



Evaluación de métodos de corrección para efectos ambientales para peso al destete en corderos Suffolk

Evaluation of adjustment methods for environmental effects for weaning weight in Suffolk lambs

Yiming Sulaiman* César Flores-Serrano** Antonio Ortiz-Hernández**
Rosa Berta Angulo-Mejorada** Hugo H. Montaldo***

Abstract

Data of weaning weights (WW) from 2 172 Suffolk lambs with complete genealogical information, obtained from a flock in central Mexico from 1992 to 2004, were analyzed using mixed linear models with direct and maternal effects, to generate correction factors and to compare different methods for the adjustment of sex, type of birth and age of the mother effects. The methods compared were: analysis of weaning weights with a complete mixed model (PDMOD), analysis of WW preadjusted to 68 days and for sex and age of the mother-type of birth with factors developed from this population (PD68PRE), analysis of WW adjusted to 68 days with a complete model (PD68MOD) and analysis of WW preadjusted to 68 days and for sex, age of the mother and type of birth with factors developed for the Suffolk population of the United States of America (PD68USA). The effects of year of birth, sex, type of birth, age of the mother, year of birth $\times$ age of the mother interaction and the linear and quadratic effects of weaning age were all significant ($P < 0.01$). The inclusion of all the effects in the model gave slightly smaller residual coefficients of variation with reductions $\leq 0.51\%$, compared to preadjusted data with correction factors generated either in the flock or adapted from those suggested for the Suffolk population of the United States of America. Small differences between methods in the ranking of the animals according to the genetic evaluations based on empirical BLUP's for direct and maternal genetic effects were found, with Spearman's correlation values ≥ 0.96 .

Key words: GROWTH, MEXICO, SELECTION, AGE OF DAM, SEX, TYPE OF BIRTH, DIRECT EFFECTS, MATERNAL EFFECTS.

Resumen

Datos de pesos al destete (PD) de 2 172 corderos Suffolk con información genealógica completa, obtenidos de 1992 a 2004 en un rebaño en el centro de México, fueron analizados usando modelos lineales mixtos con efectos directos y maternos, para generar factores de corrección y comparar diferentes métodos de ajuste para los efectos de sexo, tipo de nacimiento y edad de la madre. Los métodos comparados fueron: análisis de PD con un modelo completo (PDMOD), análisis de PD preajustados a 68 días y para sexo, edad de la madre-tipo de nacimiento con factores desarrollados a partir de esta población (PD68PRE), análisis de PD ajustados a 68 días con un modelo completo (PD68MOD) y análisis de PD preajustados a 68 días y para sexo, edad de la madre y tipo de nacimiento con factores desarrollados para la población Suffolk de los Estados Unidos de América (PD68USA). Los efectos de año de nacimiento, sexo, tipo de nacimiento, edad de la madre, interacción año de nacimiento $\times$ edad de la madre y edad al destete lineal y cuadrática fueron significativos ($P < 0.01$). La inclusión de todos los efectos en el modelo dio coeficientes de variación residual ligeramente menores, con reducciones $\leq 0.51\%$, en comparación con el uso de datos preajustados con factores de corrección generados en el propio rebaño o adaptados de los recomendados para la población Suffolk de los Estados Unidos de América. Las diferencias entre los métodos en la jerarquización de los animales de acuerdo con las evaluaciones genéticas con los BLUP empíricos de los efectos directos y maternos fueron pequeñas, con valores de correlaciones de Spearman ≥ 0.96 .

Palabras clave: CRECIMIENTO, MÉXICO, SELECCIÓN, EDAD DE LA MADRE, SEXO, TIPO DE NACIMIENTO, EFECTOS DIRECTOS, EFECTOS MATERNOS.

Recibido el 4 de marzo de 2008 y aceptado el 5 de enero de 2009.

*Department of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, 42 Nanchang Road, Urumchi, Xinjiang, 830052, China.

**Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

***Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

Autor de contacto: Hugo H. Montaldo, Teléfono: 56225894, Fax: 56225956, correo electrónico: montaldo@servidor.unam.mx

Introduction

Weaning weight is a trait of great importance in sheep genetic improvement, because of its high positive genetic correlations with post-weaning and carcass weights.^{1,2} Weaning weight is also obtained early in life for most animals, therefore, is used as a selection criteria in many breeding programs worldwide.³

It is currently recognized that weaning weight is affected by direct and maternal genetic effects, plus permanent environmental maternal effects, making necessary the use of procedures that allow an unbiased evaluation of the genetic values of the potential breeding animals for these effects, so that selection responses are increased.^{4,5}

Weaning weight in sheep is also affected by environmental effects such as year of birth, season of birth, flock, sex, type of birth-rearing, age of dam and weaning age of the lamb.⁶⁻¹⁴ These environmental effects should be corrected in order to increase the responses to selection.

There are two options to adjust these effects: to include them in the model for genetic evaluation or utilize of adjustment factors. The use of the latter is required if direct evaluation of the animals wants to be done based on their phenotypic records. The use of adjustment factors determined in other flocks is the more proper procedure to compare animals when no mixed models are used to generate predicted genetic values, when the flocks are too small to estimate these effects accurately, or when the information is not properly recorded with this purpose.¹⁵ These conditions are common in Mexico and other countries.

In situations where suitable data are available to include all the effects in the statistical mixed models used for the genetic evaluations, such in dairy cattle, adjustment factors are also used to project incomplete lactation records to 305 days, and to adjust data for age-season of calving and number of milking effects, in order to calculate standardized records for breeding or culling decisions, and to simplify the models used in the genetic evaluations.¹⁶

In the Suffolk population of the United States of America, adjustment factors are used to standardize weaning weights for age of the ewe, lamb sex and type of birth-rearing,¹⁷ although these factors may be different in each population.¹⁸ There is no information about these effects for the Suffolk breed in Mexico.

Even though it is considered that from a statistical point of view, to include these effects in the model results better than preadjustment,¹⁸ In relation to weaning weights, no studies are available to compare these options for sheep populations.

The objectives of this study were to compare the

Introducción

En los ovinos, el peso al destete tiene correlaciones genéticas positivas con el peso posdestete y el peso del músculo en la canal,^{1,2} además es una característica que se mide fácilmente en forma temprana para la mayoría de los corderos, por lo que se utiliza como criterio de selección en numerosos programas de selección en todo el mundo.³

Actualmente se reconoce que el peso al destete es una característica afectada por efectos genéticos directos y maternos, además de efectos de ambiente permanente materno, lo que hace necesario utilizar procedimientos que permitan una evaluación insesgada del valor genético de los reproductores potenciales para estos efectos, con el fin de incrementar las respuestas a la selección.^{4,5}

El peso al destete en los ovinos es influido, además, por efectos ambientales, como año de nacimiento, estación de nacimiento, rebaño, sexo, tipo de nacimiento-crianza, edad de la madre y edad del cordero al destete.⁶⁻¹⁴ Estos efectos ambientales deben ser corregidos para incrementar la precisión de la selección.

Existen dos opciones para corregir estos efectos: incluirlos en el modelo de evaluación genética o utilizar factores de corrección. El uso de estos últimos es necesario para corregir estos efectos si se pretende evaluar directamente a los animales con base en su fenotipo. El uso de factores de ajuste estimados en otros hatos es el procedimiento más adecuado para comparar animales cuando no se usan modelos mixtos para generar valores genéticos predichos, cuando los rebaños son demasiado pequeños para estimar estos efectos correctamente o cuando no se registra la información adecuadamente con este fin.¹⁵ Estas situaciones son comunes en México y en otros países.

Cuando se dispone de datos adecuados para incluir todos los efectos en los modelos estadísticos mixtos usados en la evaluación genética, como en los bovinos productores de leche, se utilