriquí, Panamá.	51
RESUMEN	52
ABSTRACT	53
INTRODUCCIÓN	54
Edición y selección de la información	56
Evaluación genética para producción de leche corregida a los 305 días	56
Estimación de parámetros genéticos	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
Tendencias fenotípicas para P305	60
Componentes de varianza para P305	61
Consanguinidad	62
Valor de cría y Confiabilidad	64
Tendencias genéticas para P305	67
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	70
CONCLUSIONES GENERALES	73
RECOMENDACIONES GENERALES	74
ANEXO	75

LISTA DE CUADROS

CAPITULO I

Cuadro 1. Número de observaciones (n) y medias aritméticas (\bar{x}) para las variables edad a primer parto (EPP), servicios por concepción (SCO), Intervalo entre parto y concepción (IPC), vida productiva (VPR), producción corregida a los 305 días (P305) y días en lactancia (DLA) en los grupos raciales Holstein, Holstein×Pardo Suizo y Pardo Suizo. 29

Cuadro 2. Número de observaciones (n), distribución, función de enlace, algoritmo, convergencia, grados de libertad y Chi cuadrado/GL de variables edad a primer parto (EPP), servicios por concepción (SCO), Intervalo entre parto y concepción (IPC), vida productiva (VPR), producción corregida a los 305 días (P305) y días en lactancia (DLA). 31

Cuadro 3. Valores de significancia (P) para efectos fijos y estimados de componentes de varianza (CV, error estándar y valor P) para efectos aleatorios sobre las variables Edad a Primer Parto (EPP), servicios por concepción (SCO), intervalo entre parto y concepción (IPC), vida productiva (VPR), producción corregida a los 305 días (P305) y días en lactancia (DLA) en los modelos lineales mixtos generalizados. 32

CAPITULO II

Cuadro 1. Componentes de varianza, heredabilidad y repetibilidad para producción de leche por lactancia en ganado lechero de la provincia de Chiriquí, Panamá..... 61

Cuadro 2. Distribución de animales según rango de consanguinidad 63

Cuadro 3. Promedio (\bar{X}), Desviación estándar (D.E), Mínimos (Mín) y Máximo (Máx) para Valor de cría y confiabilidad en vacas lecheras de las razas Holstein, Pardo Suizo y su cruce, con al menos una lactancia terminada, en la provincia de Chiriquí, Panamá 66

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1. Distribución de partos para los grupos raciales Holstein (H8), Holstein×Pardo Suizo (H×PS) y Pardo Suizo (PS8) dentro de los 31 hatos analizados.	28
Figura 2. Histograma de variable de respuesta Edad a Primer Parto (meses) con curva de ajuste por distribución LogNormal.....	34
Figura 3. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Edad a Primer Parto (meses), según grupo racial.....	34
Figura 4. Histograma de variable de respuesta Intervalo entre Parto y Concepción (días) con curva de ajuste por distribución LogNormal.....	36
Figura 5. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Intervalo Parto Concepción (días), según grupo racial.....	36
Figura 6. Histograma de variable de respuesta Servicios por Concepción con curva de ajuste por distribución Gamma.....	38
Figura 7. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Servicios por Concepción, según grupo racial.....	38
Figura 8. Histograma de variable de respuesta Días en Lactancia con curva de ajuste por distribución LogNormal.....	41
Figura 9. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Días en Lactancia, según grupo racial.....	41
Figura 10. Histograma de variable de respuesta Producción Corregida a los 305 días (kg) con curva de ajuste por distribución Gamma.....	43
Figura 11. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para Producción Corregida a 305 d. (kg), según grupo racial.....	43
Figura 12. Histograma de variable de respuesta Vida Productiva (meses) con curva de ajuste por distribución Gamma.....	45
Figura 13. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Vida Productiva (meses), según grupo racial.....	45

CAPITULO II

Figura 1. Tendencia en Producción corregida a los 305 días para las razas Holstein (con ajuste por ecuación lineal), Pardo Suizo y su cruce. 61

Figura 2. Valor promedio de consanguinidad según año de nacimiento para vacas de razas Holstein (con línea de tendencia) y Pardo Suizo procedentes de la provincia de Chiriquí, Panamá. 64

Figura 3. Histograma de frecuencia relativa de estimados de valores de cría para vacas con al menos una lactancia (n=15 640) pertenecientes a hatos lecheros de la provincia de Chiriquí, Panamá. 65

Figura 4. Valor de cría para producción de leche para las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces y tendencia para la producción de leche de vacas de las razas Holstein. 67

LISTA DE ABREVIATURAS

CRIPAS	Centro Regional de Investigación para la Produc. Animal Sostenible
DS	Días secos
D.E	Desviación Estándar
EPP	Edad a primer parto
MM	Medias Marginales
SAS	Statistical Analysis Software
VAMPP	Veterinary Automated Management and Produc. Control Programme
VPR	Vida productiva
DLA	Días en Lactancia
SCO	Servicios por Concepción
P305	Producción corregida a los 305 días
IPC	Intervalo entre parto y concepción

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.0. Justificación

La lechería en Panamá se ha considerado por años como una actividad de subsistencia, sin optimizar sus recursos y hacer más eficiente dichos procesos (Marín y Navarro, 2013). Sin embargo, estas explotaciones lecheras, en especial en la provincia de Chiriquí, requieren urgentes cambios en la estructura productiva y competitiva; ya que esta es una de las zonas más importantes con respecto a la producción láctea (MIDA, 2013); siendo las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces las más utilizadas para dicha producción (Marín y Navarro, 2013).

Actualmente, las exigencias del mercado requieren que el pago de la leche sea basado en la calidad y no en la cantidad. Ante esto, los productores han tenido que hacer uso de los cruzamientos lo que a su vez permite sacar el mejor provecho para producir en climas adversos (Ducca et al., 2007). Los cruzamientos entre las razas lecheras son de suma importancia desde el punto de vista económico, ya que mediante el vigor híbrido se pueden obtener resultados mejores que con las razas puras (Alfaro y Guerrón, 2007).

La utilización de técnicas de mejora genética, como la selección o el cruzamiento, deben ser evaluadas, ya sea desde el punto de vista productivo o reproductivo. No existen estudios previos enfocados a los parámetros de rendimiento de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces en los hatos lecheros panameños. Esta falta de investigaciones acrecienta la incertidumbre de los productores al aceptar las recomendaciones de los vendedores de semen, sin saber cuál es el mejor camino para obtener animales de mejor adaptabilidad y mejor producción (Alfaro y Guerrón, 2007).

La producción lechera en Panamá ha crecido de 150 millones de litros en el año 1994 a unos 195 millones en el año 2010 (MIDA, 2011). Actualmente se cuenta con programas de captura de datos, como el VAMPP, que permite la fácil identificación de problemas en el hato (Salazar et al., 2013). Este programa permite evaluar los aspectos productivos y reproductivos del hato, los cuales son complementarios, debido a que una lactancia solo surge después de que el animal pare. Por ende, una hembra bovina con problema reproductivo producirá pérdidas económicas a la producción de leche (Ortiz et al., 2005).

Actualmente no existe un estudio que estime efectos de heterosis y tendencias genéticas sobre las principales variables productivas y reproductivas de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces en la provincia de Chiriquí. Este estudio puede ser una herramienta valiosa tanto para los productores como para investigadores, ya que permitirá evaluar si existen mejoras sustanciales en la producción lechera de esta zona y cuánto de esta mejora es atribuible a factores genéticos.

Producción de leche Bovina en América Latina y el Caribe

La producción de leche de bovino en Centroamérica es muy heterogénea desde el punto de vista agroecológico y socioeconómico (Pérez, 2002). Según la Secretaría de Economía Mexicana (2012), esto se debe a la gran variedad de climas regionales y costumbres de la población. Aunado, a las nuevas exigencias del mercado que ha obligado a realizar cambios en los sistemas de producción (Ducca et al. 2007).

La producción de leche de Panamá es la más baja de Centroamérica desde el año 2000 con 171 000 toneladas de leche, seguido por Guatemala, Nicaragua, Honduras y Costa Rica con el mejor promedio en ese año 722 000 toneladas, situación que ha persistido durante los últimos años. En el 2010 Panamá produjo 198 000 toneladas de leche; mientras que el país vecino, Costa Rica, produjo 952 000 toneladas (FAO, 2011).

La importación de leche en los países de Centroamérica ha mantenido un comportamiento estable durante los años, siendo el país que cuenta con menor promedio de importación Nicaragua desde el año 2000; seguido por Costa Rica, Panamá, Honduras y Guatemala (FAO, 2011). El consumo per cápita de leche en los países de Centroamérica también se ha comportado de forma estable y no ha variado el orden del mayor consumidor desde el año 2000 que fue Costa Rica, seguido por Honduras, Nicaragua, Panamá y por ultimo Guatemala. Esta situación, se mantuvo hasta el año 2010, ya que ninguno de los países de Centroamérica logró alcanzar el consumo per cápita recomendado por la FAO (188 kg/persona/año) (FAO, 2011).

A pesar de estas obvias diferencias en sus características estructurales y en su desempeño, la cadena láctea latinoamericana viene trabajando en forma relativamente coordinada desde hace más de 20 años, fundamentalmente por la influencia de la Federación Panamericana de Lechería (FAO y FEPAL, 2012). La mayoría de los países Latinoamericanos y del Caribe tiene una tasa de crecimiento anual en el sector

lácteo del 2 al 4%, siendo Nicaragua y Ecuador los de mayor crecimiento (FAO y FEPALE, 2012).

Cabe mencionar, que en gran parte de los países de la región Latinoamericana predominan sistemas de producción de leche de doble propósito, con esquemas productivos familiares, en los que resulta prácticamente imposible medir la cantidad de leche producida, porque no hay una entrega medible a circuitos formales (FAO, 2012).

Existe un grupo de países en los que la industria láctea está muy concentrada y estructurada, como: Perú, Bolivia, Costa Rica y Uruguay, en estos dos últimos casos, con el predominio de dos empresas cooperativas (FAO y FEPALE, 2012). Luego están países como Panamá, Chile y Paraguay con poca menos concentración de la industria y, por último, sectores industriales cuya concentración es de baja a muy baja, como México, Colombia, Argentina, Ecuador y Brasil (FAO y FEPALE, 2012). Esto se debe principalmente por el bajo consumo per cápita de leche bovina, menor a 100 litros por año, lo que amerita un análisis detallado de las características del consumo de lácteos, su interacción con otros grupos de alimentos, y el análisis de políticas orientadas a aumentar la disponibilidad de estos productos para las capas más sensibles de la población (FAO y FEPALE, 2012).

2.0. El Sector Lechero en Panamá

La ganadería panameña ha sido el rubro del sector agropecuario de mejor comportamiento sostenido en los últimos años. Dentro de este marco, las cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censo reflejan aumentos significativos del hato nacional, de una existencia de 1,5 millones de cabezas en el 2001 a 1,6 millones de bovinos en el 2010, con una tasa de extracción creciente que llegó al 22,2% en el año 2010. En el año 2000 se contabilizaron 6 808 productores, cifra que ha sido la más alta en toda la historia; sin embargo, ha ido disminuyendo hasta quedar en una cifra cercana a 6 500 productores para el año 2011(MIDA, 2011).

En Panamá, la cuenca de mayor producción lechera se encuentra en la provincia de Chiriquí, donde se produjeron 93,3 millones de litros en el año 2010, equivalentes al 53% de la producción nacional. Esta zona destaca por producir el 88% de leche grado “A” y el 51% de grado “B”, debido a que tiene mejores condiciones agroclimáticas para la producción de leche. En el caso de la leche industrial o grado “C”, Chiriquí produce

alrededor de 20,8 millones de litros, consagrándose como la provincia de mayor producción láctea a nivel nacional (MIDA, 2011).

2.1.Sistemas de Producción de Leche en Panamá.

En el trópico, los sistemas de producción de leche están limitados en su nivel de producción por factores tanto genéticos como ambientales. Las condiciones del medio tropical afectan de manera considerable el comportamiento productivo de las vacas lecheras, disminuyendo su producción y condicionando el manejo de los animales, lo que limita la expresión del potencial genético y la cantidad de la leche (Castillo et al., 2013).

Según el INEC (2011) Panamá cuenta con 5 344 explotaciones de las cuales 4 665 recurren al ordeño manual mientras que, 679 cuentan con ordeño mecánico, de las cuales 408 explotaciones están en la provincia de Chiriquí. El mayor porcentaje de las explotaciones ganaderas en Panamá se sitúa, según su extensión, en el estrato de 9,9 a 49,9 hectáreas, con 18 312 explotaciones, lo que representa un 47% del total, seguido del estrato de menores de 9,9 hectáreas que representa el 27% del total, con 10 784 fincas; de 50 a 199 hectáreas que representa el 22% del total con 8 459, y las fincas mayores de 200 has, con 1 650 explotaciones que representa un 4% del total de las explotaciones (FAO, 2003). El 31% de las razas utilizadas en la Provincia de Chiriquí es Holstein, 26% Pardo Suizo, 21% Jersey, 8% Cebú, 5% Girolando, 3% Simental, 3% Holstein Rojo y 3% Brahman (Marín y Navarro, 2013).

La raza Holstein es originaria de Holanda, en particular de las provincias del norte de este país. Debido al suelo fértil y lluvia abundante de estas regiones, estas vacas disponían de buenas praderas, por lo que, al no esforzarse por cosechar su alimento, no desarrollaron una buena habilidad para el pastoreo. La limitada habilidad para el pastoreo de esta raza, sus enormes necesidades nutricionales debido a su tamaño, su poca habilidad para soportar el estrés calórico y la despigmentación de su piel hacen que las vacas Holstein sean las menos tolerantes a los ambientes tropicales (Castro, 2010).

El peso ideal de las vacas Holstein se ha fijado en 680 kg y el de los toros en 1000 kg. El peso al nacer de los becerros Holstein es el más elevado, al compararlo con el peso de los becerros de las otras razas lecheras. Lo anterior resulta en un mayor número de casos de partos distócicos en las vacas Holstein, en comparación con las otras razas lecheras. La tasa de crecimiento de los animales Holstein, así como las características de

la canal son buenas, por lo que los machos Holstein pueden utilizarse para la producción de carne (Vélez et al., 2014).

La raza Pardo Suizo fue desarrollada cientos de años antes que el resto de las razas lecheras. Estos animales se originaron en las regiones montañosas de Suiza, en donde además de utilizarse para la producción de leche, se utilizaban para la producción de carne y para tiro (Vélez et al., 2014). Por lo anterior, la conformación corporal de las vacas Pardo Suizo no es tan refinada como las vacas de las demás razas lecheras; aunque en los últimos 30 años el tipo de esta raza se ha mejorado marcadamente. Las vacas de esta raza presentan huesos fuertes, cabeza grande, piel gruesa y floja y una conformación angular (Vélez et al., 2014). Las vacas Pardo Suizo son menos pesadas que las vacas Holstein, pero más pesadas que el resto de las vacas de razas lecheras. El peso de las vacas adultas es de 545 a 640 kg; mientras que el peso de los toros maduros oscila entre los 730 y 1 090 kg (Castro, 2010).

3.0. Factores Genéticos Aditivos y no Aditivos

El modelo genético para rasgos cuantitativos establece que el rendimiento observado (fenotipo) de un animal es la suma de efectos genéticos (aditivos y no aditivos) y efectos ambientales (Bourdon 1997). Los efectos aditivos están determinados por la suma de los efectos individuales de una gran cantidad de genes que pueden contribuir a un rasgo cuantitativo (valor de cría), mientras que los efectos no aditivos están determinados por la posible interacción entre alelos de un mismo gen (dominancia), o entre distintos genes (epistasia).

La importancia relativa de los efectos aditivos y no aditivos varía para diferentes rasgos. Los efectos aditivos pueden ser aprovechados mediante estrategias de selección, para aquellos rasgos que presentan índices medios o altos de heredabilidad; mientras que el vigor híbrido, causado por efectos no aditivos de dominancia, puede ser aprovechado por medio del cruzamiento, en características de mediana y baja heredabilidad, que no responden a la selección (Echeverry et al., 2007).

La heterosis (o vigor híbrido) se define como la diferencia en rendimiento, generalmente favorable, que presentan los individuos híbridos con respecto al promedio de las razas puras paternas (Swan y Kinghorn 1992, Casell y McCallister 2007). Según Bohada (1991), es importante tener en cuenta que el vigor híbrido obtenido por el

cruzamiento, va disminuyendo a medida que los animales envejecen, expresándose especialmente en la primera y segunda lactancia de los individuos.

En un estudio sobre cruces en ganado lechero de Costa Rica, se observaron efectos positivos de heterosis en vida productiva, intervalo parto concepción, edad al primer parto y producción de leche por día (Vargas y Romero, 2010).

En el ganado lechero, la consanguinidad es actualmente uno de los principales problemas, ya que afecta la fertilidad y la salud, entre otros parámetros productivos y reproductivos. La consanguinidad puede evitarse mediante los cruzamientos (Caraviello, 2004).

Por otra parte, una posible desventaja de los cruces es la pérdida de combinaciones epistáticas favorables por recombinación, lo que puede ocurrir en generaciones posteriores a la F1 obtenidas por intercruzamiento (Madalena 1993).

4.0. Evaluación de rendimiento productivo y reproductivo en fincas lecheras.

El estudio de los parámetros productivos y reproductivos va muy de la mano, se necesitan de los dos para ser eficientes y no se puede descuidar ninguno porque se verá reflejado en el otro. Para que estos parámetros sean adecuados se debe tener en cuenta todo lo que rodea a los animales, alimentación o pasturas, suplementación mineral y de concentrados, como de la parte de mano de obra e infraestructura (Ariza, 2011).

Según Herrera (2011), la unidad de producción de leche se considera un sistema cuyos elementos son: tamaño del hato, nivel de capitalización, nivel de producción, eficiencia reproductiva, nivel tecnológico y comercialización, los cuales interactúan entre sí y se relacionan con el ambiente.

En fincas lecheras, el uso de sistemas de registros es una herramienta necesaria para medir su eficiencia, tanto en la parte productiva y reproductiva como en la administración de la misma. Según Ávila (1984), no existe un sistema definitivo para llevar registros ya que cada hato tiene una diferente composición. Sin embargo, los registros deben ser claros, precisos y a la vez modificables por el dueño de la finca o por el administrador. En la actualidad, se utilizan desde formas tradicionales como anotaciones en libretas, formatos, tarjetas individuales, hasta los más avanzados sistemas de registros como hojas electrónicas y programas computarizados (Arias, 2000).

4.1. Parámetros de Reproducción.

Los índices reproductivos son indicadores del desempeño reproductivo del hato. Éstos se calculan cuando los eventos reproductivos del hato han sido registrados adecuadamente. Estos índices nos permiten identificar las áreas a mejorar, establecer metas reproductivas realistas, monitorear los progresos e identificar los problemas en estadios tempranos. La mayoría de los índices para un hato son calculados como el promedio del desempeño individual (Ortiz et al., 2005).

4.1.1. Edad a Primer Parto (EPP).

La EPP es la edad en la que las vaquillas paren por primera vez. En un hato, la EPP se obtiene dividiendo la suma de las edades (meses o días) al primer parto (fecha de parto-fecha de nacimiento) de cada novilla parida dentro de un periodo determinado (época, mes, año) entre el número de novillas de primer parto analizadas en cada periodo (Soto, 2001).

Según Soto (2001), la edad al primer parto es un buen indicador del manejo reproductivo y condiciones de crianza presentes en el hato. La EPP se puede atrasar en casos extremos hasta 3 o 4 años, todo dependerá del manejo y alimentación durante el crecimiento. La EPP está íntimamente relacionada con la edad en que se produce el primer servicio de las vaquillas. A pesar de no constituir exactamente una medida de fertilidad, la Edad al Primer Parto afecta significativamente la eficiencia reproductiva de las vacas (Casas y Tewolde, 2001).

La EPP tiene un efecto no solo sobre la primera lactancia, sino también sobre el rendimiento productivo posterior (Castillo et al., 2013). La edad adecuada de un animal a la hora del primer parto tiene efecto sobre el rendimiento productivo de un animal durante su vida, y sobre la vida productiva del bovino dentro del hato lechero (Marini et al., 2007).

En otro estudio realizado por Vargas y Ulloa (2008a) en Costa Rica, se reportó EPP de 29 y 28 meses para las razas Holstein y Pardo Suizo respectivamente. Se encontró además que los factores raza y zona agroecológica tienen un efecto alto y significativo sobre la EPP. Resultados similares fueron reportados por Montero (2005) para las razas Holstein y Pardo Suizo en Panamá, y por Vargas y Romero (2010), en Costa Rica para las razas Holstein y Pardo Suizo.

4.1.2. Intervalo entre Parto y Concepción (IPC).

También conocido como intervalo parto-preñez, intervalo parto-concepción, intervalo parto-servicio efectivo o simplemente días abiertos. En un hato, el IPC para un periodo dado se obtiene dividiendo la suma de intervalos entre parto y concepción (días) reportados en vacas preñadas en el periodo entre el número de vacas preñadas (Soto, 2001), y por lo tanto no incluye las vacas eliminadas por fallas reproductivas (Montalván, 2004). Vélez et al. (2014), mencionan que este periodo debe oscilar entre 85 y 115 días, lo que es importante para lograr un ternero por año.

Este parámetro es uno de los más sencillos de obtener y refleja el estado reproductivo actual del hato en estudio. Es muy utilizado para evaluar la eficiencia reproductiva de los hatos. Es afectado directamente por la eficiencia en la detección de celos, la fertilidad y el periodo de retiro voluntario (Soto, 2001).

Elizondro (2014), encontró que el valor de IPC promedio para las razas Holstein y Pardo Suizo de la provincia de Chiriquí fue de 159 días. Según Vargas y Ulloa (2008a), en Costa Rica encontraron que el IPC de las razas Holstein y Pardo Suizo fue de 160 días, superior al promedio de los cruces entre las razas puras. En otro estudio realizado en Costa Rica por Vargas y Romero (2010), se encontró que para la raza Holstein el IPC fue de 151 días, mayor que para la raza Pardo Suizo con 140 días y los cruces entre ambas razas.

4.1.3. Servicios por Concepción (SCO).

En un hato, el índice de Servicios por Concepción (SCO), para un periodo dado se obtiene dividiendo la suma de todos los servicios (por inseminación artificial o monta natural) realizados en las vacas que resultaron preñadas durante el periodo, entre el número de vacas confirmadas preñadas en el periodo (Soto, 2001).

Este es uno de los parámetros reproductivos más importantes, cual permite analizar la fertilidad del rebaño, asumiendo que la inseminación artificial o la monta natural son óptimas. Este indicador debe ser calculado por separado para novillas y para vacas multíparas, no debe incluir los servicios en vacas eliminadas o que no han sido diagnosticadas y los de vacas repetidoras que no han quedado preñadas, pero sí debe incluir los servicios de las vacas repetidoras que han quedado preñadas. Los servicios por concepción solo en vacas preñadas es la forma más sencilla de considerar la eficiencia de los servicios (Soto, 2001). En ganado lechero, es generalmente aceptable

un rango de SCO entre 1,5 a 1,8. Estos dependen entre otros factores de la eficiencia en la detección de celo, la calidad del semen, la técnica de inseminación y el manejo del semen, así como de posibles reabsorciones embrionarias (De Kruif, 1978).

Una desventaja del SCO es que no considera los días entre parto y primer servicio, o los días entre servicios, ni tampoco a los animales que no han sido servidos por algún motivo (Hincapié et al., 2005).

4.2. Parámetros de Producción.

El comportamiento productivo está influenciado por factores ambientales, fisiológicos y genéticos. Es por esta razón que dichos factores deben ser considerados al evaluar los parámetros en una población animal y en un área determinada (Contreras et al., 2002). Los parámetros de producción se componen por el espacio de tiempo entre el ordeño y el periodo en que la vaca se encuentra seca, hasta iniciar el nuevo ciclo. En la práctica pecuaria se establece como un objetivo alcanzable un parto anual y un periodo de lactación de 305 días, lo que determina a su vez un periodo seco de 60 días. Entre los parámetros productivos más utilizados en lecherías se encuentran la Duración de la lactancia (DLA), la Producción Total por Lactancia (PTL), la Producción Corregida a 305 días (P305) y la Vida Productiva (VPR).

4.2.1. Duración de la Lactancia (DLA).

Es el total de días en los cuales la vaca se encuentra en producción de leche. Idealmente se espera que una vaca debe tener un parto cada 365 días, distribuidos en 60 días de periodo seco y 305 de duración de la lactancia (Vélez et al., 2014). Este parámetro se puede calcular sumando los días en ordeño para las vacas del hato y dividiéndolos entre la cantidad de vacas del hato en el mismo periodo (Soto, 2001).

Los días en lactancia o duración de la lactancia proporcionan un índice fácil de calcular y de interpretar. Se supone que las vacas que están en la primera mitad de su etapa de lactación son las de mayor rentabilidad por la producción leche y que las que se encuentran en la última mitad son la de menor rentabilidad. Los IEP afectan directamente a los DLA, ya que cuanto más prolongados los IEP, reducen la tasa de vacas en el periodo inicial de lactación y los IEP cortos tienden a aumentar los días secos (Soto, 2001).

4.2.2. Producción Corregida a 305 días (P305).

Para poder evaluar correctamente el potencial lechero de una vaca es necesario que el registro de producción represente fielmente su capacidad. Existen factores ambientales que pueden ser controlados mediante métodos estadísticos, obteniendo lo que se denomina Producción Corregida a los 305 días (P305). Los principales factores que se pueden controlar envuelven otras características de desempeño (duración del periodo seco anterior al parto, duración del periodo parto concepción, duración de la lactancia, entre otros). También existen efectos causados por el manejo de los hatos en la hacienda (número de ordeñas diarias, el sistema de alimentación, el sistema de ordeña entre otros) y los efectos causados por el ciclo de vida del animal, como por ejemplo la edad y el número de partos de la vaca. Cuando se realiza el ajuste es posible realizar comparaciones más justas entre animales ya sea del mismo hato, entre razas o de otros lugares (Searle, 1962; Miller, 1973).

4.2.3. Vida Productiva (VPR).

Una de las formas que se define la vida productiva es como el periodo transcurrido entre el primer parto y el descarte. Es una medida de permanencia de las vacas en el hato, que tienen en cuenta el número de años en que la vaca mantiene una capacidad normal reproductiva. La vida productiva es la suma de días en producción de cada vaca dentro del hato y se obtiene como la diferencia entre la fecha del ultimo día en producción o del ultimo parto menos la fecha del primer día en producción o primer parto (Soto, 2001).

Se ha reportado que la vida útil en los hatos de Costa Rica va desde los 29,9 meses hasta los 43,5 meses (Cedeño y Vargas, 2004a), siendo las principales causas de descarte: los problemas de fertilidad y alteraciones de la ubre. Sin embargo, por lo general, los registros de los establos no incluyen las causas exactas de descarte de sus animales (Orrego et al., 2003).

Una mayor longevidad puede ayudar parcialmente a los tiempos perdidos entre la edad a primer parto y la capacidad productiva en las tres primeras lactaciones (Soto, 2001). La vida productiva es la variable que refleja la vida útil del animal, a mayor número de lactancias, menos reemplazos se tienen que introducir cada año al hato. Las vacas van a ser valiosas por su tendencia a tener una gran producción de leche durante el mayor número de lactancias posibles, siendo estas las más influenciada por un sin

número de factores, de los cuales la mayoría no son genéticos (Cedeño y Vargas, 2004a).

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J., S. Padrón., N. Pereira., E. Rincón., Z. Chirinos., R. Villalobos y D. Marín. 1998. Producción de leche de ganado mestizo en una zona de bosque seco tropical. Maracaibo, Venezuela. Revista Científica, FCV-LUZ. 8:99-104.
- Aguilera, A. y K. Medina. 2000. Comportamiento productivo de un rebaño mestizo lechero en una finca ubicada en el norte del municipio Maturín del edo. En: Memorias X Congreso Venezolano de Zootecnia, 29-30 diciembre. 2000. Edo Portuguesa, Venezuela. p. 64.
- Alfaro, D., y J. Guerrón. 2007. Evaluación productiva y reproductiva de las razas Holstein, Jersey y sus cruzamientos, en la región de San Carlos, Costa Rica, utilizando el programa VAMPP®. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Zamorano, Honduras.
- Arias M, X. 2000. El manejo de la información como herramienta práctica al alcance del ganadero. Santa Fé de Bogotá, CO. http://www.encolombia.com/acovez24284_temas11.htm (consultado: 4 Oct. 2014).
- Ariza, C. 2011. Análisis productivo y reproductivo de un hato lechero. Tesis Ing., Corporación Universitaria Lasallista, Antioquia, Colombia.
- Ávila, T.S. 1984. Producción intensiva de ganado lechero. CECSA, México.
- Batista, J.R. 2011. Caracterización lactacional y reproductiva de las razas Holstein y Pardo Suizo en hatos lecheros grado A. Tesis M. Sc, Universidad de Panamá, David, Panamá.
- Bohada, G. 1991 El cruzamiento como estrategia de mejoramiento. Carta ganadera. 3:28-5
- Bourdon, RM. 1997. Understanding animal breeding. Prentice Hall, USA.
- Caraviello, D. 2004. Cruzamientos en el ganado lechero. Informe Técnico. Instituto Babcock Universidad de Wisconsin, EEUU.
- Carvajal, M., E.R. Valencia, y J.C. Segura. 2002. Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el Estado de Yucatán México. Rev. Biomed. 13:25-31.

- Casas, E. y A. Tewolde. 2001. Evaluación de características relacionadas con la eficiencia reproductiva. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9:63-67.
- Castillo, G., M. Salazar, J. Murillo, y J.J. Romero. 2013. Efecto de la edad al primer parto sobre parámetros productivos en vacas Jersey de Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 24:177-187.
- Castro, A. 2010. *Ganadería de leche enfoque empresarial*. 2. ed. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Cedeño, D. y B. Vargas. 2004a. Efecto de la raza y el manejo sobre la vida productivo del Bovino Lechero en Costa Rica. *Arch. Zootec.* 53:129-140.
- Cedeño, D. y B. Vargas. 2004b. Optimización de políticas de descarte en ganado bovino lechero de Costa Rica. *Arch. Zootec.* 53:249-260.
- Contreras, G., S. Zambrano, y M. Pirela. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas mestizas Criollo Limonero x Holstein. Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ.* 1:15-18.
- De Kruif, A. 1978. Factors influencing the fertility of a cattle population. *J. Reprod. Fert.* 54: 507-518.
- Ducca, D.E., Solano, O., Alfaro, O., Zumbado, C., Almendares, R., y J. Lee. 2007. Caracterización y plan de acción para el desarrollo de la agrocadena de ganadería bovino en la región Huetar Norte. MAG, Cirad, Ruta Ciudad Quesada, Costa Rica.
- Echeverry, J., V. Salazar, y D. Múnera, 2006. El cruzamiento como estrategia para aumentar la rentabilidad de hatos lecheros. *Revista Lasallista de Investigación* 2:48-52.
- Elizondro, M. 2014. Análisis de parámetros reproductivos y productivos de hatos lecheros en Chiriquí, Panamá. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), y FEPALE (Federación Panamericana de Lechería). 2012. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011. Informe Técnico. FAO, Chile.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. Informe sobre la situación de los recursos zoogenéticos en Panamá. Informe Técnico. FAO, Panamá.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. FAOSTAT. [Http: //faostat3.fao.org/compare/S](http://faostat3.fao.org/compare/S). (consultado: 20, Dic. 2015).
- Herrera, J. 2011. Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares. SAGARPA. México. www.sagarpa.gob.mx/sistema. (consultado: 14 Dic. 2015).
- Hincapié, J., E. Pipaon, y G.S. Blanco. 2005. Trastornos reproductivos en la hembra bovina. 2. ed. Editorial Licotom. Tegucigalpa, Honduras.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). 2011. Contraloría General de la Republica de Panamá. https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=60&ID_PUBLICACION=480&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=15 (consultado: 08, Oct. 2015).
- Juárez, J., y C. Marsan. 2013. Evaluación productiva y reproductiva de vacas Holstein, Pardo Suizo, Jersey y sus cruces en el hato lechero de Zamorano. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- Marín, E., y M. Navarro. 2013. Identificación de las limitantes del sector lechero en la Costa Pacífica de Panamá a partir de explotaciones financiadas por el Banco Nacional de Panamá. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- Marini, P., A. Charmandarian, y R. Di Masso. 2007. Desempeño productivo y reproductivo de vacas de diferentes edades al primer parto en sistemas a pastoreo. [http:// www. Produccion-animal.com.ar](http://www.Produccion-animal.com.ar). (consultado: 10 Dic. 2015).
- Martínez, O., y D. Ventura. 2002. Evaluación productiva y reproductiva de dos hatos lecheros en el Valle del Yeguaré. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2011. Panorama del sector lechero nacional y avances de la cadena agroalimentaria de la leche. Informe Técnico. MIDA, Panamá.
- Miller, P. 1973. A recent study of age adjustment. *J. Dairy Sci.* 56: 952-958.

- Moncayo, G. 2004. Evaluación del desempeño productivo y reproductivo de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces en dos fincas de Honduras y una de Costa Rica. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Zamorano, Honduras.
- Montalván, J. 2004. Efecto de la suplementación con grasa protegida en la dieta sobre el desempeño reproductivo en ganado lechero. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Zamorano, Honduras.
- Montero, E.A. 2005. Perfil estático y cinético del desempeño lactacional y reproductivo en vacas primíparas Holstein y pardo suizo en tres sistemas de producción lechera grado a en la provincia de Chiriquí. Tesis M. Sc., Universidad de Panamá, David, Panamá
- Mora, R. 2004. Evaluación del comportamiento productivo y reproductivo de cruces lecheros en la Hacienda La Josefina, San Carlos, Costa Rica. Tesis Ing., Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Zamorano, Honduras.
- Orrego, J., A. Delgado, y L. Echeverría. 2003. Vida productiva y principales causas de descarte de vacas Holstein en la cuenca de Lima. Rev. Inv. Vet. Perú. 14: 68-73.
- Ortiz, J., T.O. García, y T.G. Morales. 2005. Manual para el manejo de bovinos productores de leche. Secretaria de la Reforma Agraria, México.
- Pérez, E. 2002. La situación de la ganadería en Centroamérica. FAO. Costa Rica. http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6366s/x6366s03.htm#P0_0 (consultado: 22 Nov. 2015).
- Pérez, E., M. Baayen., E. Capella y H. Barken. 1989. Depelopmenet of livestock information system for Costa Rica. En: H. Kuil, R. Palin y J. Huhn Editors. Livestock production and diseases in the tripics. Proc. IV Internl. Coof. Inst. Trop. Vet. Med. Utrecht. The Netherlands. p. 221-224.
- Romero, J., J. Rojas, y S. Estrada. 2011. El programa VAMPP Bovino, una herramienta para la toma de decisiones. Ventana Lechera. 5:4-10.
- SE (Secretaria de Economía Mexicana, Dirección General de Industrias Básicas). 2012. Análisis del sector lácteo en México. Informe Técnico. Secretaria de Economía, México.
- Searle, S. 1962. Age and herd effects in New Zealand dairy cow records. J. Dairy Sci. 45: 82-85.

- Soto, C. 2001. Hemoparásitos en los procesos reproductivos. En: Reproducción Bovina. C. González-Stagnaro. Fundación Girarz, Maracaibo-Venezuela. 12:205-245
- Vargas, B., M. Herrero y J. Van Arendonk. 2001. Interactions between optimal replacement policies and feeding strategies in dairy herds. *Livest. Prod. Sci.*, 69: 17-31.
- Vargas, B., y J. Romero. 2010. Efectos genéticos aditivos y no aditivos en cruces rotacionales Holstein x Jersey y Holstein x Pardo Suizo. *Agron. Mesoam.* 21:223-234.
- Vargas, B., y J. Ulloa. 2008a. Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development* 20 (7). <http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm> (consultado: 18, Oct. 2015).
- Vargas, B., y J. Ulloa. 2008b. Relación entre crecimiento y curvas de lactancia en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development* 20(8). <http://www.lrrd.org/lrrd20/8/varg20122.htm> (consultado: 10, Oct. 2015).
- Vargas, B., y M. Cuevas. 2009. Modelo estocástico para estimación de valores económicos de rasgos productivos y funcionales en bovinos lecheros. *Agrociencia* 43: 881-893.
- Vélez, M., J.J. Hincapié, I. Matamoros, y R. Santillán. 2014. Producción de ganado lechero en el trópico. 7. ed. Academia Press, Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar comparativamente el desempeño productivo y reproductivo de las vacas de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus respectivos cruces en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá).

Objetivos específicos

Comparar el rendimiento reproductivo (Edad a Primer parto, Servicios por concepción e Intervalo entre parto y concepción) de las vacas de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus respectivos cruces, en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá).

Comparar el rendimiento productivo (Duración de la lactancia, Producción Corregida a los 305 días y Vida productiva) de las vacas de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus respectivos cruces en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá).

Obtener estimados de heterosis directa para variables productivas y reproductivas en cruzamientos entre razas Holstein, Pardo Suizo y sus respectivos cruces provenientes de hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá).

Evaluar las tendencias genéticas para producción de leche en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá).

CAPÍTULO I

Estimación de efectos genéticos aditivos y no aditivos para rasgos productivos y reproductivos de razas Holstein, Pardo Suizo y Holstein×Pardo Suizo en hatos lecheros de la provincia de Chiriquí, Panamá

Aníbal Melquisedec Sánchez Serracín

RESUMEN

Estimación de efectos genéticos aditivos y no aditivos para rasgos productivos y reproductivos de razas Holstein, Pardo Suizo y Holstein×Pardo Suizo en hatos lecheros de Chiriquí, Panamá

El objetivo del presente estudio fue obtener estimados de efectos genéticos aditivos y no aditivos (heterosis directa) para rasgos reproductivos y productivos en los grupos raciales Holstein, Pardo Suizo y Holstein×Pardo Suizo procedentes de hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá). Los rasgos analizados fueron edad a primer parto (EPP), intervalo entre parto y concepción (IPC), servicios por concepción (SCO), duración de la lactancia (DLA), producción corregida a 305 días (P305) y vida productiva (VPR). Estos rasgos se ajustaron a un Modelo Lineal Mixto Generalizado que incluyó el grupo racial como efecto fijo y el efecto aleatorio de hato/año/ época. Para IPC, SCO, DLA y P305 se agregaron además el efecto fijo de Lactancia×Edad y el efecto aleatorio de vaca dentro de hato. Como resultado, se obtuvieron medias marginales para EPP de 34,0, 34,3 y 37,0 meses para los grupos Holstein, Holstein×Pardo Suizo y Pardo Suizo, respectivamente. Para las demás variables, las medias respectivas por grupo racial fueron 162, 159 y 169 días para IPC; 2,04, 2,07 y 1,91 para SCO; 332, 335 y 342 días para DLA; 5 495, 4 880 y 4 470 kg para P305; y 45,3, 44,3 y 53,3 meses para VPR. Se obtuvieron estimados favorables de heterosis para las variables EPP (-2,07%), IPC (-3,99%), P305 (1,21%) y VPR (1,51%); y estimados desfavorables para las variables DLA (-0,24%) y SCO (1,83%). Los resultados indican efectos genéticos aditivos de magnitud importante, siendo la raza Holstein superior en las variables EPP, IPC y P305, mientras que la raza Pardo Suizo fue superior en SCO, DLA y VPR. Los efectos de heterosis directa entre estas razas son de baja magnitud para la población y rasgos analizados en este estudio.

Palabras claves: Heterosis, ganado lechero, parámetros productivos, parámetros reproductivos.

ABSTRACT

Estimation of additive and non-additive genetic effects for productive and reproductive traits of Holstein, Brown Swiss and Holstein×Brown Swiss cattle in dairy herds from Chiriquí, Panamá.

The aim of this study was to obtain estimates of additive and non-additive (direct heterosis) genetic effects for reproductive and productive traits in Holstein, Brown Swiss and Holstein×Brown Swiss breeds types pertaining to dairy herds using the software VAMPP and located in the province of Chiriquí (Panama). Traits analyzed were age at first calving (EPP), calving to conception interval (IPC) services per conception (SCO), lactation length (DLA), 305-d milk yield (P305) and productive life (VPR). These traits were fitted to a generalized linear mixed model that included the breed type as fixed effect and herd/year/season as random effect. For IPC, SCO, DLA and P305, a fixed effect of lactation×age and a random effect of cow within herd were also added to the model. Marginal means for EPP were 34.0, 34.3 and 37.0 months for Holstein, Holstein×Brown Swiss and Brown Swiss, respectively. For other traits, the respective means for the same breeds were 162, 159 and 169 days for IPC; 2.04, 2.07 and 1.91 for SCO; 332, 335 and 342 days for DLA; 5 495, 4 880 and 4 470 kg for P305; and 45.3, 44.3 and 53.3 months for VPR. Favorable estimates of heterosis were found for EPP (-2.07%), IPC (-3.99%), P305 (1.21%) and VPR (1.51%). Unfavorable estimates of heterosis were obtained for DLA (-0.24%) and SCO (1.83). The results indicate significant additive genetic effects, with a better performance for Holstein in EPP, IPC and P305 variables, while Brown Swiss was superior in SCO, DLA and VPR. Direct heterosis effect between these breeds is low for the population and traits under analysis.

Keywords: Heterosis, dairy cattle, productive performance, reproductive performance

INTRODUCCIÓN

El estudio de los parámetros productivos y reproductivos en fincas lecheras es sumamente importante, ya que estos en conjunto determinan el nivel de eficiencia de las explotaciones ganaderas (Ariza, 2011). Los índices productivos y reproductivos son indicadores del desempeño del hato, y solo se pueden calcular cuando los eventos del hato han sido registrados adecuadamente (Ortiz et al., 2005). Según Herrera (2011), la unidad de producción de leche se considera un sistema cuyos elementos son: tamaño del hato, nivel de capitalización, nivel de producción, eficiencia reproductiva, nivel tecnológico y comercialización, los cuales interactúan entre sí y se relacionan con el ambiente.

Por otro lado, los cruzamientos tienen gran importancia en el área agropecuaria, pero son más ampliamente utilizados en la producción de leche en toda América tropical y Nueva Zelanda (Madalena, 2001). Los cruzamientos entre razas permiten mejoras en los rendimientos productivos, siendo dichas mejoras desde un 20 hasta un 70% en los rendimientos productivos y reproductivos. El nivel de heterosis expresado dependerá de las diferencias en las frecuencias génicas entre las dos poblaciones parentales y se espera que la heterosis sea máxima cuando diferentes alelos están fijados en cada una de las líneas parentales (Caraviello, 2004).

Los estándares biológicos reproductivos y el manejo adecuado de las vacas lecheras están directamente relacionados con la producción de la hembra, desde el momento en que se define la pubertad hasta que se produce la última gestación (Arauz, 2007). Algunos de los índices reproductivos más utilizados en lechería bovina son: la Edad a Primer Parto (EPP), el Intervalo Parto-Concepción (IPC), el Intervalo Entre Partos (IEP), Servicios por Concepción (SCO), Días en Lactancia (DLA), Producción Corregida a los 305 días (P305) y la Vida productiva (VPR).

El rendimiento productivo está influenciado por factores ambientales, fisiológicos y genéticos. Es por esta razón que dichos factores deben ser considerados al evaluar los parámetros en una población animal y en un área determinada. Según Contreras et al. (2002) se ha encontrado influencia significativa del año, época y número de partos sobre la producción de leche en diferentes grupos raciales o mestizos.

Los parámetros de producción se componen por el espacio de tiempo entre el ordeño y el periodo en que la vaca se encuentra seca, hasta iniciar el nuevo ciclo. En la

práctica pecuaria se establece como un objetivo alcanzable un parto anual y un periodo de lactación de 305 días, lo que determina a su vez un periodo seco de 60 días. Entre los parámetros productivos más utilizados en lecherías se encuentran la Duración de la lactancia (DLA), la Producción Total por Lactancia (PTL), la Producción Corregida a 305 días (P305) y la Vida Productiva (VPR).

En Panamá la actividad lechera es de desarrollo relativamente reciente y existe poca investigación sobre el rendimiento de las explotaciones locales. La producción lechera en Panamá ha crecido de 150 millones de litros en el año 1994 a 195 millones en el año 2010 (MIDA, 2011). Algunos hatos han introducido el uso de sistemas de información para control y monitoreo de variables productivas y reproductivas, tales como VAMPP (MIDA, 2011). A partir de la información generada por estos sistemas es posible obtener parámetros poblacionales que muestren las tendencias en variables de importancia biológica y económica.

Los efectos genéticos, tanto aditivos como no aditivos, también juegan un papel importante en las explotaciones lecheras. La heterosis o vigor híbrido se define como el aumento en el rendimiento de los híbridos por encima de las razas puras, más notable en los rasgos como la fertilidad y la supervivencia (Bourdon 1997). El mayor o menor nivel de heterosis, para todas las características, va a depender de las diferencias genéticas de los animales que se cruzan, las que guardan una relación directa con el vigor híbrido. Existen tres tipos de heterosis que pueden expresarse en un determinado individuo, dependiendo de su composición genética y la de sus progenitores: la heterosis directa o individual, la heterosis materna y la heterosis paterna (Bourdon 1997). La heterosis directa es la superioridad de los individuos cruzados atribuible a su combinación específica de genes. La heterosis materna, importante sobre todo en rasgos reproductivos, es la superioridad de los individuos cruzados atribuible a la combinación de genes presentes en la madre, cuando ésta a su vez es cruzada. Por último, la heterosis paterna, menos frecuente, es la superioridad de los individuos cruzados atribuible a la combinación específica de genes presentes en el padre, cuando éste es a su vez cruzado (Marín, 2011).

El vigor híbrido es un mejorador de la salud, la fertilidad y la supervivencia, puesto que las diferencias entre razas son mayores que las que se presentan dentro de la misma raza, pudiéndose lograr mayores beneficios. Además aumenta la eficiencia en la producción de leche, ya que el volumen de sólidos grasos y proteína en la leche es cada

vez más importante, y los precios de ésta son cada vez más influenciados por su composición (Echeverry et al., 2006). En ocasiones se considera la consanguinidad un problema, ya que la reproducción de líneas consanguíneas permite el incremento de la prevalencia de genes recesivos. Esto trae como resultado no solo una reducción en el rendimiento productivo y reproductivo, sino también un aumento de problemas de salud (Vilela, 2014).

El objetivo del presente estudio es comparar el rendimiento para variables productivas y reproductivas en las razas Holstein y Pardo Suizo en hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá) obteniendo además estimados de heterosis directa para los cruces entre ambas razas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Edición y selección de la información.

La información para el presente estudio se obtuvo de la base de datos del Centro Regional de Informática para la Producción Animal Sostenible (CRIPAS) (Pérez et al., 1989) y la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica. Se utilizó la información disponible del periodo transcurrido entre los años 1982 y 2015.

Inicialmente se contó con información proveniente de 47 hatos (40 de Lechería especializada y 7 de Doble Propósito) ubicados en la provincia de Chiriquí, Panamá, con un total de 77 579 partos registrados y 66 167 lactancias con al menos 1 registro diario de producción de leche. Estos hatos tenían en promedio 12,2 años (D.E: 10,5; MIN: 0,6; MAX: 33,5) de seguimiento mediante el programa VAMPP (Noordhuizen y Buurman, 1984)

Se realizó una selección de la información utilizando los siguientes criterios de inclusión:

- i. Solo se incluyeron animales pertenecientes a los grupos raciales Holstein (n=45 623 partos), Pardo Suizo (n=9 285 partos) o grupos raciales producto del cruce entre estas razas (n= 5 808). Los grupos intermedios y el número inicial de partos disponibles por grupo fueron: H4PS4 (2 290), H5PS3 (147), H6PS2 (1 507), H7PS1 (856), PS5H3 (117), PS6H2 (659), y PS7H1 (232). Como se observa cerca del 74% y del 16% de los partos proceden de animales de raza Holstein y Pardo Suizo puros, respectivamente, mientras que el 10% restante perteneció a los cruces. Aunque existen otros grupos raciales presentes en las fincas, no se consideraron en el presente estudio por encontrarse en números muy reducidos,
- ii. Para una mejor estimación de los niveles de heterosis, se requirió que todos los hatos incluidos en el análisis contaran con animales tanto de razas puras como cruces.

Análisis estadístico descriptivo

Se realizó un análisis estadístico descriptivo (medidas de tendencia central y dispersión) de las distintas variables del estudio. Este análisis permitió detectar y eliminar posibles inconsistencias debido a valores biológicamente improbables; así

como valores extremos que podrían tener impactos no deseados en el ajuste de los modelos de regresión.

Adicionalmente, se construyeron histogramas con el fin de evaluar la(s) distribución(es) de probabilidad (es) más adecuadas para los modelos de regresión. Este análisis descriptivo también permitió obtener información sobre la disponibilidad de datos por grupo racial y por hato.

Análisis estadístico por Modelos Lineales Mixtos Generalizados

Para el análisis de las variables se utilizó la metodología de Modelos Lineales Mixtos Generalizados (GLMM). Estos modelos permiten seleccionar, entre múltiples opciones, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a las variables de respuesta que se analiza. Además, mediante el uso de una *función de enlace*, los GLMM permiten especificar la relación existente entre la variable de respuesta y los predictores lineales del modelo.

El modelo base utilizado en el presente estudio, se describe a continuación.

$$Y = \mu + HAE + GRAZ + e \quad [1]$$

Dónde:

Y = Las variables de respuesta analizadas fueron:

- Edad a primer Parto (EPP): Meses transcurridos desde el nacimiento hasta el primer parto,
- Servicios por Concepción (SCO): Número de inseminaciones requeridas para cada concepción,
- Intervalo Parto Concepción (IPC): Días transcurridos entre el parto y la concepción confirmada,
- Vida Productiva (VPR): Meses transcurridos entre el primer parto y la fecha de descarte del animal, excluyendo periodos secos intermedios,
- Producción de leche corregida a 305-d (P305): Estimado de kg de leche producidos a 305 d de lactancia. Para las vacas con lactancias terminadas o en curso que excedieron los 305 días, P305 se obtuvo como la producción acumulada hasta el día 305. Para lactancias terminadas con más de 230 d., P305 se obtuvo como la producción acumulada hasta el último día de lactancia. Lactancias terminadas con menos de 230 d. no se consideraron en el análisis.
- Duración de la Lactancias (DLA): Días transcurridos entre el parto y la

fecha de secado o término de la lactancia,

μ = Intercepto (Media general),

HAE = Efecto aleatorio del grupo contemporáneo, conformado por clases combinadas de hato, año y época de nacimiento de la vaca. Se requirió un mínimo de 5 partos disponibles para cada HAE. En caso de no cumplir con este mínimo, se reunieron HAE adyacentes hasta llegar al número requerido.

GRAZ = Efecto fijo de grupo racial, clasificado en tres categorías (Holstein, Pardo Suizo y Cruces entre ambos (H×PS). Los cruces aglomeran los tipos raciales H4PS4, H5PS3, H6PS2, H7PS1, PS5H3, PS6H2 y PS7H1.

e = Error residual aleatorio.

Para variables de Intervalo Parto Concepción (IPC), Servicios por Concepción (SCO), Producción de Leche a 305 d (P305) y Duración de la Lactancia (DLA), el modelo [1] incluyó los siguientes efectos adicionales:

LAXED = Efecto fijo formado por clases combinadas de número de lactancia (1 hasta ≥ 5) y edad en años (2 hasta ≥ 8) de la vaca.

Vaca(hato) Efecto aleatorio de vaca anidado dentro de hato. Este efecto se introduce para modelar la correlación existente entre múltiples mediciones para una misma vaca. En el presente estudio se intentó en primera instancia ajustar una estructura de correlación *Autoregresiva de Primer Orden*. De no lograr el ajuste, no se asumió ninguna estructura fija para los componentes de varianza.

Este modelo se resolvió utilizando el procedimiento GLIMMIX del programa estadístico SAS (SAS, 2009). La selección de la distribución de probabilidad para la variable de respuesta y para los predictores lineales (función de enlace) se realizó a partir del estudio de los histogramas de las variables de respuesta, la comparación de pruebas de bondad de ajuste Chi-Cuadrado de Wald entre las alternativas más plausibles y el análisis de distribución de los residuales.

A partir de la solución del modelo anterior, se obtuvieron medias marginales (MM) para cada grupo racial en todos los rasgos evaluados, y se compararon entre sí utilizando la prueba de Tukey-Kramer (Daniel, 2009).

El porcentaje de heterosis directa o individual se estimó a partir de las medias marginales utilizando la siguiente fórmula (Bourdon, 1997):

$$\%H = \frac{MM_{F1} - \overline{MM_P}}{MM_P} \times 100 \quad [2]$$

Dónde:

MM_{F1} = Media marginal para el grupo racial (H×PS).

MM_P = Promedio de las MM de grupos raciales paternos (H8 y PS8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La base de datos final, una vez aplicados los criterios de selección antes descritos, contó con un total de 56 406 registros de partos procedentes de 17 298 vacas y 31 hatos. En la Figura 1, se muestra la distribución de partos por grupo racial dentro de cada hato. Es evidente que el mayor número de partos lo tiene la raza Holstein, seguida por la Pardo Suizo y por último el cruce entre ambos. Asimismo, se puede observar que existen unos pocos hatos que concentran la mayoría de los partos, mientras que los demás presentan números reducidos. Generalmente, las lecherías en Centroamérica son muy heterogéneas (Pérez, 2002) y la gran mayoría son empresas familiares (FAO y FEPALE, 2012).

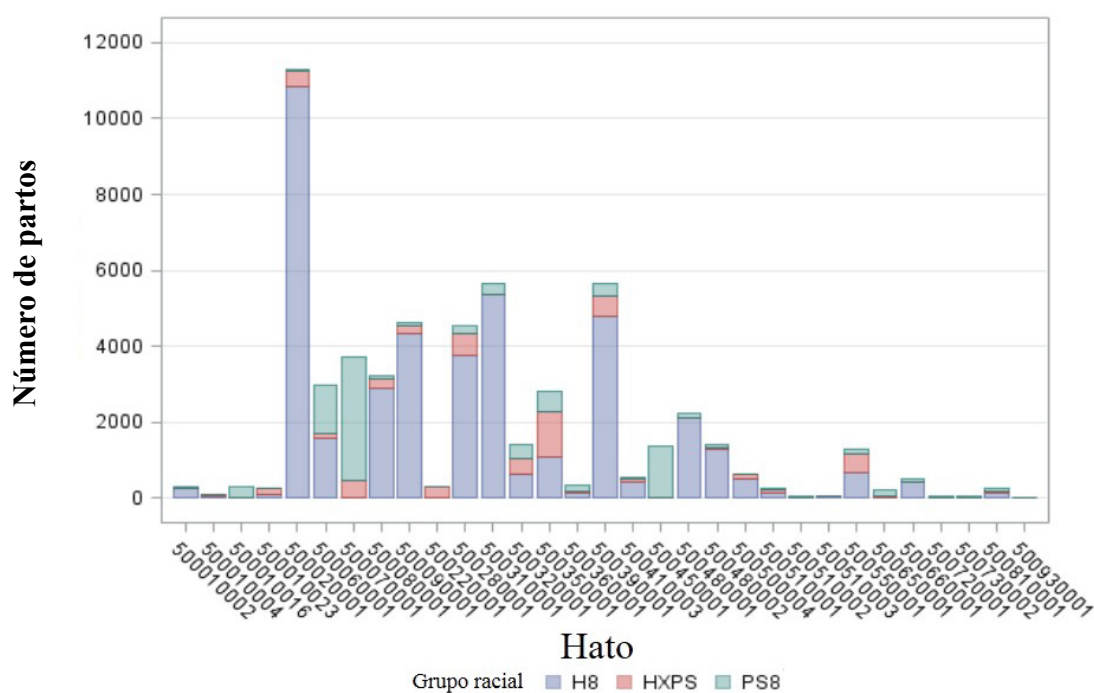


Figura 1. Distribución de partos para los grupos raciales Holstein (H8), Holstein×Pardo Suizo (H×PS) y Pardo Suizo (PS8) dentro de los 31 hatos analizados.

En cuanto a las medias aritméticas, se observan diferencias marcadas entre grupos raciales para la mayoría de las variables evaluadas (Cuadro 1). La raza Holstein presenta mejor rendimiento que la Pardo Suizo en las variables EPP (3 meses menos), IPC (7 d menos) y P305 (1025 kg más); mientras que el grupo racial Pardo Suizo presenta mejor rendimiento en las variables de SCO (0,13 servicios menos), VPR (8 meses más) y DLA (10 d más). Por su parte, el grupo racial Holstein×Pardo Suizo tuvo mejor rendimiento que ambas razas puras solo para la variable IPC (3 y 10 d menos que Holstein y Pardo Suizo, respectivamente). Para las variables EPP, P305 y DLA el comportamiento del cruce fue intermedio con respecto a las razas puras; mientras que para las variables SCO y VPR el rendimiento del cruce fue inferior ambas.

Cuadro 1. Número de observaciones (n) y medias aritméticas (\bar{x}) para las variables edad a primer parto (EPP), servicios por concepción (SCO), Intervalo entre parto y concepción (IPC), vida productiva (VPR), producción corregida a los 305 días (P305) y días en lactancia (DLA) en los grupos raciales Holstein, Holstein×Pardo Suizo y Pardo Suizo.

Variables	Holstein ×					
	Holstein		Pardo Suizo		Pardo Suizo	
<i>Reproductivas</i>	<u>n</u>	<u>\bar{x} (D.E)</u>	<u>n</u>	<u>\bar{x} (D.E)</u>	<u>n</u>	<u>\bar{x} (D.E)</u>
EPP (meses)	11 147	34,0(8,2)	1 607	34,3(8,9)	2 160	37,0(9,0)
IPC (días)	33 609	162(113)	4 632	159(115)	7 436	169(119)
SCO (servicios)	33 609	2,04(1,4)	4 632	2,07(1,5)	7 436	1,91(1,3)
<i>Productivas</i>						
VPR (meses)	8 866	45,3(32)	970	44,3(31,6)	1 422	53,3(40,4)
P305 (Kg)	25 749	5 495(1843)	3 585	4 880(1861)	5 858	4 470(1304)
DLA (días)	25 749	332(89)	3 585	335(86)	5 858	342(93)

Las medias aritméticas descritas anteriormente no son adecuadas para obtener el cálculo de efectos genéticos, ya que son afectadas por factores ambientales, tales como el hato, el año o la época. Para la estimación de efectos genéticos se requiere de modelos de regresión que incorporen la corrección por efectos ambientales y estimación de medias marginales ajustadas para los grupos raciales (Madalena, 2001).

Ajuste de los Modelos Lineales Mixtos Generalizados

Las variables Edad a Primer Parto (EPP), Intervalo Parto Concepción (IPC) y Días en Lactancia (DLA) presentaron distribuciones sesgadas a la derecha por lo que se seleccionó una distribución Log Normal para su modelación (Cuadro 2). Para las variables Servicios por concepción (SCO), Producción Corregida a 305 días (P305) y Vida Productiva (VPR) la distribución que resultó más adecuada fue la Gamma. En todas las variables la función de enlace fue la misma de la variable de respuesta (Identidad). El método de estimación utilizado para todas las variables, exceptuando P305, fue el de Máxima Verosimilitud Restringida (REML, por sus siglas en inglés) mientras que para P305 se utilizó el método de Pseudo Verosimilitud Restringida (RPL, por sus siglas en inglés). Todos los modelos alcanzaron convergencia y se obtuvieron bondades de ajuste adecuadas de acuerdo con la Prueba de Chi-Cuadrado de Wald (Chi Cuad/GL < 1). El análisis de los residuales también indicó ajustes adecuados en todos los casos y un grado de cumplimiento satisfactorio en relación a la distribución y homogeneidad de residuales.

Cuadro 2. Número de observaciones (n), distribución, función de enlace, algoritmo, convergencia, grados de libertad y Chi cuadrado/GL de variables edad a primer parto (EPP), servicios por concepción (SCO), Intervalo entre parto y concepción (IPC), vida productiva (VPR), producción corregida a los 305 días (P305) y días en lactancia (DLA).

Factor	EPP	SCO	IPC	VPR	P305	DLA
n	14 914	45 677	45 677	11 258	35 217	35 217
Distribución	LogNor	Gamma	LogNor	Gamma	Gamma	LogNor
Algoritmo	REML	REML	REML	REML	RPL	REML
Convergencia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Grados libertad- GL *	14 177	44 918	44 918	10 581	34 658	34 658
Chi Cuadrado/GL**	0,03	0,41	0,39	0,38	0,05	0,05

* Grados de libertad del denominador

**Se consideran valores adecuados aquellos menores o cercanos a 1.

En el cuadro 3, se puede observar que el efecto fijo de la raza fue significativo para todas las variables, excepto días en lactancia (DLA). El efecto fijo lactancia×edad también fue significativo para todas las variables.

El efecto Hato×año×época (HAE) fue significativo para todas las variables. Este efecto representa las diferencias, mayormente ambientales, existentes entre grupos de animales contemporáneos, que generalmente han recibido un mismo manejo y han experimentado condiciones climáticas similares.

Para el efecto aleatorio Vaca (hato) el procedimiento GLIMMIX no aporta el Valor P respectivo, pero en los 3 casos la baja magnitud de los errores estándares sugiere que los estimados de CV son significativamente diferentes de 0. Este efecto refleja el impacto que tienen las diferencias existentes entre individuos sobre variables que se miden repetidamente a lo largo de la vida del animal.

Seguidamente se presentan los resultados del ajuste del modelo para cada una de las variables analizadas.

Cuadro 3. Valores de significancia (P) para efectos fijos y estimados de componentes de varianza (CV, error estándar y valor P) para efectos aleatorios sobre las variables Edad a Primer Parto (EPP), servicios por concepción (SCO), intervalo entre parto y concepción (IPC), vida productiva (VPR), producción corregida a los 305 días (P305) y días en lactancia (DLA) en los modelos lineales mixtos generalizados.

Efectos	Valores de significancia P					
	<u>EPP</u>	<u>IPC</u>	<u>SCO</u>	<u>DLA</u>	<u>P305</u>	<u>VPR</u>
<i><u>Fijos</u></i>						
Raza	<0,001	<0,001	0,03	0,052	<0,001	0,016
Lactancia×Edad	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-
<i><u>Aleatorios</u></i>						
CV Hato/Año/Época	0,027	0,058	0,204	0,011	1 383 557	0,486
(E.E de CV)	0,002	0,004	0,014	0,0008	67 588	0,031
(valor P de CV)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV Vaca(hato)	-	0,391	-	0,206	0,048	-
(E.E de CV)		0,003		0,052	0,0004	
C.V Residual	0,025		0,411	0,052		0,378
(E.E residual)	0,0003		0,003	0,0004		0,005

Edad al primer parto (EPP)

En la figura 2, podemos observar el ajuste de la distribución LogNormal para la variable Edad a Primer Parto (EPP). El valor obtenido para la prueba de bondad de ajuste fue de 0,03 (Cuadro 2), siendo el mejor en comparación con las demás distribuciones evaluadas.

En la figura 3, se observan las medias marginales por grupo racial (e intervalo de confianza de 95%) para la variable EPP obtenidas a partir del modelo mixto. La raza Holstein presenta una EPP de 34,6 meses; 1,3 meses menor que la Pardo Suizo y 0,1 meses mayor que el cruce entre ambas. Solo el grupo racial Pardo Suizo presentó diferencia estadística significativa con relación a las demás. En la provincia de Chiriquí, el promedio general de la EPP de las razas Holstein, Jersey y Pardo Suizo fue de 33,1 meses (Elizondro, 2014), similar a los encontrados en el presente estudio. En otro estudio realizado por Vargas y Romero (2010), se reportaron edades a primer parto de 30,3 meses para la raza Holstein, 28,8 meses para la raza Pardo Suizo y 28,1 meses para el cruce entre ambas. EPP de 28 meses fue reportada en otro estudio realizado en San Carlos (Costa Rica) sobre las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces (Mora, 2004). Estos valores son considerablemente menores a los obtenidos en el presente estudio, lo que podría atribuirse al menor desarrollo que ha tenido la producción de leche en Panamá, además del poco apoyo técnico que se presenta en el país. En un estudio realizado en Argentina, Vallone et al. (2014) reportaron que las vaquillonas de los tres genotipos llegaron a su primera preñez entre los 21 y 26 meses de edad, siendo que las vacas Holstein necesitaron en promedio 154 días más para llegar al primer parto.

En el presente estudio, el estimado de heterosis directa para EPP, obtenido a partir de las medias marginales, fue de -2,07%, el cual es favorable ya que significa una reducción de la edad al primer parto atribuible a la heterosis. Otros estudios con cruces similares reportan niveles de heterosis directa de -2,19 (Marín, 2011), -2,46 (Vargas y Romero, 2010). Rincón et al. (1982) presenta para este mismo cruce un estimado de heterosis bajo y desfavorable (0,77%).

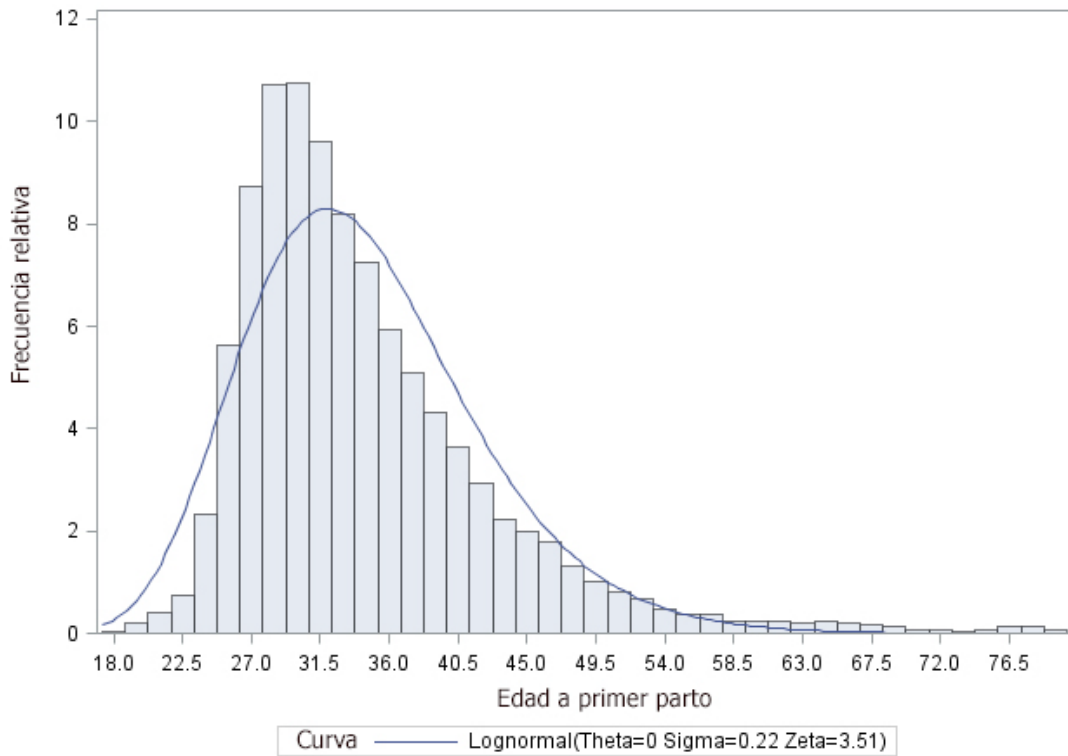


Figura 2. Histograma de variable de respuesta Edad a Primer Parto (meses) con curva de ajuste por distribución LogNormal.

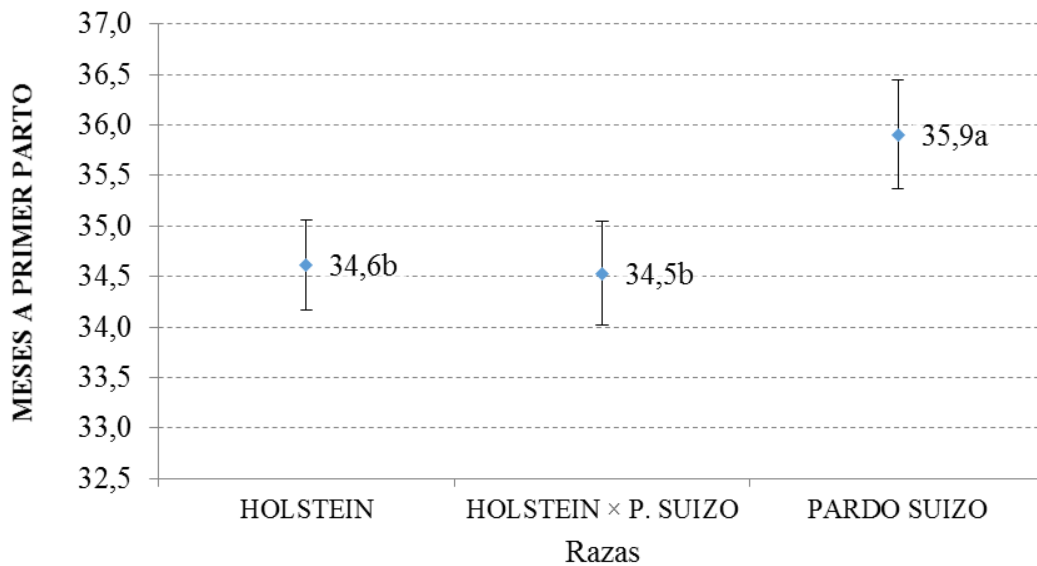


Figura 3. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Edad a Primer Parto (meses), según grupo racial.

Intervalo Parto Concepción (IPC)

En la figura 4, podemos observar el ajuste de la distribución LogNormal para la variable intervalo entre parto y concepción (IPC). La curva presentó un ajuste bastante eficiente para los datos y el valor obtenido para la prueba de bondad de ajuste fue de 0,09 (Cuadro 2).

En la figura 5, se observan las medias marginales de IPC por grupo racial (e intervalo de confianza de 95%) obtenidos a partir del modelo mixto. La raza Holstein presenta un IPC de 134 días, lo que es 4 días mayor que la raza Pardo Suizo y 7 días mayor que el cruce entre ambas. La única diferencia significativa ($P < 0,05$) fue entre el grupo racial Holstein×Pardo Suizo y la raza Holstein.

En un estudio realizado por Vallone et al. (2014), se reportó que las vacas de la raza Pardo Suizo tardaron casi el doble de días (274) en quedar preñadas con relación a las vacas cruzadas (159), siendo además que los tres genotipos estuvieron muy por encima del óptimo para lograr un ternero por año, con diferencias significativas entre ellos.

En un estudio realizado por Vargas y Romero (2010), asumiendo una distribución normal se encontró un IPC de 151,5 días para la raza Holstein, 148,7 días para la raza Pardo Suizo y 153,5 días para el cruce entre ambas, valores mayores a los encontrados en este estudio. Vega et al. (2016) encontraron valores de 124,5 días para la raza Holstein, 123,4 días para el grupo racial Pardo Suizo y 117 días para el cruce entre ambas razas, valores menores a los encontrados en este estudio.

Es importante señalar que las medias marginales obtenidas del modelo mixto son considerablemente menores que las medias aritméticas reportadas en el Cuadro 1. Esto se debe a la distribución sesgada (a la derecha) que presenta la variable IPC (Figura 4). En este caso la media aritmética de la variable en escala original (días) no es un buen estimador de tendencia central, sino que es mejor el obtenido al aplicar el inverso del logaritmo a las medias marginales resultantes del modelo mixto.

El estimado de heterosis directa obtenido en este estudio fue de -3,99%, lo cual es favorable, ya que representa una reducción del IPC para el cruce. Vargas y Romero (2010) encontraron un valor de heterosis también favorable pero inferior (-2,23%) para IPC en el cruce entre razas H×PS. Otros estudios reportaron valores muy superiores a los resultados de este estudio, tales como -4,46% (Marín, 2012) y -5,52% (Vega et al.,

2016). Esto ratifica que es posible obtener una mejora en el parámetro intervalo entre parto y concepción mediante el cruzamiento entre estas razas.

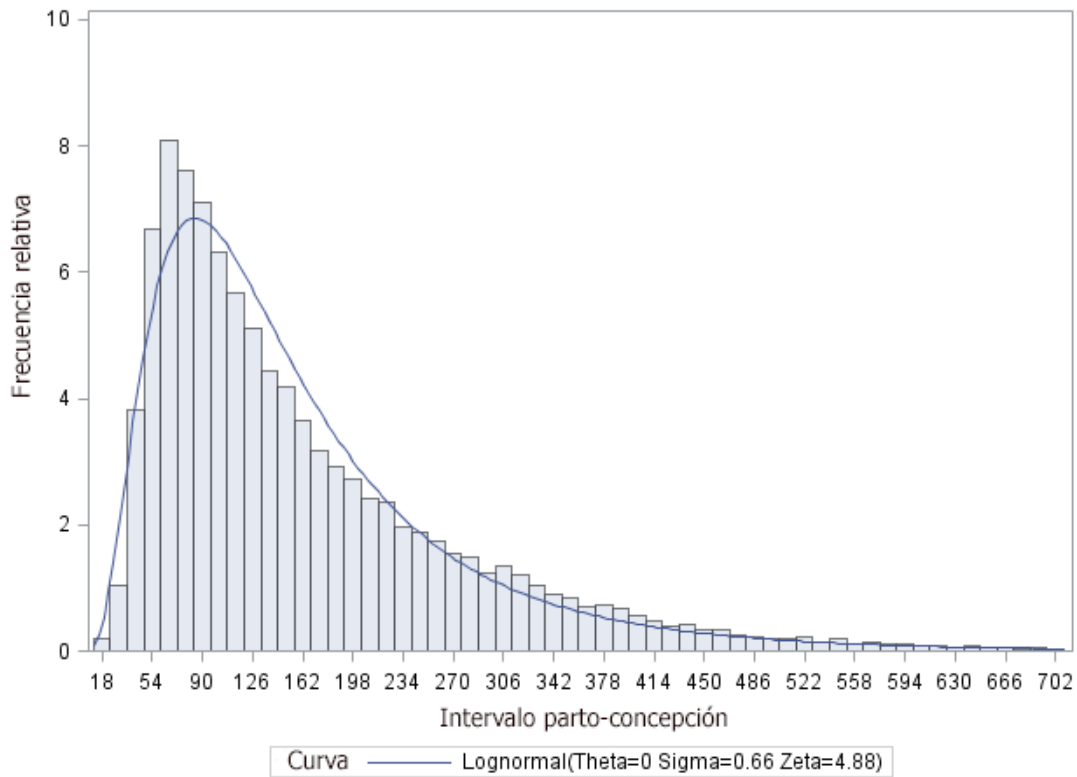


Figura 4. Histograma de variable de respuesta Intervalo entre Parto y Concepción (días) con curva de ajuste por distribución LogNormal.

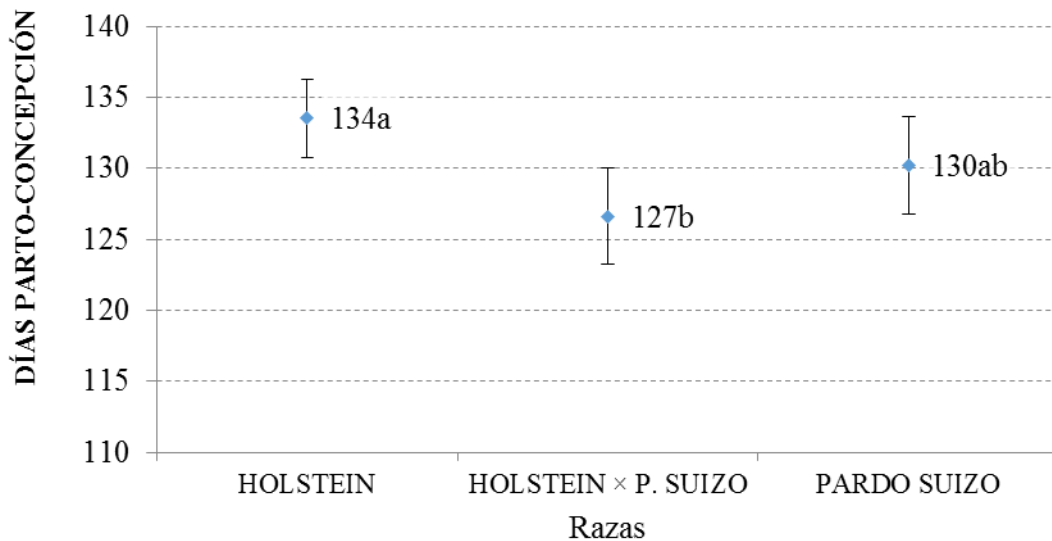


Figura 5. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Intervalo Parto Concepción (días), según grupo racial.

Servicios por concepción (SCO)

En la figura 6, podemos observar el ajuste de la distribución Gamma para la variable servicios por concepción (SCO). Aunque la curva no se ajusta con exactitud a los datos, el valor obtenido para la prueba de bondad de ajuste fue de 0,41 (Cuadro 2). Esta distribución fue la adecuada; aunque su respectiva distribución de residuales no fue la óptima, lo cual se debe a la naturaleza discreta de esta variable.

En la figura 7, se observan las medias marginales por grupo racial (e intervalo de confianza de 95%) para la variable SCO obtenidas a partir del modelo mixto. El grupo racial compuesto por la raza Holstein presenta un SCO de 1,93, el cual es 0,1 y 0,5 servicios mayor que la Pardo Suizo y que el cruce entre ambas razas, respectivamente.

En un estudio realizado por Vallone et al. (2014), se encontraron diferencias significativas entre todos los tipos raciales, siendo el genotipo Pardo Suizo más alto que el cruce y que la raza Holstein. En otro estudio realizado por Juárez y Marsan (2013), en Honduras, el cruce Holstein con Pardo Suizo o Jersey presentó el menor número de servicios por concepción, con un promedio de 1,95, mientras que la raza Holstein obtuvo el mayor número de servicios por concepción con un promedio de 2,63 servicios. En otro estudio realizado por Montero (2005) en Panamá, las razas Holstein y Pardo Suizo obtuvieron 1,25 servicios por concepción en promedio.

Es importante señalar que las medias marginales obtenidas del modelo mixto son considerablemente menores que las medias aritméticas reportadas en el Cuadro 1. Esto se debe a la distribución sesgada (a la derecha) que presenta la variable SCO (Figura 7). En este caso y otros semejantes (IPC y VPR), la media aritmética de la variable en escala original no es un buen estimador de tendencia central, sino que es mejor el obtenido al aplicar el inverso del logaritmo a las medias marginales resultantes del modelo mixto.

El estimado de heterosis directa para SC fue de 1,83%, en este caso desfavorable, ya que significa un aumento de servicios por concepción para el cruce Holstein y Pardo Suizo. No obstante, esta diferencia no fue significativa con respecto a las razas puras.

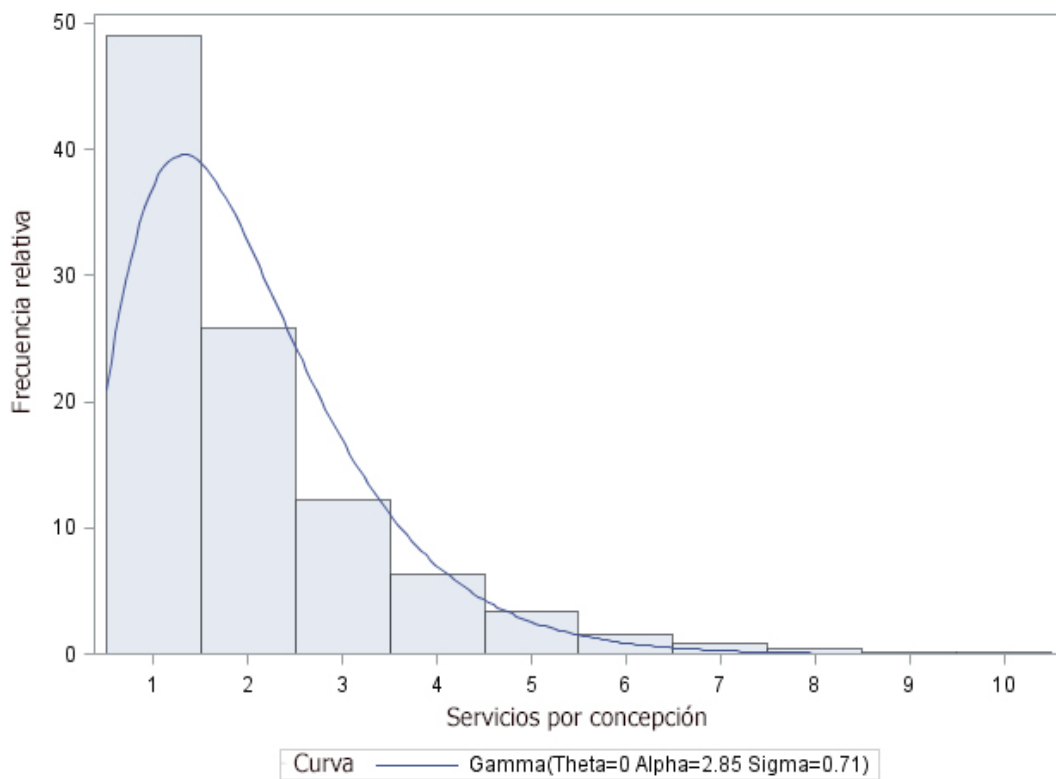


Figura 6. Histograma de variable de respuesta Servicios por Concepción con curva de ajuste por distribución Gamma.

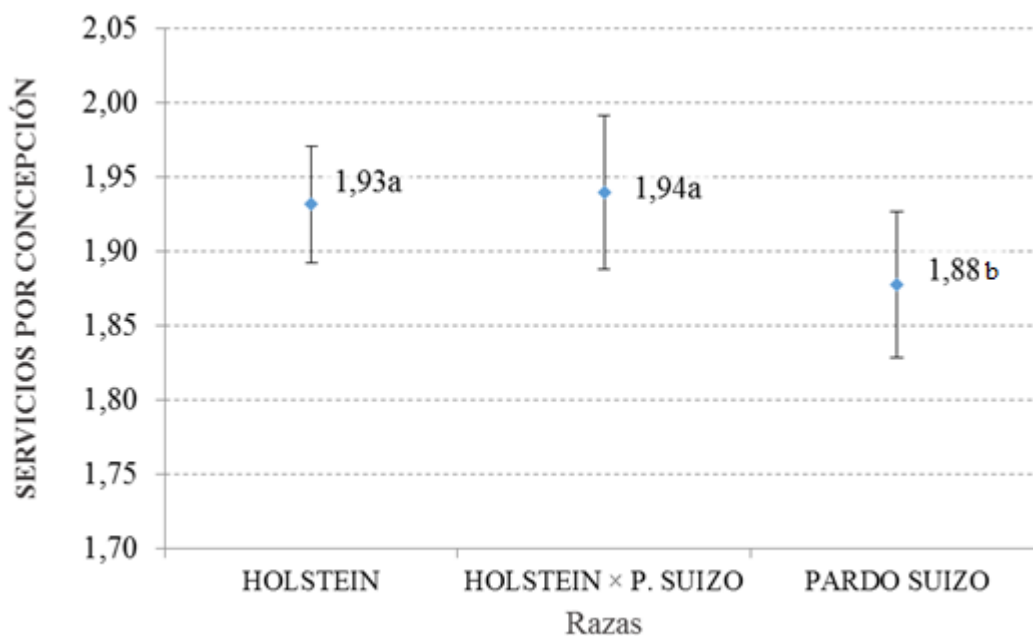


Figura 7. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Servicios por Concepción, según grupo racial.

En un estudio realizado por Lammoglia et al. (2013) se encontró que los servicios por concepción entre vacas de la raza Holstein y cruces con otras razas eran estadísticamente similares ($SCO= 2,5$), es decir no existió heterosis directa. Vega et al. (2016), no encontraron heterosis para el cruce entre las razas Holstein y Pardo Suizo. El valor encontrado (1,93) en el presente estudio, parece sugerir poco efecto de la heterosis sobre SCO, lo que concuerda con otros estudios que sugieren que para parámetros como servicios por concepción se tendrán valores de heterosis por debajo de 1% (CATIE, 1992).

Días en lactancia (DLA)

En la figura 8, podemos observar el ajuste de la distribución LogNormal para la variable días en lactancia (DLA). Aunque la curva no se ajusta con exactitud a los datos, el valor obtenido para la prueba de bondad de ajuste fue de 0,05 (Cuadro 2), siendo la distribución adecuada.

En la figura 9, se observan las medias marginales por grupo racial (e intervalo de confianza de 95%) para la variable (DLA) obtenidas a partir del modelo mixto. La raza Holstein presenta 320 días en lactancia, 3 días menos que Pardo Suizo y 2 días menos que el cruce entre ambas razas. En un estudio realizado por Vega et al. (2016), se encontró un DLA para vacas Holstein de 483 días, 321 días para la Pardo Suizo y 351 días para el cruce entre ambas, en todos los casos muy superiores a los arrojados en el presente estudio.

En un estudio realizado en Honduras por Juárez y Marsan (2013), la raza Pardo Suizo presentó mayor duración de la lactancia con 328 d, seguida por Holstein con 327 d, resultados muy similares a los obtenidos en la presente investigación. En Venezuela, Acosta et al. (1998) encontraron 302 días en lactancia para hatos con predominancia Holstein o Pardo Suizo, cruzados con Brahman o Criollo. Vargas y Cuevas (2009) reportaron 300 días en lactancia para hatos lecheros conformados por la raza Jersey en Costa Rica.

El estimado de heterosis directa para esta variable fue de solo -0,24%, con una ligera reducción (no significativa) de la duración de la lactancia en el cruce (figura 9). Este valor es similar al encontrado por Vega et al. (2015) para el cruce entre Holstein y Pardo Suizo, con un valor de -0,67%.

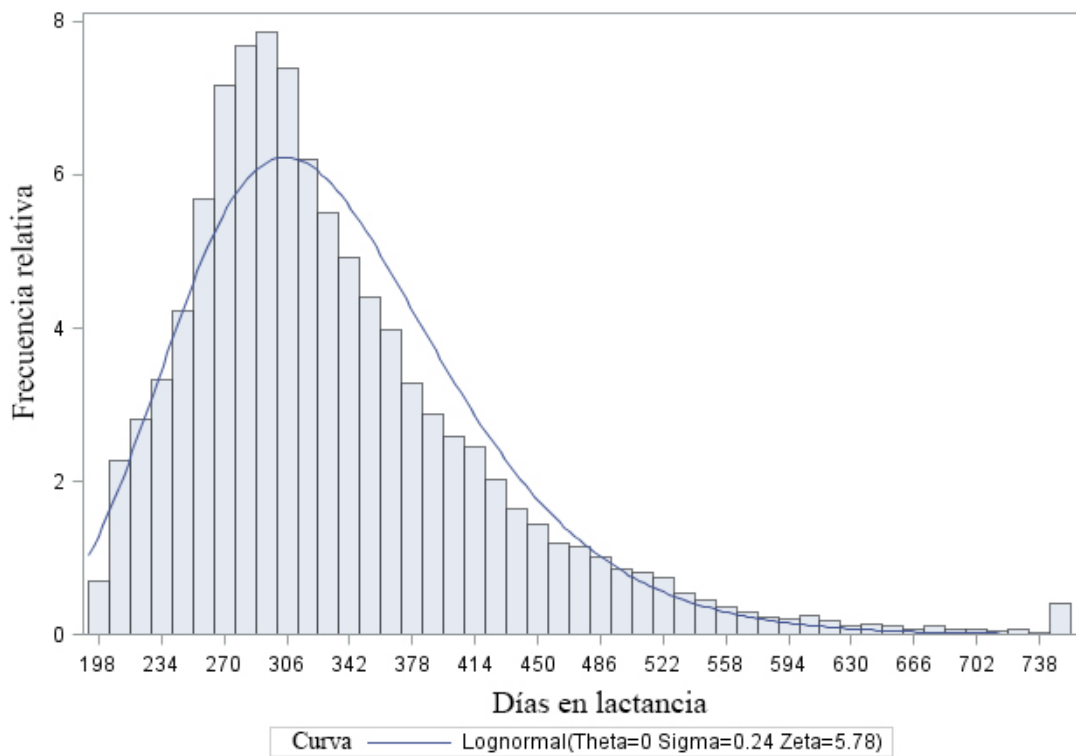


Figura 8. Histograma de variable de respuesta Días en Lactancia con curva de ajuste por distribución LogNormal.

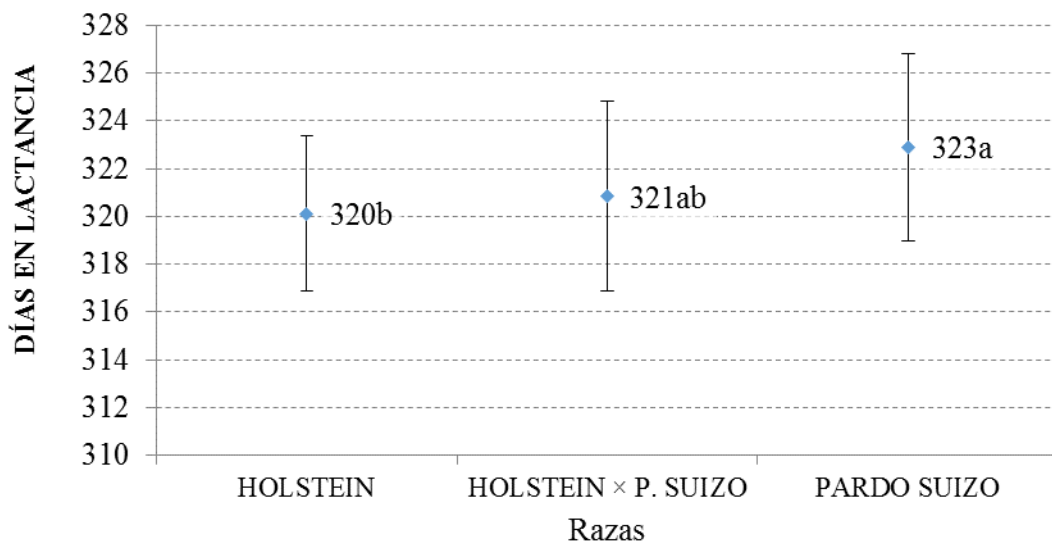


Figura 9. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Días en Lactancia, según grupo racial.

Producción corregida a 305 días (P305)

En la figura 10, podemos observar el ajuste de la distribución Gamma para la variable producción corregida a 305 días (P305). La curva se ajusta con bastante precisión a los datos y el valor obtenido para la prueba de bondad de ajuste fue de 0,05 (Cuadro 2), siendo la distribución Gamma la más adecuada.

En la figura 11, puede observarse las medias marginales por grupo racial (e intervalo de confianza de 95%) para la variable P305 obtenidas a partir del modelo mixto. La raza Holstein presenta una producción corregida a los 305 días de 4 980 kg, 386 kg mayor que Pardo Suizo y 134 kg mayor que el cruce entre ambas razas. Las diferencias fueron significativas ($P < 0,05$) entre los 3 grupos raciales estudiados.

En un estudio realizado por Vargas y Ulloa (2008) se encontró mayor producción para la raza Holstein con 5 400 kg, seguida por el cruce Holstein×Pardo Suizo con 4 700 kg, y la raza Pardo Suizo con 4 400 kg. En otro estudio realizado por Moncayo (2004) las composiciones raciales que presentaron mejor producción corregida a los 305 días fueron las que tenían más del 50% Holstein, con una producción de 5 892 kg, similar a la composición 7/8 Holstein 1/8 Pardo Suizo y a la composición 6/8 Holstein 2/8 Pardo Suizo con 5 866 kg y 5 596 kg, respectivamente; y mayor a la demostrada por los cruces con 50% o más de Pardo Suizo que presentaron medias menores a 5 596 kg. Cedeño y Vargas (2004) reportaron una P305 de 5 377 kg en la raza Holstein, 5 463 kg para Holstein×Pardo Suizo, y 5 066 kg para la raza Pardo Suizo.

El estimado de heterosis directa para P305 en el presente estudio fue de 1,21%, favorable ya que implica un aumento de la producción del cruce con respecto al promedio de las razas parentales. Cabe señalar sin embargo que la producción del cruce no supera la producción de la raza pura Holstein. López et al. (2009) reportaron un estimado de heterosis de 0,28% para el mismo cruce, favorable, pero de magnitud baja.

Según Magofke y González (2010), el cruzamiento ofrece mayores ventajas que la utilización de animales puros, lo que concuerda con los resultados observados para las variables EPP, IPC, P305 con respecto a la PS y, IPC y DLA con respecto a la raza Holstein, pero desfavorecedor en las demás variables.

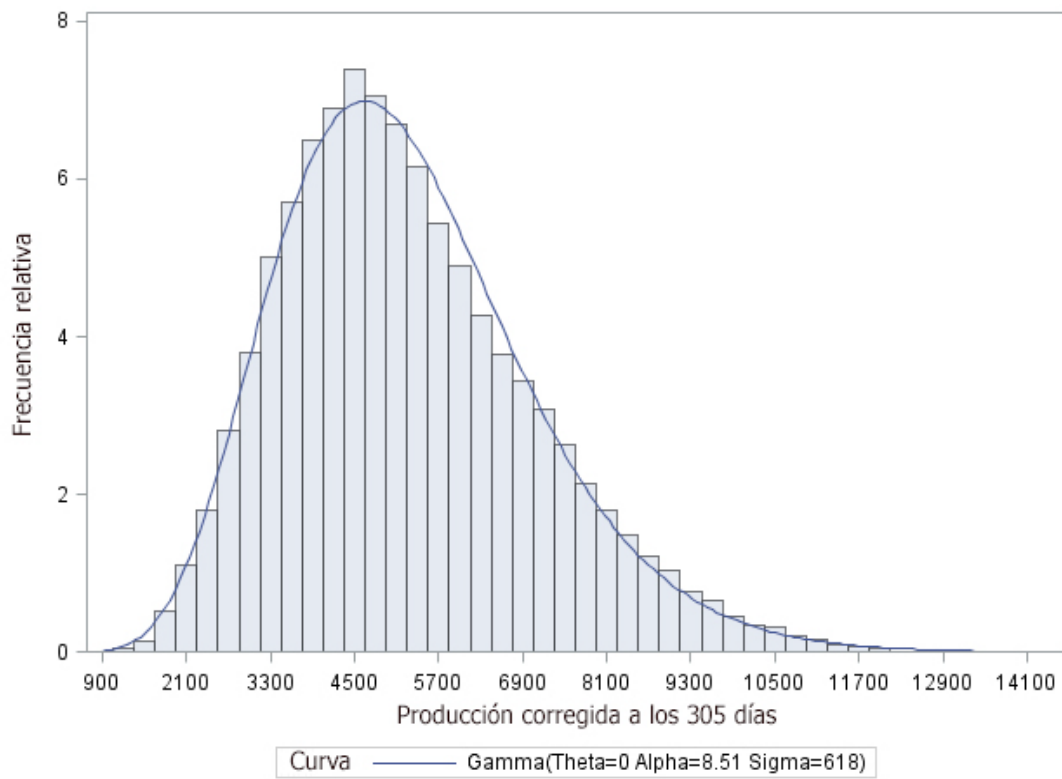


Figura 10. Histograma de variable de respuesta Producción Corregida a los 305 días (kg) con curva de ajuste por distribución Gamma.

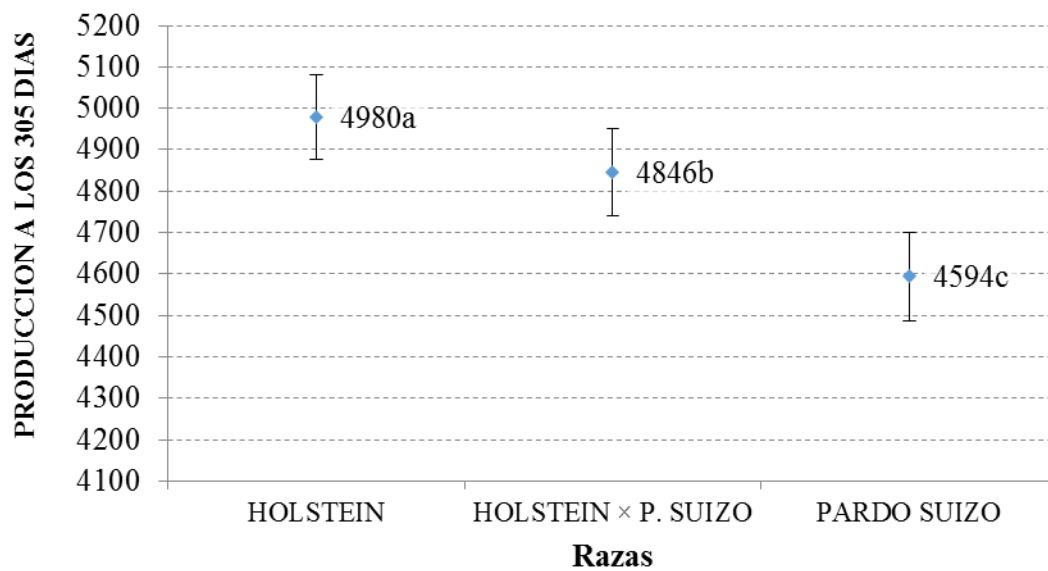


Figura 11. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para Producción Corregida a 305 d. (kg), según grupo racial.

Vida Productiva (VPR)

En la figura 12, podemos observar el ajuste de la distribución Gamma para la variable vida productiva (VPR). Aunque la curva no se ajusta con exactitud a los datos, el valor obtenido para la prueba de bondad de ajuste fue de 0,38 (Cuadro 2), siendo la distribución más adecuada para esta variable.

En la figura 13, se observan las Medias Marginales por grupo racial (e intervalo de confianza de 95%) para la variable (VPR) obtenidas a partir del modelo mixto. La raza Holstein presenta una vida productiva de 36,4 meses; 1,12 meses menor que la Pardo Suizo y 2,60 meses menor que el cruce entre ambas razas. La única diferencia significativa se observó entre la raza Holstein y el cruce Holstein×Pardo Suizo. Nuevamente se observa que las medias marginales son menores a las aritméticas reportadas en el Cuadro 1, debido al sesgo que presenta la variable.

En un estudio por Cedeño y Vargas (2004), se reportó una vida productiva esperada de 46,3 meses para la raza Holstein, 41,4 meses para la raza Pardo Suizo y 49,8 meses para un cruce Holstein×Pardo Suizo, similares a las medias aritméticas reportadas en el Cuadro 2. Otro estudio mencionó que la raza Holstein fue la de menor vida productiva, con un estimado de 33,6 meses, superada por la raza Pardo Suizo con 34,8 meses, pero superada por el cruce entre ambas razas, con un promedio superior de 38,4 años (Vargas y Romero, 2010).

El estimado de heterosis directa obtenido para VPR fue de 1,51%, favorable, pero de baja magnitud. Vargas y Romero (2010) reportaron un porcentaje de heterosis directa para VPR mucho más alto (12,03%). Es importante mencionar que la edad de descarte puede ser afectada por múltiples factores, por lo tanto, puede ser reducida mediante cambios en las condiciones ambientales o de manejo (Vargas et al., 2001).

Uno de los factores más importantes que influye sobre la vida productiva, es el nivel de producción de leche. Las vacas altamente productoras, permanecen más tiempo en el hato que las de baja producción. La producción en la primera lactancia tiene una alta correlación genética con la longevidad; Esta alta correlación puede explicarse por dos razones, primero, si la vaca tiene buena producción debe tener buena conformación física y segundo, las vacas de baja producción son descartadas a edad temprana (Ochoa, 1991).

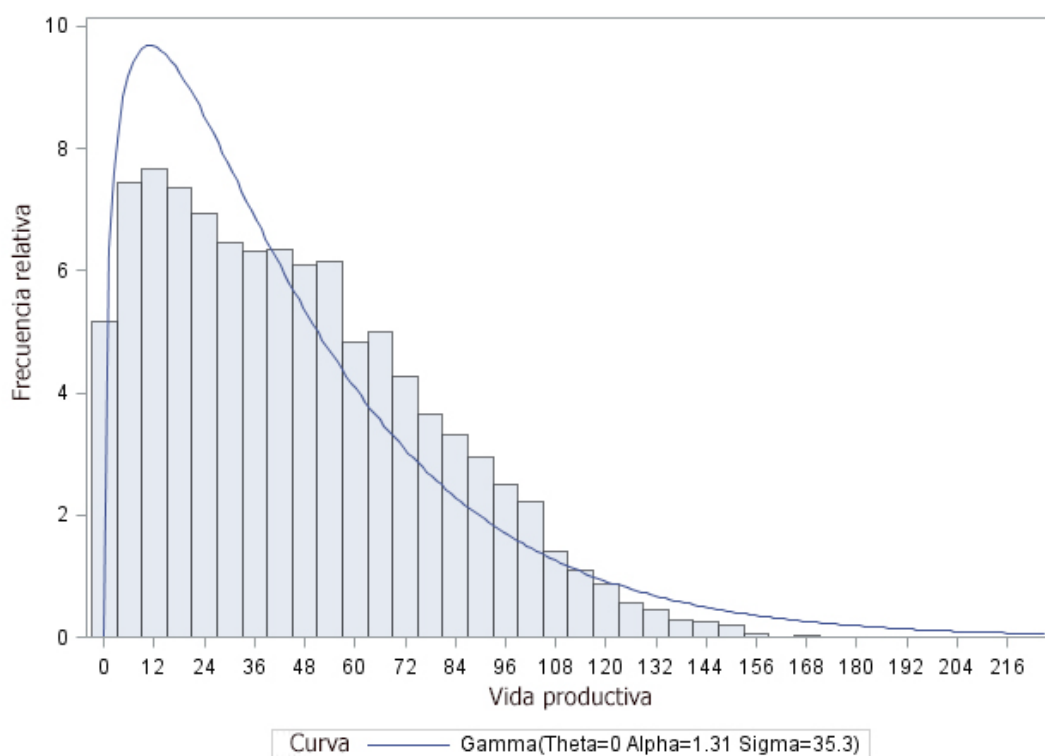


Figura 12. Histograma de variable de respuesta Vida Productiva (meses) con curva de ajuste por distribución Gamma.

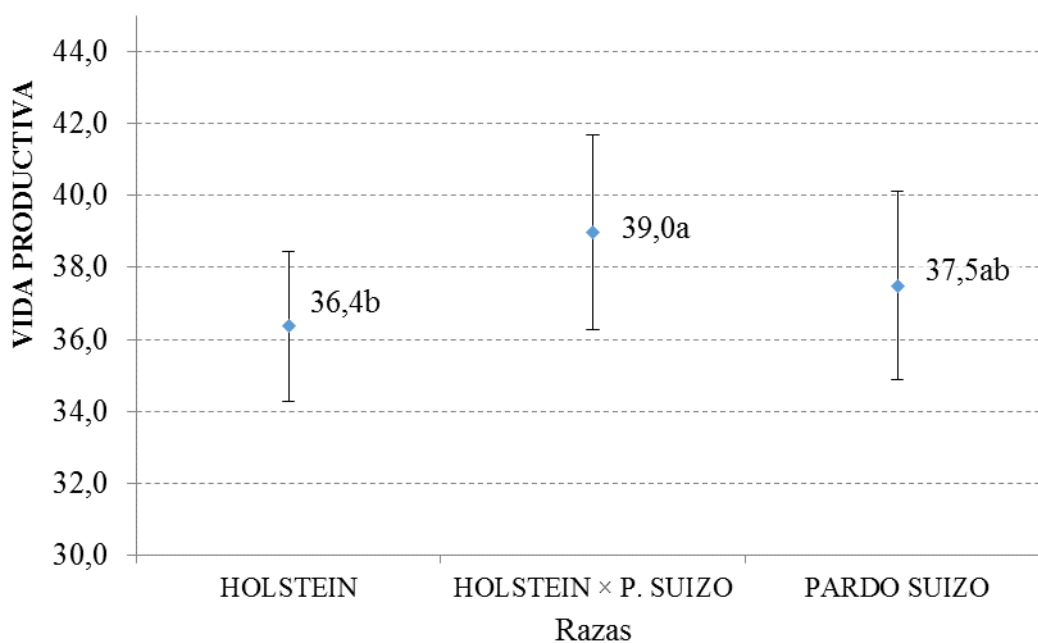


Figura 13. Medias Marginales (con intervalos de confianza de 95%) para la variable Vida Productiva (meses), según grupo racial.

CONCLUSIONES

En la población analizada se observó que la raza Holstein presentó mejores resultados para las variables IPC y P305, mientras que la raza Pardo Suizo resultó más sobresaliente en los parámetros SCO, VPR y DLA.

En términos generales, los resultados sugieren que pueden esperarse efectos positivos pero moderados de la heterosis en cruces Holstein × Pardo Suizo para la zona estudiada.

En cuanto a las variables reproductivas, se observó un efecto favorable de heterosis para edad a primer parto e intervalo entre parto y concepción; mientras que para la variable servicios por concepción se observó un aumento de servicios (no significativo) en el cruce entre las razas Holstein y Pardo Suizo.

En cuanto a las variables productivas, se observó un efecto favorable de heterosis sobre las variables de producción corregida a los 305 días y vida productiva; mientras que para la variable días en lactancia no se observaron diferencias significativas entre los tres grupos raciales.

De acuerdo con los resultados la introducción de la raza Holstein a los hatos de la provincia de Chiriquí que cuenten con ganado de la raza Pardo Suizo podría ser favorable, ya que en general se obtuvieron efectos positivos en las principales variables de rendimiento.

Los bajos estimados de heterosis obtenidos en el presente estudio pueden deberse en parte a la conformación tan diversa del cruce Holstein×Pardo Suizo, el cual incluye animales con predominancia Holstein o Pardo Suizo. En estos animales es de esperar que el efecto de heterosis sea menor, a causa del fenómeno de la recombinación (Dechow et al. 2007). Por otra parte, debe mencionarse que no existe plena certeza en las composiciones raciales de los animales, ya que el estudio se basa en la información reportada por los propietarios.

Cuando la información disponible sea suficiente, es importante realizar evaluaciones que integren otras razas. Asimismo, sería importante considerar aspectos bioeconómicos incorporando análisis de costo y beneficio.

El uso de modelos mixtos lineales generalizados para el análisis de variables productivas y reproductivas es altamente recomendable, ya que estas variables presentan diferentes distribuciones, que en algunos casos solo puede ser ajustado de manera más válida y precisa por este tipo de modelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, H. y M. El-Tarabany. 2014. Reproductive Performance of Holstein, Brown Swiss and Their Crosses under Subtropical Environmental Conditions with Brief Reference to Milk Yield. *Global Veterinaria*. 13: 836-843.
- Ariza, C. 2007. Análisis productivo y reproductivo de un hato lechero. Tesis Ing., Corporación Universitaria Lasallista, Antioquia, Colombia.
- Bourdon, R.M. 1997. *Understanding animal breeding*. Prentice Hall, USA.
- Caraviello, D. 2004. Cruzamientos en el ganado lechero. Informe Técnico. Instituto Babcock Universidad de Wisconsin, EEUU.
- Casanova, D., M. Schneider, C. Andere, E. Rodríguez, N. Rubio, M. Juliarena, C. Díaz, y M. Carabaño. 2011. Análisis de la longevidad funcional de la raza Holando argentino. *Revista Taurus*.13:21-29.
- Casell, B., y J. McCallister. 2007. *Dairy Crossbreeding: Why and How*. Dairy Guidelines no. 404093 Virginia Cooperative Extension 5.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1992. Reunión técnica sobre la conservación para el desarrollo de los recursos genéticos animales en América Latina. Informe Técnico. CATIE, Costa Rica.
- Cedeño, D. y B. Vargas. 2004. Optimización de políticas de descarte en ganado bovino lechero de Costa Rica. *Arch. Zootec*. 53:249-260.
- Contreras, G., S. Zambrano, y M. Pirela. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas mestizas Criollo Limonero x Holstein. Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 1:15-18.
- Daniel, W.W. 2009. *Biostatistics a Foundation for analysis in the Health Sciences*. Wiley, USA.
- Dechow, C., D. Rogers, G. Cooper, J. Phelps, y A. Mosholder. 2007. Milk, Fat, Protein, Somatic Cell Score, and Days Open Among Holstein, Brown Swiss, and Their Crosses. *J. Dairy Sci*. p. 90:3542–3549.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), y FEPALE (Federación Panamericana de Lechería). 2012. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011. Informe Técnico. FAO, Chile.

- Fohrman, M.H., R.E. McDowell, C.A. Matthews, y R.A. Hilder. 1954. A crossbreeding experiment with dairy cattle. Tech. Bull, 1074. USDA, Washington, DC
- Herrera, J. 2011. Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares. SAGARPA. México. www.sagarpa.gob.mx/sistema. (consultado: 14 Dic. 2015).
- Lammoglia, M., J. García, J. Murillo, M. Alarcón, A. Cabrera, A. Gutiérrez, y I. Rentería. 2013. Rendimientos productivos y reproductivos de vacas lecheras en el primer cruzamiento rotativo en el altiplano del centro de México. Vet. Mex., 44:17-22.
- López, R., H. Castillo, y H. Montaldo. 2009. Covarianzas genéticas y fenotípicas para días abiertos y características de la curva de lactancia en vacas Holstein en el norte de México. Vet. Méx., 40: 343-356.
- Madalena, F. 2001. Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos bovinos. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 9:108-117.
- Marín, Y. 2012. Efecto bioeconómico de la heterosis sobre rasgos productivos y reproductivos en cruces entre razas lecheras de costa rica. Tesis Maestría, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Magofke, J., y H. González. 2010. Destinos de vientre F1 en sistema de lechería grado A en Pastoreo. Universidad de Chile. Departamento de producción Animal. www.uchile.cl/.../destino-de-los-vientres-f1-en-un-sistema-de-produccion-de-leche-a (consultado: 21 de Sep. 2016).
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2011. Panorama del sector lechero nacional y avances de la cadena agroalimentaria de la leche. Informe Técnico. MIDA, Panamá.
- Noordhuizen, J.P.T.M., y J. Buurman. 1984. Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP): The application of MUMPS for data processing. Vet. Q. 6: 66-72.
- Ochoa, P. 1991. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. Vet. Mex., 5:67-85.
- Ortiz, J., T.O. García, y T.G. Morales. 2005. Manual para el manejo de bovinos productores de leche. Secretaria de la Reforma Agraria, México.

- Pérez, E., M. Baayen., E. Capella, y H. Barken. 1989. Develoipmenet of livestock information system for Costa Rica. En: H. Kuil, R. Palin y J. Huhn Editors. Livestock production and diseases in the tripics. Proc. IV Internl. Coof. Inst. Trop. Vet. Med. Utrecht. The Netherlands. p. 221-224.
- Pérez, E. 2002. La situación de la ganadería en Centroamérica. FAO. Costa Rica. http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6366s/x6366s03.htm#P0_0 (consultado: 22 Nov. 2015).
- Rincon, E., E. Schermerhorn, R.McDowell, y B. McDaniel, 1982. Estimation of genetic effect on milk yield and constituent traits in crossbred dairy cattle. J. Dairy Sci., 64:848-856.
- Salazar, M., G. Castillo, J. Murrillo, F. Hueckmann, y J. Romero. 2013. Edad al primer parto en vacas Holstein de lechería especializada en Costa Rica. Agron. Mesoam. 24:233-243.
- Swan, A., y B. Kinghorn. 1992. Evaluation and explotation of crossbreeding in dairy cattle J. Dairy Sci 75:624-639.
- Vallone, R., E. Camiletti, M. Exner, W. Mancuso, y P. Marini. 2014. Análisis productivo y reproductivo de vacas lecheras Holstein, Pardo Suizo y sus cruzas en un sistema a pastoreo. Rev. Vet. 25:1.
- Vargas, B., y J. Romero. 2010. Efectos genéticos aditivos y no aditivos en cruces rotacionales Holstein×Jersey y Holstein×Pardo Suizo. Agron. Mesoam. 21:223-234.
- Vargas, B., y J. Ulloa. 2008. Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. Livestock Research for Rural Development 20 (7). <http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm> (consultado: 18, Oct. 2015).
- Vega, M., R. Calderón, U. Ríos, B. Montaña, P. Román, y V. Martínez. 2015. Efectos genéticos directos, maternos y de heterosis para características productivas para un dialelo con Holstein y Suizo Pardo en clima subtropical húmedo. México. p.216-218.
- Vilela, J. 2014. Mejoramiento Genético en animales domésticos. Macro. E.I.R.L, Lima-Perú.

CAPÍTULO II

**Estimación de tendencias genéticas para producción de leche
en ganado lechero de la región de Chiriquí, Panamá.**

Aníbal Melquisedec Sánchez Serracín

RESUMEN

En este estudio se estimaron las tendencias genéticas y fenotípicas para producción de leche por lactancia (P305) y consanguinidad en las poblaciones de razas Holstein y Pardo Suizo de la provincia de Chiriquí, República de Panamá. Se utilizó un modelo animal multirracial que incluyó el hato-año-época, hato-semental, ambiente permanente, animal y el error residual como efectos aleatorios. Los estimados de heredabilidad y repetibilidad para P305 fueron 0,17 (D.E 0,01) y 0,39 (D.E 0,01), respectivamente. El estimado de incremento fenotípico anual para P305 fue de 113,04 kg ($P < 0,001$) para Holstein, mientras que para las razas Pardo Suizo y el cruce entre Holstein×Pardo Suizo no se obtuvo incrementos significativos. El incremento genético anual para P305 se estimó en 31,4 kg ($P < 0,001$) para la raza Holstein, mientras que para los otros dos grupos tampoco se obtuvieron estimados significativos. El promedio de consanguinidad fue 0,005% (D.E 0,0016) para la población total y 1,84% (D.E 0,028) entre animales con consanguinidad mayor a cero. El incremento anual en consanguinidad fue bajo y se estimó en 0,03% y 0,01% para Holstein y Pardo Suizo, respectivamente. El valor de cría promedio fue de +246 kg (D.E 429 kg) mientras que la confiabilidad promedio fue de 0,58 (D.E 0,08). Estos resultados indican que ha existido un mejoramiento sostenido en producción de leche de vacas Holstein de Panamá durante las últimas 2 décadas, no así en la raza Pardo Suizo. La contribución genética a este mejoramiento es menor a la contribución ambiental y muestra tendencias a la reducción.

Palabras clave: Tendencias genéticas, consanguinidad, Holstein, Pardo Suizo, Habilidad de Transmisión Predicha.

ABSTRACT

In this study, the genetic and phenotypic trends for milk production by lactation (P305) and inbreeding trends in the Holstein and Pardo Swiss breeds of the province of Chiriquí, Republic of Panama were estimated. A multiracial animal model was used that included the herd-year-season, herd-sire, permanent environment, animal and residual error as random effects. The estimates of heritability and repeatability for P305 were 0.17 (D.E 0.01) and 0.39 (D.E 0.01), respectively. The estimated annual phenotypic increase for P305 was 113.04 kg ($P < 0.001$) for Holstein, whereas for the Brown Swiss races and the cross between Holstein×Brown Swiss, no significant increases were obtained. The annual increment in breeding values for P305 was estimated at 31.4 kg ($P < 0.001$) for the Holstein breed, while for the other two groups no significant estimates were obtained either. The average inbreeding was 0.005% (D.E 0.0016) for the total population and 1.84% (D.E 0.028) among animals with inbreeding greater than zero. The annual increase in inbreeding was low and was estimated at 0.03% and 0.01% for Holstein and Brown Swiss, respectively. The average breeding value was +246 kg (D.E 429 kg) while the average reliability was 0.58 (D.E 0.08). These results indicate that there has been a sustained improvement in milk production of Holstein cows from Panama during the last 2 decades, but not in the Brown Swiss breed. The genetic contribution to this improvement is less than the environmental contribution and shows tendencies to reduction.

Key words: Genetic trends, inbreeding, Holstein, Brown Swiss, Transmission Prediction.

INTRODUCCIÓN

El propósito del mejoramiento genético es seleccionar individuos sobresalientes dentro de una población con el fin de obtener mayores rendimientos en futuras generaciones (Bourdon, 1997). El mejoramiento genético tiene por objetivo aumentar la productividad de los animales mediante el uso de variación genética, lo que ha permitido que se alcancen las metas y se mantengan a lo largo del tiempo. El principio del mejoramiento genético se concentra en el cambio genético de una población y no solo de un individuo, sin embargo, este proceso no resulta fácil, ya que la mayoría de características de interés económico están determinadas por una gran cantidad de genes (Vilela, 2014).

Para implementar un buen sistema de selección es necesario conocer la magnitud de las diferencias en superioridad de los progenitores que puede ser transmitida a su progenie (Castro, 2010); es decir, la proporción de ellas que es debida a efectos de genes; esta proporción es estimada mediante el índice de heredabilidad (h^2) (Simm, 1998). Las variaciones en una población de animales que pueden transmitirse de generación en generación son de tipo genético, por lo que el valor de heredabilidad es el mejor indicador del mejoramiento genético que puede lograrse mediante selección (Castro, 2010).

En la evaluación genética es necesario corregir previamente por fuentes de variación ambiental que influyen sobre las características de importancia económica (Valencia et al., 2000). Estas correcciones permiten reducir el error de las comparaciones entre animales y aumentar la precisión de los valores genéticos predichos. Los principales factores ambientales que influyen sobre la producción de leche en bovinos son la edad o número de parto, la época de parto, el año de parto, el efecto del hato y el número de ordeños (Valencia et al., 2000). Varios de estos factores actúan en forma conjunta produciendo interacciones.

La producción de leche, entre otras características de importancia económica, cuenta con heredabilidades relativamente bajas con un rango que oscila entre 18% y 25%, lo que dificulta la creación de un programa de mejoramiento eficaz (Ochoa, 1991; Vélez et al., 2014). No obstante, en las razas Holstein y Pardo Suizo en USA, durante los últimos 30 años, se ha logrado un incremento anual en valores de cría para producción de leche por lactancia de 78 y 64 kg, respectivamente (CDCB, 2016). En

otro estudio en Costa Rica realizado por Vargas y Gamboa (2008), se encontraron tendencias ambientales y genéticas positivas, pero de menor magnitud, para la producción de leche de razas lecheras. En dicho estudio la proporción atribuible a mejoramiento genético es baja en relación al incremento fenotípico. Es probable que esto se deba a que no existen programas formales de mejoramiento genético, y no ha existido control sobre el material genético que se importa ni sobre la forma en que se utiliza (Vargas y Gamboa, 2008). Datos de los últimos diez años indican un incremento anual en el valor de cría de 6,4 y 1,2 kg para las razas Holstein y Pardo Suizo, respectivamente, en Costa Rica (Vargas, 2015a).

Una consecuencia indeseable de los programas de mejoramiento genético basados en selección es el aumento en la consanguinidad. Cuanto más cercano sea el parentesco entre los animales apareados, mayor será la consanguinidad en la progenie resultante (Fernández, 2005). El rápido progreso genético, resultado de selección de animales superiores y el uso de la inseminación artificial, han dado lugar a aumentos en los niveles de consanguinidad, con efectos negativos sobre características productivas y reproductivas (Pacheco et al., 2010). Se ha estimado que cada 1% de aumento en consanguinidad, hay una reducción de 8,86 kg de leche por lactancia (Pacheco et al., 2010). Para el periodo entre 1987 y 2016 el incremento anual en consanguinidad de las vacas Holstein y Pardo Suizo participantes en el programa de mejoramiento genético en USA fue de 0,15 y 0,16%, respectivamente, y los índices de consanguinidad de hembras nacidas en el año 2016 fue de 6,84 y 6,89%, valores que se consideran muy altos (CDCB, 2016).

En Panamá, no existe un programa de mejoramiento genético formal para ganado bovino lechero. No obstante, durante las últimas décadas los productores lecheros han realizado importaciones continuas de material genético con el fin de mejorar el nivel productivo de sus hatos. Es importante determinar si esta estrategia ha tenido efectos positivos a nivel genético. El objetivo del presente estudio es evaluar las tendencias genéticas para producción de leche en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP localizados en la provincia de Chiriquí (Panamá).

MATERIAL Y MÉTODOS

Edición y selección de la información

La información para el presente estudio se obtuvo de la base de datos del Centro Regional de Informática para la Producción Animal Sostenible (CRIPAS) (Pérez et al., 1989) y la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica. Se utilizó la información disponible del periodo transcurrido entre los años 1987 y 2015.

Estos registros fueron almacenados en el programa de cómputo VAMPP (Noordhuizen y Buurman, 1984). Dichos registros no se colectaron por medio de un programa oficial de control lechero, sino que fueron obtenidos del monitoreo realizado por los mismos productores en sus explotaciones.

Se obtuvieron los archivos de datos en formato ASCII conteniendo todas las variables concernientes al presente estudio, principalmente: variables del hato (identificación y zona agroecológica) y variables de las hembras bovinas (identificación y genealogía, tipo racial, fechas de nacimiento y partos, producción total y producción corregida).

Evaluación genética para producción de leche corregida a los 305 días

Se realizó un análisis con el fin de evaluar cuáles han sido las tendencias genéticas para producción de leche corregida a los 305 días (P305), en los hatos lecheros usuarios de VAMPP en Panamá, específicamente en la provincia de Chiriquí.

Inicialmente, se realizó una estimación de los componentes de varianza y los parámetros genéticos de heredabilidad (h^2) y repetibilidad (r) para producción de leche. El modelo utilizado para la estimación de componentes de varianza fue un modelo animal multirracial con repetibilidad (Wiggans et al., 1988; Van Raden et al., 2007) según se especifica a continuación:

$$Y = u + HAE + GRAZ + LAXED + an + hs + pe + e \quad [1]$$

Dónde:

Y = Producción de leche corregida a 305 d (P305). Estimado de kg de leche producidos a 305 d de lactancia. Esta producción se obtuvo a partir de registros diarios de leche utilizando procedimientos de interpolación y proyección de lactancias, así como ajuste por varianzas heterogéneas, según se describe en Vargas (2015b).

μ = Intercepto (Media general),

HAE = Efecto aleatorio del grupo contemporáneo, conformado por clases combinadas de hato, año y época de nacimiento de la vaca. Se requirió un mínimo de 5 partos disponibles para cada HAE. En caso de no cumplir con este mínimo, se reunieron HAE adyacentes hasta llegar al número requerido.

$GRAZ$ = Efecto genético aditivo fijo de grupo racial, clasificado en tres categorías: Holstein, Pardo Suizo y el cruce entre ambos (H×PS), que aglomeró los tipos raciales: H4PS4, H5PS3, H6PS2, H7PS1, PS5H3, PS6H2 y PS7H1. En los animales cruzados, se realizó un pre-ajuste de P305 para segregar el efecto de heterosis (Van Raden et al., 2007). El ajuste fue proporcional al nivel de heterosis esperado según la composición racial, utilizando como base un valor de +100 kg (capítulo 1, esta tesis) para el grupo de máxima heterosis (H4PS4).

$LAXED$ = Efecto fijo formado por clases combinadas de número de lactancia (1 hasta ≥ 5) y edad en años (2 hasta ≥ 8) de la vaca.

an = Efecto genético aditivo de la vaca, ligado a la genealogía.

hs = Efecto aleatorio de la interacción de hato×semental.

pe = Efecto aleatorio del ambiente permanente ligado a mediciones repetidas de PC305 en una misma vaca.

e = Error residual aleatorio.

Este modelo fue resuelto utilizando el programa ASREML (Gilmour et al., 2009). Paralelamente, se construyó un archivo de genealogías ligado al efecto de la vaca en el modelo [1]. Este archivo fue obtenido a partir de la información disponible en la base de datos VAMPP incluyendo los animales (presentes o descartados, con o sin registros de

producción) y sus ancestros conocidos (paternos y maternos) abarcando hasta un máximo de 10 generaciones.

Estimación de parámetros genéticos

A partir del modelo anterior se obtuvieron estimados de componentes de varianza para efectos aleatorios, utilizando un procedimiento iterativo basado en gradientes analíticas. Posteriormente se calcularon los parámetros genéticos de heredabilidad (h^2) y repetibilidad (r), utilizando las siguientes fórmulas:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_F^2} \quad [2]$$

$$r = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2}{\sigma_F^2} \quad [3]$$

Dónde:

h^2 = Índice de heredabilidad,

r = Índice de repetibilidad,

σ_a^2 = Varianza genética aditiva,

σ_{pe}^2 = Varianza atribuida a ambiente permanente,

σ_F^2 = Varianza Fenotípica.

Adicionalmente, a partir del modelo [1] se obtuvieron los valores de cría (BLUP, equivalentes a valores de cría) para todos los individuos dentro de la población. Los valores de cría fueron expresados como desviaciones con respecto al promedio de una población de referencia que estuvo constituida por todas las vacas nacidas en el año 2000.

Para cada valor de cría se calculó además un estimado de *confiabilidad* (o *exactitud*) mediante la fórmula:

$$Conf_i = \sqrt{\left(1 - \frac{s_i^2}{(1 + F_i)\sigma_A^2}\right)} \quad [4]$$

Dónde:

$Conf_i$ = Valor de confiabilidad para el BLUP del i-ésimo individuo,

s_i = Error estándar reportado para el BLUP del i-ésimo individuo,

F_i = Coeficiente de consanguinidad del i-ésimo individuo,

σ_A^2 = Varianza genética aditiva obtenida a partir de la matriz de parentescos.

Se realizó además un análisis para evaluar las tendencias fenotípicas y genéticas para P305 dentro de la población analizada. Se utilizó un procedimiento de regresión dentro de cada grupo racial, con los promedios anuales de P305 (tendencia fenotípica) y valores de cría (tendencia genética) como variables de respuesta y los años de nacimiento como variable predictora. A partir de este análisis se evaluó la significancia estadística de los coeficientes de regresión, que se interpretan como la magnitud de cambio observado en valores de cría por año transcurrido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tendencias fenotípicas para P305

Una vez realizados los procedimientos de edición y la aplicación de los criterios de selección se obtuvo un total de 46 869 registros de producción de leche a 305 d procedentes de 15 640 vacas en 966 grupos contemporáneos (Hato/año/época) y 45 categorías combinadas de raza (3), lactancia (6) y edad (8). Todos los hatos evaluados se encuentran en la provincia de Chiriquí, en su gran mayoría dentro de la zona de vida denominada bosque muy húmedo premontano (bmh-p). El promedio general de P305 en esta población fue de 5 396 kg (D.E 2 132 kg). Los promedios por raza fueron 5 660 kg (D.E 1 987), 4 895 kg (1 930) y 4 591 kg (D.E 1 341) para Holstein, Holstein×Pardo Suizo y Pardo Suizo, respectivamente.

En la figura 1, se observa la tendencia para P305 por grupo racial en función del año de nacimiento (1987-2014). Se aprecia una tendencia creciente para la raza Holstein, mientras que los otros dos grupos no parecen mostrar cambios marcados. En Holstein, el incremento estimado de acuerdo a la ecuación lineal de tendencia es de 113 kg ($P<0,001$) por lactancia por año con un R^2 de 90%.

El incremento observado en la raza Holstein es similar al reportado por estudios realizados en Costa Rica sobre la misma raza, donde encontraron incrementos de 111 kg/año ($P<0,001$; Vargas y Solano, 1995) y 97,1 kg/año ($P<0,001$; Vargas y Gamboa, 2008). En USA, durante los últimos 30 años, se ha logrado un incremento anual de 140 y 129 kg por lactancia por año, en las razas Holstein y Pardo Suizo, respectivamente (CDCB, 2016). Incrementos menores fueron reportados por Rosales y Tewolde (1993), en un estudio realizado en México, donde encontraron tendencias fenotípicas positivas con promedio de incremento anual de 72,0 kg ($P<0,001$).

El incremento fenotípico integra la mejora que ha existido tanto a nivel genético como ambiental. Los resultados indican que en las fincas de Chiriquí se ha logrado un incremento fenotípico considerable en el nivel productivo de la raza Holstein, no así en la raza Pardo Suizo o en el cruce entre ambas.

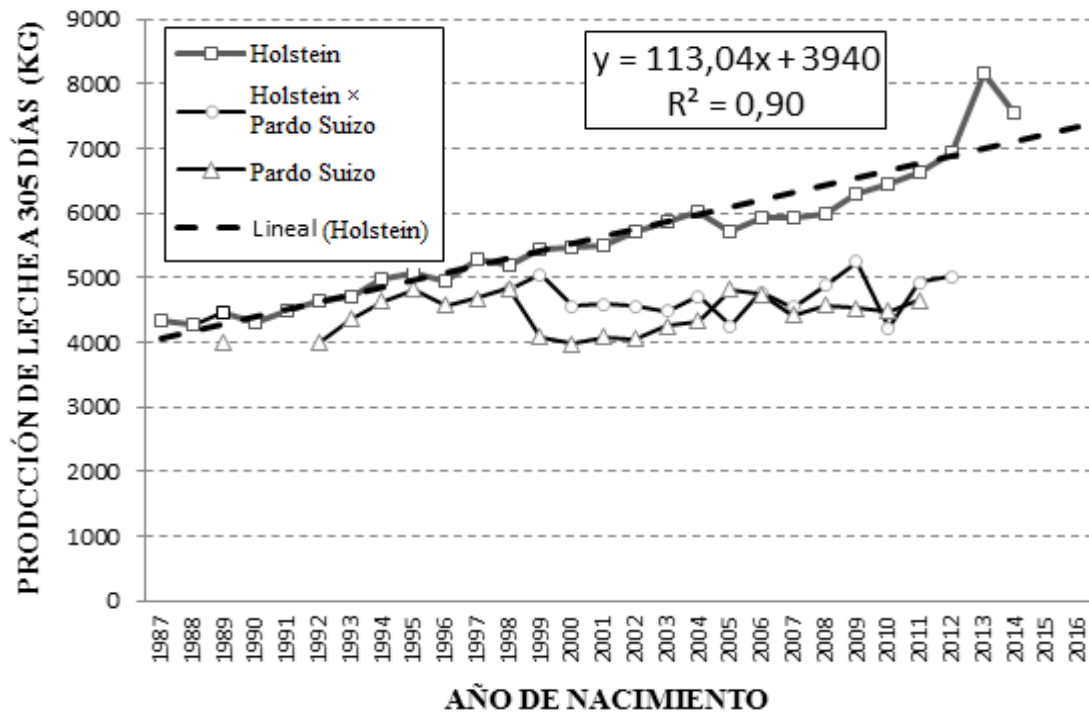


Figura 1. Tendencia en Producción corregida a los 305 días para las razas Holstein (con ajuste por ecuación lineal), Pardo Suizo y su cruce.

Componentes de varianza para P305

El procedimiento iterativo para el cálculo de componentes de varianza convergió satisfactoriamente. En el cuadro 1, se observan los valores obtenidos y los parámetros genéticos (h^2 y r) derivados a partir de estos componentes de varianza.

Cuadro 1. Componentes de varianza, heredabilidad y repetibilidad para producción de leche por lactancia en ganado lechero de la provincia de Chiriquí, Panamá.

Componente	n	Varianza	Proporción+e.e*
Hato × Semental (<i>his</i>)	2 629	78 580	0,03(0,004)
Ambiente permanente (<i>pe</i>)	15 640	564 770	0,22 (0,011)
Animal (<i>an</i>)	41 449	430 693	0,17(0,012)
Residual (<i>e</i>)		1 501 777	0,58(0,006)
Total (Varianza fenotípica- <i>VF</i>)		2 575 820	-
Heredabilidad ($h^2 = an/VF$)			0,17 (0,012)
Repetibilidad ($r = (an+pe)/VF$)			0,39 (0,006)

*Varianza del componente respectivo expresado como proporción de la varianza fenotípica total y su error estándar respectivo

Los estimados de heredabilidad (h^2) y repetibilidad (r) fueron de 0,17 y 0,39 respectivamente. Estos estimados son ligeramente menores a los reportados por un estudio realizado por Vargas y Gamboa (2008) en Costa Rica, quienes obtuvieron estimados de h^2 y r de 0,19 (D.E \pm 0,021) y 0,44 respectivamente, para producción corregida a los 305 días en vacas de la raza Holstein de Costa Rica. Los valores de este estudio son mucho menores a los encontrados por Vargas y Solano (1995), quienes obtuvieron estimados de h^2 y r de 0,36 y 0,46 respectivamente. En otro estudio realizado en México se reportaron valores de heredabilidad y repetibilidad de 0,28 y 0,40, respectivamente (Ríos et al., 2012).

El bajo valor de heredabilidad (h^2) encontrado en este estudio posiblemente surge de la alta heterogeneidad en las condiciones ambientales y el manejo presente en los sistemas de producción basados en pasturas en el trópico. Como señalan Vargas y Gamboa (2008), es posible que la proporción de varianza genética aditiva (h^2) sea menor para las condiciones locales, considerando que probablemente hay mayor heterogeneidad entre sistemas de manejo y condiciones climáticas en comparación con sistemas de producción intensivos en zonas de clima templado. En otros estudios en países latinoamericanos también se ha encontrado una menor varianza genética aditiva para producción de leche (Stanton et al., 1991; Costa et al., 2000).

Consanguinidad

El archivo genealógico estuvo constituido por un total de 41 449 animales (10 generaciones), de los cuales 26,3% (10 903) presentaron valores de consanguinidad mayores a 0 (Cuadro 2). El promedio de consanguinidad fue de 0,005% (D.E 0,0016) para toda la población y de 1,84 % (D.E 0,028) entre animales con consanguinidad mayor a cero.

En un estudio realizado por Aguirre et al. (2013) se reportó que las vacas con más de 6,25% de endogamia contaban con una producción corregida a los 305 días menor que las que tenían índices menores a 6,25% de endogamia. Otros estudios mencionan que por cada 1% de aumento en consanguinidad, hay una reducción de 8,86 kg de leche por lactancia (Pacheco et al., 2010). Los promedios encontrados en el presente estudio están todavía muy por debajo de estos valores, aunque las tendencias son crecientes.

Cuadro 2. Distribución de animales según rango de consanguinidad

Rango (%) de Consanguinidad	Cantidad de individuos	Porcentaje
0	30 546	73,70%
0 a 5	10 357	24,99%
5 a 10	382	0,92%
10 a 15	65	0,16%
15 a 20	4	0,01%
25 a 30	94	0,23%
35 a 40	<u>1</u>	<u>0,00%</u>
Total	41 449	100%

En la figura 2 se observa la tendencia en consanguinidad en función del año de nacimiento (1987-2016). Se observa una tendencia creciente para las razas Holstein y Pardo Suizo hasta el año 2006, con incrementos anuales de 0,03 y 0,01%, respectivamente. A partir de este año la tendencia es irregular. Cabe señalar que estos valores probablemente subestiman la situación real, ya que existe mucha variación en el grado de precisión con que se llevan los registros genealógicos en las fincas.

En USA, el incremento anual en consanguinidad durante el periodo (1987-2016) para vacas Holstein y Pardo Suizo participantes en el programa de mejoramiento genético fue de 0,15 y 0,16%, respectivamente, y los índices de consanguinidad de hembras nacidas en el año 2016 alcanza valores de 6,84 y 6,89% (CDCB, 2016). Estos valores son mucho mayores a los encontrados en el presente estudio.

En un estudio realizado en Costa Rica se encontró un promedio de consanguinidad de 0,75% para la raza Holstein. Dicho estudio reportó además un 5,94% de animales con algún grado de consanguinidad entre un total de 22 195 (Vargas y Gamboa, 2008). Otro estudio más reciente reportó tendencias crecientes, pero de baja magnitud en los niveles de consanguinidad de la raza Holstein, similares a los encontrados en el presente estudio (Aguirre et al., 2013).

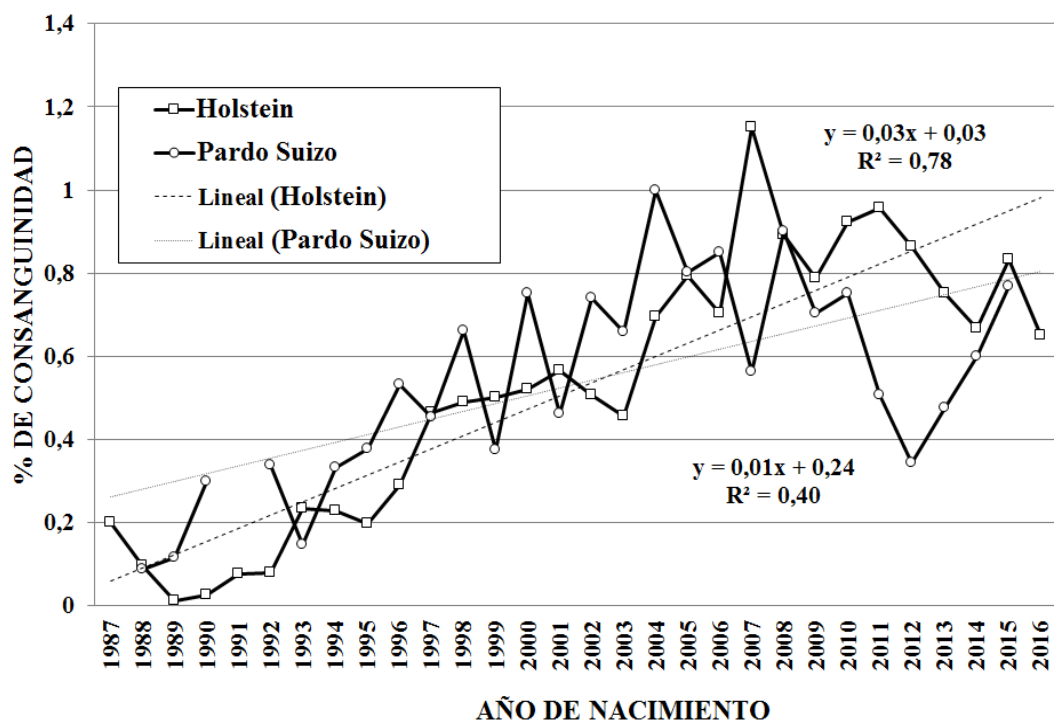


Figura 2. Valor promedio de consanguinidad según año de nacimiento para vacas de razas Holstein (con línea de tendencia) y Pardo Suizo procedentes de la provincia de Chiriquí, Panamá.

Valor de cría y Confiabilidad

En la figura 3, podemos observar la distribución de los valores de cría para P305 de las vacas en producción. Como se observa, los valores obtenidos se ajustaron a una distribución normal oscilando entre -1 182 y +2 003 kg. El valor de cría promedio fue de +246 kg (D.E 429 kg) mientras que la confiabilidad promedio fue de 0,58 (D.E 0,08). La alta variabilidad sugiere que, a pesar de existir una baja h^2 para P305, existen amplias diferencias en potencial genético entre individuos de la población.

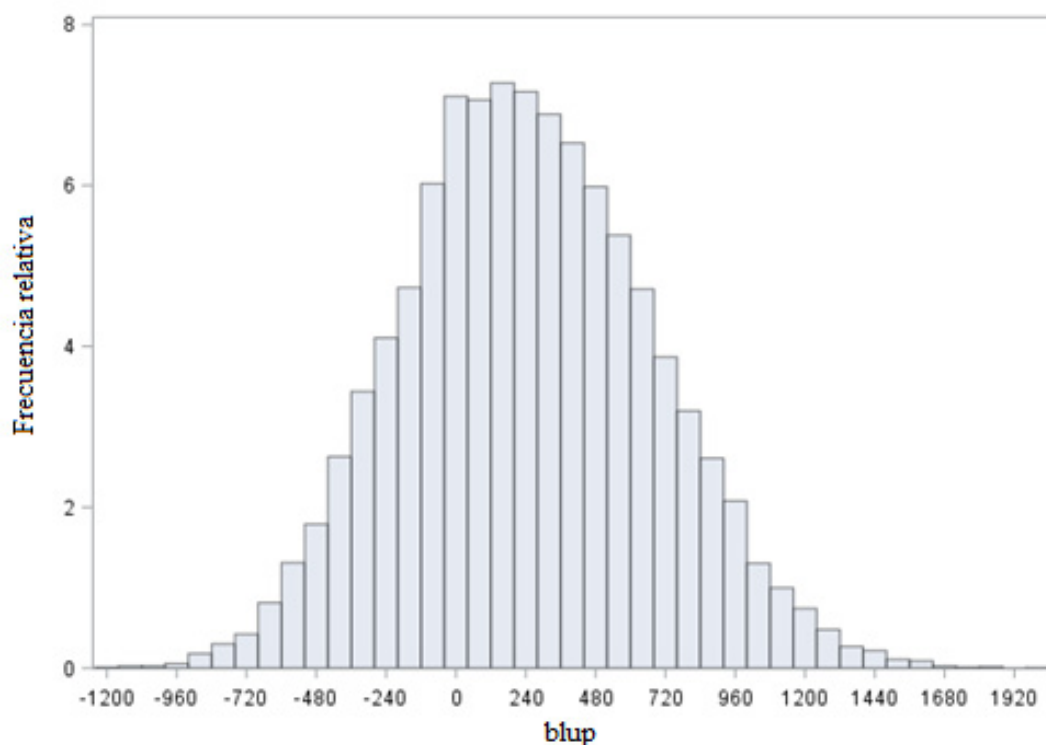


Figura 3. Histograma de frecuencia relativa de estimados de valores de cría para vacas con al menos una lactancia (n=15 640) pertenecientes a hatos lecheros de la provincia de Chiriquí, Panamá.

En el cuadro 3, se muestran los valores de cría promedio por grupo racial. La raza Holstein mostró un promedio de valor de cría mayor al cruce Holstein×Pardo Suizo y al de la raza Pardo Suizo. La raza Holstein es la más numerosa a nivel mundial y ha sido sometida a un mejoramiento genético para producción de leche más intenso en comparación con las demás razas, por lo que es de esperar que sus rendimientos siempre sean superiores.

Los índices de confiabilidad promedio de los 3 grupos raciales analizados fueron $\geq 0,55$ (Cuadro 3). La magnitud de este índice estuvo principalmente en función de la cantidad de información disponible para cada animal. En el caso de las vacas se relaciona principalmente con el número de lactancias registradas, mientras que en el caso de los toros se relaciona principalmente con el número de hijas evaluadas.

Cuadro 3. Promedio (X), Desviación estándar (D.E), Mínimos (Mín) y Máximo (Máx) para Valor de cría y confiabilidad en vacas lecheras de las razas Holstein, Pardo Suizo y su cruce, con al menos una lactancia terminada, en la provincia de Chiriquí, Panamá

<u>Grupo Racial</u>	<u>n</u>	<u>Valor de Cría (kg)</u>				<u>Confiabilidad</u>			
		<u>x</u>	<u>D.E</u>	<u>Mín</u>	<u>Máx</u>	<u>x</u>	<u>D.E</u>	<u>Mín</u>	<u>Max</u>
Holstein	11 879	289,2	438,4	-1 182	2 003	0,59	0,08	0,33	0,78
Holstein×Pardo Suizo	1 524	133,3	378,5	-1 111	1 598	0,55	0,09	0,21	0,73
Pardo Suizo	2 237	91,4	357,4	-1 088	1 351	0,56	0,09	0,33	0,77

El valor de cría promedio para toros que pudieron ser identificados como de inseminación artificial (n= 1 545) fue de +448 (DE 321) mientras que para los demás (n= 763) el valor de cría promedio fue de +56,5 (DE 281). Este segundo grupo incluye mayormente toros de monta natural que son utilizados todavía en algunos hatos. La superioridad del grupo de toros IA sugiere la importancia del uso de toros provenientes de programas de mejoramiento, que hayan sido identificados como superiores para producción. Los procesos de selección proporcionan una mayor certeza sobre el potencial genético de los sementales. Un mayor uso de sementales con valores genéticos superiores permite el incremento de los valores genéticos y fenotípicos de las vacas en producción (Toledo et al., 2014). Se ha señalado que más del 75% de la mejora genética en producción de leche proviene de la selección de sementales (Ochoa, 1991).

Tendencias genéticas para P305

En la Figura 4, podemos observar la tendencia en el promedio de valor de cría de las vacas con producción en función de los años de nacimiento. Al igual que en la tendencia fenotípica, solo la raza Holstein muestra una tendencia positiva, mientras que los otros dos grupos muestran tendencias muy irregulares. En Holstein, la tendencia del valor de cría se ajustó satisfactoriamente a un polinomio de segundo orden, con R^2 de 93%. Esto sugiere que sí ha existido algún grado de mejoramiento genético, según se deriva del componente lineal del polinomio, que muestra un incremento de 31,4 kg por año ($P < 0,001$). Sin embargo, como se observa en la figura, este incremento sucede principalmente entre los años 1987 y 2006, después de lo cual la curva tiende a estabilizarse.

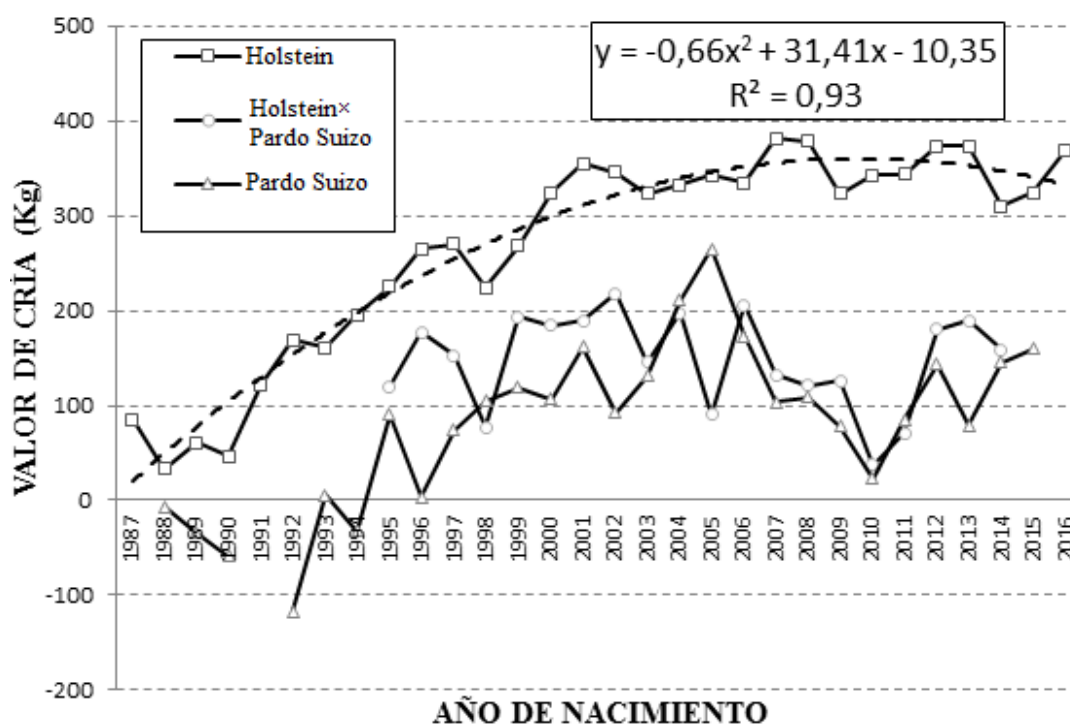


Figura 4. Valor de cría para producción de leche para las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces y tendencia para la producción de leche de vacas de las razas Holstein.

Otros estudios han reportado resultados variables en cuanto a tendencias genéticas para producción de leche. En Costa Rica, Vargas y Solano (1995), reportaron

incrementos anuales de 22 kg ($P < 0,001$). Posteriormente Vargas y Gamboa (2008), estimaron un incremento anual de 6,76 kg ($P < 0,001$). Datos más recientes muestran un patrón no lineal similar al observado en el presente estudio (Vargas, 2015a) con incrementos anuales de 23,4 y 23,5 kg en los valores de cría de razas Holstein y Pardo Suizo, respectivamente, pero con tendencias a la reducción en años más recientes. En México se han reportados tendencias genéticas positivas para producción de leche de la raza Holstein, con incrementos anuales de 36,0 kg ($P < 0,001$; Powell y Wiggans, 1991) y 66 kg ($P < 0,001$; Rosales y Tewolde, 1993). En USA, donde ha existido un programa intensivo de mejoramiento genético por más de 50 años, el incremento anual en valores de cría para el periodo 1986-2015 fue de 76 y 65 kg, para las razas Holstein y Pardo Suizo, respectivamente (CDBC, 2016).

La tendencia no lineal observada en Holstein puede ser el resultado de curvas de respuesta decrecientes al uso de genética mejorada. Es posible que el impacto del uso de la IA haya sido mayor en los años iniciales y se reduzca con el paso del tiempo, sobretodo tratándose de sistemas de producción que todavía dependen en alto grado del pastoreo, lo que impone una mayor restricción a la expresión del potencial genético, esto considerando que la calidad del forraje en la zona de vida bosque muy húmedo premontano (bmh-p) en ocasiones no es la óptima.

Por otro lado, Vargas y Marín (2012), mencionan que el efecto del manejo y las condiciones específicas de cada hato se ven reflejados en la productividad del mismo, lo que está relacionado de forma directa con el valor de cría, según Madalena (2001), este factor puede verse manifestado en una diferencia sustancial en hatos con distintos niveles de manejo, ya que se encontró que para hatos de Brasil la heterosis fue relativamente más importante en un nivel de manejo mínimo.

CONCLUSIONES

La información analizada demuestra que sí ha existido un mejoramiento tanto fenotípico como genético, para el rasgo de producción de leche corregida a los 305 días en ganado Holstein de la provincia de Chiriquí (Panamá). Sin embargo, se aprecia que la tasa de mejora tiende a disminuir en los últimos años.

Por el contrario, no se aprecia un mejoramiento fenotípico o genético para producción de leche en la raza Pardo Suizo, esto podría deberse a la poca tecnificación que se muestra por parte de los productores a mejorar la raza Pardo Suizo por medio de la inseminación artificial.

Los parámetros de heredabilidad y repetibilidad para la producción de leche en los hatos de Panamá presentan valores relativamente bajos, lo que indica una gran influencia del componente ambiental en la producción láctea.

El valor de heredabilidad obtenido indica que aproximadamente un 17% de variabilidad en producción de leche a 305 días en ganado Holstein y Pardo Suizo de Panamá corresponde a variación genética aditiva. Este nivel de heredabilidad, aunque menor al observado en otras latitudes, proporciona una base importante para mejorar la producción con base en la selección de los animales.

Los niveles de consanguinidad en ambas razas son todavía bajos pero crecientes. Posiblemente, el uso generalizado de los cruzamientos ha contribuido a mantener baja la consanguinidad. Además, se han utilizado una gran diversidad de toros, tanto de IA como de monta natural, lo que también contribuye a bajar la consanguinidad de los hatos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J., B. Vargas y J. Romero. 2013. Efecto de la endogamia sobre parámetros productivos en vacas Holstein y Jersey de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 37:31-44.
- Bourdon, R. 1997. *Understanding animal breeding*. Prentice Hall, USA.
- Castro, A. 2010. *Ganadería de leche enfoque empresarial*. 2. ed. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- CDCB (The Council on Dairy Cattle Breeding). 2016. Trend in Milk BV for Brown Swiss. <https://www.cdcb.us/eval/summary/trend.cfm?> (consultado: 16 Dic. 2016).
- Costa C., R. Blake, E. Pollak, P. Oltenacu, R. Quaas, y S. Searle. 2000. Genetic analysis of Holstein cattle populations in Brazil and the United States. *J Dairy Sci*. 83:2963-2974.
- Fernández, M. 2005. Consanguinidad en bovinos, lo que necesita saber. http://www.produccionanimal.com.ar/genetica_seleccion_cruzamientos/bovinos_e_general/70-consanguinidad.pdf (consultado: 20 Dic. 2016).
- Gilmour, A.R., B.J. Gogel, B.R. Cullis, y R. Thompson. 2009. *ASReml user guide release 3.0* VSN International, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK.
- Madalena, F. 2001. Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos bovinos. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9:108-117.
- Noordhuizen, J.P.T.M., y J. Buurman. 1984. Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP): The application of MUMPS for data processing. *Vet. Q.* 6: 66-72.
- Ochoa, P. 1991. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. *Vet. Mex.*, 5:67-85.
- Pacheco, P., J. Hernández, y F. Magaña. 2010. Efecto de consanguinidad sobre la producción láctea en Vacas Holstein en el establo “la estrella”, León, gto., México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 9:71-75.
- Pérez, E., M. Baayen., E. Capella, y H. Barken. 1989. Developmenet of livestock information system for Costa Rica. En: H. Kuil, R. Palin y J. Huhn Editors.

- Livestock production and diseases in the tropics. Proc. IV Internl. Coof. Inst. Trop. Vet. Med. Utrecht. The Netherlands. p. 221-224.
- Powell, R., y G. Wiggans. 1991. Animal model evaluation for Mexican Holsteins. *J Dairy Sci.* 74:1420-1427.
- Ríos, M., L. Ruíz, R. Calderón, J. Reyes, V. Vega, y J. Lagunes. 2012. Análisis genético de la producción láctea de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo intensivo en condiciones subtropicales. *Revista Científica, FCV-LUZ.* 6:545-552.
- Rosales, J., y A. Tewolde. 1993. Estimación del progreso genético en hatos de bovinos Holstein Mexicanos. *Vet. Mex.,* 24:185-188
- Simm, G. 1998. Genetic improvement of cattle and sheep. Farming Press. United Kingdom. 433 p.
- Stanton T., R. Blake, R. Quaas, y L. Van Vleck. 1991. Response to selection of United States Holstein sires in Latin America. *J Dairy Sci.* 74:651-664.
- Toledo, H., F. Ruíz, C. Vázquez, J. Barruecos, y M. Elzo. 2014. Tendencias genéticas y fenotípicas para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción, *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 5:471-485.
- Valencia, M., L. Ruíz, V. Montalvo, V. Trejo, J. Keown, y L. Van Vleck. 2000. Estimación de factores de corrección edad-mes de parto para producción de leche en ganado Holstein en México. *Téc Pec Méx.* 38: 9-18.
- Van Raden, P., M. E. Tooker, J. B. Cole, G. R. Wiggans, y J. H. Megonigal Jr. 2007. Genetic Evaluations for Mixed-Breed Populations. *J Dairy Sci.* 90:2434–2441.
- Vargas, B. 2015a. Tendencias Poblacionales de ganado lechero en Costa Rica. Setiembre 2016. <http://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/tenden.html> (consultado: 15 Dic. 2016).
- Vargas, B. 2015b. Metodología para evaluación genética de ganado lechero en Costa Rica. Estimación de producción a 305 días. <http://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/indmet.html> (consultado: 01 Dic. 2016).
- Vargas, B., y C. Solano. 1995. Tendencias genéticas y ambientales en producción de leche en vacas lecheras de Costa Rica. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 3:165-176.

- Vargas, B., y G. Gamboa. 2008. Tendencias genéticas, interacción genotipo×ambiente y consanguinidad en poblaciones Holstein y Jersey de Costa Rica. *Tec. Pec. Mex.* 46:371-386.
- Vargas, B., y Y. Marín. 2012. Comparación bioeconómica de grupos raciales Holstein, Jersey y Holstein×Jersey en Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 23:329-342.
- Vélez, M., J.J. Hincapié, I. Matamoros, y R. Santillán. 2014. Producción de ganado lechero en el trópico. 7. ed. Academia Press, Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- Vilela, J. 2014. Mejoramiento Genético en animales domésticos. Macro. E.I.R.L, Lima-Perú.
- Wiggans, G., I. Misztal, y L.Van Vleck. 1988. Implementation of an animal model for genetic evaluation of dairy cattle in the United States. *J Dairy Sci.* 71: 54-69.

CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de la información permitió una valoración bastante precisa de cuál ha sido el rendimiento de las razas Holstein, Pardo Suizo y sus cruces en los hatos lecheros usuarios del programa VAMPP en Chiriquí (Panamá). En la población analizada se observó que la raza Holstein presentó mejores resultados para las variables IPC y P305, mientras que la raza Pardo Suizo resultó más sobresaliente en los parámetros SCO, VPR y DLA. Los parámetros obtenidos dan lugar a mejora dado que se reportan mejores rendimientos para estas razas en circunstancias similares.

Asimismo, los resultados indicaron efectos positivos pero moderados de la heterosis en cruces Holstein×Pardo Suizo para la zona estudiada, principalmente en las variables EPP, IPC, P305 y VPR. Esto significa que la introducción de la raza Holstein en los hatos lecheros que cuentan con la raza Pardo Suizo puede dar resultados positivos en las principales variables productivas y reproductivas de los hatos lecheros.

En la raza Holstein, se observa una tendencia creciente, fenotípica y genética, para el rasgo producción de leche corregida a los 305 días, mientras que para la raza Pardo Suizo no se encontró tendencia alguna. La magnitud del aumento en Holstein es importante, considerando que no existen programas formales de mejoramiento genético a nivel local. No obstante, la tasa de incremento tiende a reducirse.

Los valores de consanguinidad encontrados en este estudio son todavía bajos, pero con tendencia creciente. Los cruzamientos y el uso de gran diversidad de toros de IA o monta natural posiblemente ha contribuido a mantener estos índices bajos.

RECOMENDACIONES GENERALES

Es importante reforzar y promover las bases de datos poblacionales y su análisis mediante herramientas adecuadas. Cuando la información disponible sea suficiente, es importante realizar evaluaciones que integren otras razas y otras regiones de Panamá, además de las mencionadas en este estudio. Asimismo, sería importante considerar aspectos bioeconómicos incorporando análisis de costo y beneficio.

Es necesario complementar el uso de sementales mejorados de IA, generalmente importados, con iniciativas locales de evaluación y mejoramiento genético, que permitan estimar también el mérito genético de las vacas. Esto permitiría una planificación más eficiente de los apareamientos y posiblemente un incremento en las tasas de mejora genética.

Es necesario realizar un uso más planificado de los cruzamientos a nivel de hato, dado que actualmente se observa un uso inconsistente a nivel de campo. Existen alternativas de cruzamiento que podrían proporcionar mejores resultados en las condiciones climáticas predominantes en la zona de Chiriquí. El uso de cruzamientos rotacionales con 2 o 3 razas es factible, dado el acceso que existe a la IA.

Dado que la consanguinidad puede conllevar a problemas productivos y reproductivos es conveniente implementar medidas preventivas, tales como la planificación de los apareamientos con el fin de evitar que se alcancen niveles mayores.

Es recomendable el uso de modelos mixtos lineales generalizados para el análisis de variables productivas y reproductivas en bases de datos poblacionales, ya que estas variables usualmente presentan distribuciones que se alejan de la normalidad, las cuales pueden ser ajustadas de manera más adecuada por este tipo de modelos.

ANEXO
Normas de la Revista Agronomía Mesoamericana.

INSTRUCTIVO PARA LOS AUTORES

La revista Agronomía Mesoamericana dio inicio durante la XXXV Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) efectuada en Honduras en 1989. Nació con el objetivo de difundir los resultados de investigación que se exponen durante cada reunión anual. El primer volumen se publicó y distribuyó en 1990, durante la XXXVI Reunión del PCCMCA en El Salvador. Actualmente tiene como objetivo difundir información científica, mediante la publicación de artículos, comunicaciones cortas, notas técnicas, análisis y comentarios, informaciones técnicas y revisiones bibliográficas; relacionada con las ciencias agroalimentarias y realizada en cualquier parte del mundo, con importancia para zonas tropicales y subtropicales, especialmente Mesoamérica y El Caribe.

Con base en las normas de la revista Agronomía Mesoamericana, los autores de los trabajos científicos, cuentan con los siguientes derechos sobre los escritos: presentarlo en público, preparar trabajos derivados, reproducirlos y distribuirlos. Los usuarios pueden mencionar la información de los trabajos (siempre y cuando se indique la cita correspondiente, de otro modo se comete plagio) cuando se hace con propósitos específicos en la enseñanza y la investigación.

La fecha de recibido del trabajo se dará a partir del cumplimiento del Instructivo a los Autores y la Guía Formato, los cuales se pueden solicitar a los correos electrónicos pccmca@gmail.com o pccmca@ucr.ac.cr; o bien puede consultarlos en la revista electrónica en la dirección <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso>

Todos los trabajos sometidos a publicación en la revista Agronomía Mesoamericana solo podrán ingresar por la revista electrónica, los autores deben suscribirse en la dirección <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/user/register>. Además, los trabajos deben ser originales, inéditos y no podrán ser propuestos total o parcialmente a otra revista. Toda publicación será divulgada en formatos físicos y electrónicos, incluido Internet, con base en la normativa de divulgación y cesión de derechos por parte de los autores.

La revista *Agronomía Mesoamericana* no realiza cobro alguno por los conceptos de envíos, edición y publicación. Los encargados de revisar cada trabajo serán al menos dos expertos o pares árbitros externos, con experiencia en la temática; estos se seleccionan con base en su formación académica y publicaciones en revistas científicas.

Los árbitros analizarán los trabajos para determinar la validez de los objetivos propuestos, la metodología empleada y los resultados obtenidos, así como su impacto o aporte a la ciencia. Se les dará un mes para emitir los resultados de la revisión. Si este proceso se atrasa, se enviarán a otros especialistas y se le indicará al autor(es) si están de acuerdo en esperar más tiempo o podrán retirar su trabajo del proceso de edición. Una vez que el trabajo es aprobado, se envía la versión final a los autores para que lo revisen y den su aprobación en plazo máximo de cinco días hábiles.

El Consejo Editorial se reserva el derecho de clasificación de los trabajos, según el impacto y contenido de los mismos.

Tipos de publicaciones aceptadas a partir del volumen 28(2) del 2017

Artículo: proviene de una investigación profunda y detallada, con avances en el conocimiento, es novedoso, con todos los elementos de un artículo, incluidos título, nombre completo de los autores con sus respectivas afiliaciones, resumen y su “abstract”, debidamente traducido, palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones y literatura citada (no debe omitir las citas relevantes y recientes). Debe incluir un número apropiado de cuadros y figuras relevantes y sustanciosas que demuestren la profundidad del estudio y resalten los méritos del trabajo para su publicación en una revista indizada. Es un texto de carácter académico que exige el cumplimiento de normas específicas tanto en su estructura general como en su contenido. Estos aspectos fundamentales están determinados por el tipo de lectores y por el medio de divulgación. El uso de vocabulario especializado y el tono formal en que se escribe, facilita el acceso a la información y, por consiguiente, su comprensión. Debe estar cuidadosamente redactado para evitar cambios de tema innecesarios, para lograr expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, y para que se incluyan las citas y referencias indispensables. Debe integrar todo lo investigado y no fraccionarlo para originar dos o más publicaciones. Los artículos no pueden tener una extensión mayor a treinta páginas en Word.

Revisiones bibliográficas: son recopilaciones y síntesis del conocimiento existente en un campo específico de interés en las ciencias agrícolas para el área mesoamericana. No pueden tener una extensión mayor a treinta páginas en Word. El Consejo Editorial Nacional e Internacional puede solicitar revisiones bibliográficas a autores de reconocida trayectoria en el campo correspondiente, y con antecedentes de investigación y publicaciones arbitradas en el mismo. No se descartan las revisiones sometidas a consideración por los propios autores, en estos casos, se recomienda enviar una solicitud por escrito, en la que se resuman los objetivos y los alcances de la revisión bibliográfica propuesta. Algunos ejemplos son:

Sánchez, N., y Jiménez V. 2010. Técnicas de conservación *in vitro* para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. Agron. Mesoam. 21:193-205

Azofeifa, B., A. Paniagua, y A. García. 2014. Importancia y desafíos de la conservación de Vainilla spp (Orquidacea) en Costa Rica. Agron. Mesoam. 25:189-202.

Notas técnicas: Se refieren a la publicación del desarrollo de técnicas o metodologías innovadoras preferiblemente, o su adaptación, modificación, promoción y divulgación de carácter científico, de interés para la región mesoamericana. Entre ellas métodos de mejoramiento, análisis estadísticos, aparatos o instrumentos de campo, invernadero o laboratorio. También hacen referencia a reportes de significado, urgencia e interés, pero deben contener resultados preliminares relevantes. Se valorará el carácter didáctico de estas publicaciones en el contexto mesoamericano. No pueden tener una extensión mayor a veinte páginas en Word. Puede abordar los resultados de un ensayo práctico ante un problema muy concreto, fundamentado en procedimientos de uso general en el ejercicio de la profesión. La Discusión en una nota técnica puede tomar un tono más expositivo (cualitativo) que crítico, mientras que, en un artículo formal, esta es una sección relevante y representativa del trabajo (cualitativo si las variables lo permiten y por lo general cuantitativo). Algunos ejemplos son:

Blanco, F.A. 2001. Métodos apropiados de análisis estadísticos subsiguientes al análisis de varianza (ANDEVA). Agron. Costarricense 25:53-60. Gallo, K.P., y C.S.T.Daughtry. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. Agron. J. 78:752-756.

Khanizadeh, S., D. Buszard, y C.G. Zarkadas. 1995. Misuse of Kjeldahl method for estimating protein content in plant tissues. *HortScience* 30:1341-1342.

O'Reilly, E., y J. Lanza. 1995. Fluorescamina: a rapid and inexpensive method for measuring total amino acids in nectar. *Ecology* 76:2656-2660.

Lacroix, C.R., y J. MacIntyre. 1995. New techniques and applications for epifluorescence light microscopy. *Can. J. Bot.* 73:1842-1847.

Meyer, W.S., D.C. Reicosky, H.D. Barrs, y G.S.G. Shell. 1987. A portable chamber for measuring canopy gas exchange of crops subject to different root zone conditions. *Agron J.* 79:181-184.

Stanhill, G. 1992. Accuracy of global radiation measurements at unattended, automatic weather stations. *Agric. For. Meteorol.* 61:151-156.

Bottomley, P.A., H.H. Rogers, y S.A. Prior. 1993. NMR imaging of root water distribution in intact *Vicia faba* L. plants in elevated atmospheric CO₂. *Plant Cell Environ.* 16:335-338.

Análisis y comentarios: es el análisis de una situación específica, realizada por un especialista con reconocida trayectoria en el campo y con publicaciones relevantes en revistas indexadas. Puede contener datos, puntos de vista, opiniones, y debe incluir una revisión de literatura apropiada para la naturaleza y la extensión de esta modalidad de publicación. Además, puede incluir observaciones personales. No pueden tener una extensión mayor a veinte páginas en Word. Su formato consiste de una introducción, el desarrollo temático, y la revisión bibliográfica. Algunos ejemplos son:

Rosas, J.C. 2001. Aplicación de metodologías participativas para el mejoramiento genético de frijol en Honduras. *Agron. Mesoam.* 12:219-228.

Córdova H., S. Castellanos, H. Barreto, y J. Bolaños. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centroamérica: logros y estrategias hacia el año 2000. *Agron. Mesoam.* 13:73-84.

Espinosa, A., M.A. López, N. Gómez, E. Betanzos, M. Sierra, B. Coutiño, R. Aveldaño, E. Preciado, y A.D. Terrón. 2003. Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. *Agron. Mesoam.* 14:105-116.

Autoría

El autor debe indicar en una carta que el trabajo es original, que no se ha publicado ni sometido a publicación en otras revistas, excepto en forma de resumen o como parte de una conferencia, opinión, o tesis, y no estar bajo edición en otra revista científica. Debe ceder los derechos de publicación a *Agronomía Mesoamericana*, responsabilizándose por el contenido de su trabajo e indicar además que ha sido aprobado por los demás coautores. Se debe incluir el nombre completo de los autores con sus respectivas afiliaciones, incluyendo la ciudad, país donde se ubica el centro laboral. La información se debe presentar de lo general a lo específico; por ej. Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición, San José, Costa Rica.

Como autores se considerarán los que participaron en grado suficiente para asumir la responsabilidad pública del contenido del trabajo. Es autor el que intervino en forma esencial en: a) la concepción y el diseño del estudio, obtención de los datos, o el análisis y la interpretación de los mismos; b) la redacción del trabajo o la revisión crítica de una parte sustancial de su contenido intelectual; y c) la aprobación final de la versión que será publicada. Los requisitos a, b y c tendrán que cumplirse simultáneamente. La participación exclusivamente en la obtención de fondos, datos o la coordinación del trabajo y la supervisión general del grupo de investigación, no justifica la autoría (se tomó parte de las indicaciones a los autores de la revista *Colombia Médica* <http://colombiamedica.univalle.edu.co/informacion.html>)

Los trabajos sometidos a publicación deben contar con la autorización de la institución o empresa donde se efectuó la investigación. Además, se asumirá que todos los autores participaron en la elaboración, y autorizaron someterlo a publicación.

El autor principal debe indicar si su trabajo lo considera un artículo, nota técnica, análisis y comentarios o revisión bibliográfica; sin embargo, la decisión sobre su ubicación se tomará con base en el arbitraje efectuado y el acuerdo de los miembros del Consejo Editorial Nacional e Internacional. Se podrá rechazar de oficio todo trabajo de campo con un solo periodo de evaluación (época o año), sobre cultivos ampliamente estudiados y sobre una temática ya conocida (Como ejemplo: épocas de siembra, distancias de siembra, fertilización NPK) o si la investigación tiene más de diez años de haberse concluido.

Política de detección de plagio

La revista Agronomía Mesoamericana utiliza el sistema Turnitin® para detección de plagio. En caso de considerarse que el trabajo presenta reproducción total o parcial de otras investigaciones se seguirá el debido proceso; para lo que se le dará la oportunidad al autor(es) para que aporte(n) prueba(s) de descarga o corrija(n) el trabajo; posteriormente, el Comité Editorial realizará una valoración de la prueba y correcciones y tomará la decisión de rechazar o continuar el proceso de edición del trabajo.

Comunicación con los autores en el proceso de edición

Se dará un período de cinco días hábiles para el envío de las correcciones. Si luego del periodo dado no hubiera respuesta, se procederá en primera instancia a dejarlo fuera del proceso de edición, y posteriormente pasados los 30 días hábiles, a rechazar el trabajo bajo la premisa de no acatamiento a las directrices de la revista. Cuando finalice el diagramado con las correcciones del autor, se le devolverá de nuevo para que efectúe la revisión final e indique vía carta o vía correo electrónico al Editor que está de acuerdo con la versión final o indicar las observaciones de forma. El tiempo de respuesta del autor deberá ser de un máximo de cinco días hábiles, después del cual se podrá aprobar su publicación o suspender su proceso de edición.

Nombres de productos

No se acepta el uso de nombres comerciales en plaguicidas, equipos o alimentos, con excepción a formulaciones particulares que puedan afectar los resultados. Los plaguicidas se deben escribir con el nombre común seguido del químico entre paréntesis.

Diccionario de referencia

El diccionario de referencia en español será el de la Real Academia Española (<http://www.rae.es/obras-academicas/diccionarios/diccionario-de-lalengua-espanola>). Los números arábigos se emplearán para todos con dos o más dígitos, y para las unidades de medida. Se escribirán en palabras si es la primera de una oración, o si es menos de 29 y no indica una medida.

Distribución de la revista: versiones impresas y electrónicas

Solo se distribuirán impresos a los centros de documentación y bibliotecas. En cada Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), se incluirá en la memoria USB que distribuye el Comité Organizador con información del evento, una copia de los dos últimos volúmenes de la revista.

Formato para cada sección de los trabajos

Solo se aceptarán trabajos preparados en Microsoft Word, con tipografía Arial, tamaño 11, a espacio y medio, márgenes superior e inferior de 1” e izquierdo y derecho de 1,2”. Se envían a la revista electrónica, suscribiéndose como autor en la dirección <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/user/register>. Deben basarse en las siguientes instrucciones de formato:

TÍTULO: El título debe ser conciso y no debe exceder de catorce palabras. Indicar si el trabajo fue parte de una tesis, proyecto, etc. Se sugiere evitar el uso de nombres científicos en el título cuando el nombre común es muy conocido (frijol, maíz, papa, tomate, etc.). Se deberá usar el nombre científico solo cuando el nombre común no es conocido o puede variar entre países (nombres de malezas, hongos, insectos, etc.).

Evitar las siguientes palabras: “Estudios de”, “Investigaciones en”, “Observaciones acerca de”, y otras palabras similares. No incluya generalidades que no contribuyen con la utilidad del título. “Ejemplo: Estudios de poblaciones de malezas en el Valle Central”. No emplear abreviaturas.

Como referencia al título debe indicarse si el trabajo forma parte de un proyecto de investigación y/o tesis, además del ente que lo financia o la institución donde se efectuó, incluyendo el lugar y país.

TÍTULO RESUMIDO: para encabezado de página, no debe ser mayor de ocho palabras.

AUTORES: Debe incluir el nombre completo y apellidos (sin abreviaturas). Si el autor decide solo incluir un apellido debe indicarlo cuando envía el trabajo. Al pie de página debe incluirse la dirección postal y correo electrónico de todos los autores, e

indicar la institución donde laboran. El primer autor se considerará el de mayor aporte a la investigación que dio origen al trabajo sometido a publicación. El número total de autores no deberá ser mayor de seis.

RESUMEN: Iniciar con una breve introducción, seguido del objetivo principal del trabajo. Luego indicar el sitio del evento, lugar, país, periodo de ejecución, la metodología empleada y los principales resultados y conclusiones acordes con el título y objetivo del trabajo, no dejar la interpretación al lector. Al igual que todo el texto del trabajo el resumen debe escribirse en pretérito. Se debe omitir las siglas o abreviaturas poco conocidas, así como su uso excesivo. No incluir referencias o citas bibliográficas, figuras o cuadros, y abreviaturas no contenidas en ninguna normativa internacional y que no se les haya indicado previamente su significado. El tamaño máximo será de 250 palabras (con base en el contador de palabras de Word) a espacio seguido y en un solo párrafo. Debe incluirse el título dentro del conteo de palabras.

ABSTRACT: Traducción al inglés del RESUMEN, incluyendo título del trabajo.

PALABRAS CLAVE: Se deben incluir un mínimo de cuatro palabras claves en español e inglés, pueden ser palabras compuestas y estas no deben figurar en el título. El objetivo es su uso en indización y selección de la información bibliográfica. Como referencia se puede consultar AGROVOC Thesaurus de la FAO (http://www.fao.org/aims/ag_intro.htm?searchtext=) y el tesoro agrícola de la National Agricultural Library de United States Department of Agriculture (<http://agclass.nal.usda.gov/>). No incluir palabras generales como: rendimiento, variables, planta, diferenciación, trópico, cultivos, etc.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS: La revista Agronomía Mesoamericana, solo aceptará la normativa oficial del sistema internacional de pesos y medidas, así como lo indicado para tal efecto por la Real Academia Española (ejemplo: para la separación de los decimales se empleará la coma siempre y cuando el trabajo sea en español). Como referencias se dan las siguientes citas:

El Sistema Internaciones de Unidades. 2008. 2 Ed. Oficina Internacional de Pesas y Medidas. Organización Intergubernamental de la Convención del Metro. Centro Español de Metrología. Madrid, España. NIPO: 706-08-006-3. <http://www.cem.es/sites/default/files/siu8edes.pdf>

Nava J., F. Pezet, y I. Hernández. 2001. El Sistema Internacional de Unidades. Los Cués, Aro., México. <http://satori.geociencias.unam.mx/LGM/Unidades-CENAM.pdf>

Carazo, M. 1987. Sistema internacional de pesos y medidas. 2 Ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN: Debe incluir el propósito de la investigación, los antecedentes más relevantes y el objetivo concreto. Importancia del problema dentro del marco de estudio, limitaciones de la investigación. Toda información debe estar respaldada con citas bibliográficas, que sean de fácil acceso mediante centros de documentación, bibliotecas o Internet. Si son más de dos autores se pone et al. después del primer apellido. Ej. a) "...la metodología propuesta por Gómez et al.". b) ... Este método fue similar al de otros autores (Hartman, 1974; Jackson et al., 1977). Toda mención de especies vegetales o animales debe incluir su nombre científico, y cuando es parte de lo que se estudia en el trabajo, se debe indicar además su clasificación biológica. Toda indicación posterior de un nombre científico se hará con solo la inicial del género más la especie. Todo nombre científico deberá ir en letra cursiva (revisar terminología en: International Association for Plant Taxonomy iapt, Código Internacional de Nomenclatura Botánica). Los nombres genéricos que se usan como vernaculares no llevan mayúscula: ejemplo frijol, maíz, etc. No incluir cuadros ni figuras.

MATERIALES Y MÉTODOS: Son los elementos básicos de la investigación y los que generan los resultados. Los materiales (suelos, plantas, semillas, vacas, cabras, etc.) deben estar claramente descritos (Análisis físico, químico y tipo de suelo). Descripción de la variedad de planta empleada y su origen. Características del animal empleado, que incluya su origen, tipo, edad, etc. Los métodos deben indicar claramente las variables que se pretende medir y su precisión, por lo que se debe incluir el diseño experimental, unidad experimental, método de muestreo y tipo de análisis estadístico. Descripción de los tratamientos y variables evaluadas. Prácticas culturales y del manejo del experimento. Además, el lugar donde se efectuó la investigación, el periodo (s) y condiciones climáticas, si procede.

RESULTADOS: Deben ser lo más resumidos y claros posible. Se debe iniciar con el principal resultado obtenido según el objetivo propuesto en la investigación. Se

presentan los datos derivados de la aplicación de la metodología de una manera clara, ordenada y completa, pero a la vez concisa, basados en comprobaciones y no suposiciones, deben ser expresados por separado en figuras o cuadros (incluir en un archivo adicional los datos que los originaron para efecto del diagramado). No se debe repetir en el texto la información contenida en los cuadros o figuras. La información obtenida del análisis de varianza, se describirá en el texto. Se debe mostrar solo lo más importante, no dejar al lector la interpretación y el resumen de los datos de la investigación.

DISCUSIÓN: Se analiza la información obtenida. Se debe explicar la importancia de comparar con otros estudios similares e indicar porqué hubo o no diferencias significativas. Al comparar los resultados con los de otras investigaciones similares, se debe interpretar y aclarar a qué se debieron las similitudes o diferencias obtenidas (p. ej. debido al sitio, la genética, metodología empleada, etc.). Se debe discutir el significado de los resultados y desarrollar aquellos no esperados o contradictorios. Puede proponerse estudios de seguimiento relacionados a lo obtenido en la investigación. No se acepta proponer recomendaciones comerciales basadas en un trabajo muy específico.

CONCLUSIONES: Se deben presentar las conclusiones con una redacción clara y concisa, indicando las pruebas que respaldan cada una de ellas. Deben ser consistentes con los objetivos de la investigación y responden a ellos. No se permite resumir resultados, ni presentar una repetición de lo desarrollado en el trabajo.

CUADROS, FIGURAS, FOTOS, DIBUJOS Y MAPAS: Deben tener un título tanto en inglés como en español, que los explique por sí solos, independiente del texto. Se debe identificar claramente la información brindada, Lugar (es) donde se realizó, además del periodo o año de ejecución. Como figura se entenderá las imágenes, fotos, dibujos y mapas. Los cuadros y figuras se deben presentar preferentemente en formato simple y comprensibles, en lugar de uno complicado, de difícil interpretación, o basado en la información general obtenida sin un adecuado proceso de síntesis (es el autor quien debe analizar y resumir la información obtenida). Se debe escoger la forma que mejor comunique los resultados obtenidos y no se debe repetir la información en cuadros y figuras. Las fotos deben enviarse en archivo separado, con una resolución mínima de 300 dpi y en formato JPG, EPS o TIFF. Deben ser legibles. Los cuadros, figuras, fotos o mapas deben aparecer inmediatamente después de que se les mencione.

Bajo ninguna circunstancia se aceptarán anexos o apéndices. Evitar el uso de abreviaturas en los títulos de cada columna en los cuadros. Todo tipo de abreviaturas incluidas en el cuerpo del cuadro o en una figura, con excepción de las de uso universal, deberán ser aclaradas al pie del cuadro o figura.

La numeración de los cuadros y figuras (incluidas las fotografías) se elaboran en forma independiente para cada uno de ellos y con pocas excepciones se ubicarán en un espacio del ancho de una columna, por lo cual debe usar figuras y cuadros que se puedan reducir al ancho de la columna sin perder nitidez. No se deben enviar cuadros en formato de imagen.

LITERATURA CITADA: Debe contribuir al conocimiento sobre el tema y ser lo más reciente posible, y de fácil acceso en centros de documentación, bibliotecas o Internet y estar redactadas con base en las normas de la Sociedad Americana de Agronomía (ASA, American Society of Agronomy, [https://www. agronomy.org/publications/style](https://www.agronomy.org/publications/style)). Toda referencia bibliográfica que se incluya en el texto (introducción, materiales y métodos o resultados y discusión) deberá aparecer en esta sección. Todas las citas deben incluir todos los autores, año de publicación, título completo del trabajo, e información del documento en que se publicó, edición, casa editora, lugar de publicación, volumen y número de páginas (cuando se refiera a un capítulo específico). Los nombres de los autores van con minúscula, primero el apellido y luego la inicial del nombre. Las comunicaciones personales no son parte de la literatura citada, por lo que se incluyen dentro del texto. Las citas obtenidas de Internet, deben ser preferentemente de publicaciones periódicas, revistas electrónicas o libros.

Cuando exista más de una cita correspondiente a un autor o grupo de autores con el mismo año de publicación, se debe colocar una letra a la par del año (a, b, c), así como diferenciarlo de la misma forma en el texto.

Ejemplos de redacción de referencias bibliográficas

Libros:

Carvajal, F. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. 2 ed. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza.

Tesis:

Yah-Correa, E.V. 1998. Crioconservación de suspensiones celulares embriogénicas de *Musa* spp. iniciadas a partir de flores inmaduras. Tesis MSc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Congresos, Conferencias, Reuniones:

Alfaro, M., R. de Camino, M. I. Mora, y P. Oram., editores. 1993. Regional Workshop needs and priorities for forestry and agroforestry policy research in Latin America. IICA, San José, Costa Rica.

Contribución a una conferencia o simposio:

Dawson, J.C., y I. Goldringer. 2009. Direct or indirect selection in breeding for organic agriculture. En: H. Østergård, E.T. Lammerts van Bueren, y L. Bouwman-Smits, editores, Proceedings of the BioExploit/Eucarpia Workshop on the Role of Marker Assisted Selection in Breeding Varieties for Organic Agriculture, Wageningen, the Netherlands. 25–27 February. BioExploit Project, Wageningen, the Netherlands. p. 15-18.

Revistas:

Shingh, C. K., y G. S. Grewal. 1998. Detection of rabies in central nervous system of experimentally infected buffalo calves. *Indian J. Anim. Sci.* 68:1242-1254.

Comunicaciones personales:

Se mencionan en el texto de la publicación, entre paréntesis.

Ejemplo: “Se utilizaron 20 microlitros (Rojas, comunicación personal, 2011) de una solución de bacterias de $0,5 \times 10^8$ UFC/ml (ensayo 1) y $1,5 \times 10^8$ UFC/ml (ensayo 2), los cuales contenían $1,0 \times 10^6$ y $3,0 \times 10^6$ UFC/camarón respectivamente”.

Documentos en línea:

Rummer, B., J.P. Prestemon, D. May, P. Miles, J. Vissage, y R. McRoberts. 2003. A strategic assessment of forest biomass and fuel reduction treatments in western states. USDA Forest Service, Research and Development. http://www.fs.fed.us/research/pdf/Western_final.pdf (Consultado 5 ene.2012).

Publicaciones periódicas en línea con DOI:

Kato, C., T. Nishimura, H. Imoto, y T. Miyazaki. 2011. Predicting soil moisture and temperature of Andisols under a monsoon climate in Japan. *Vadose Zone J.* 10:541-551. doi:10.2136/vzj2010.0054.

Antes de enviar el trabajo, el autor debe verificar que cumplió con las normas de este instructivo.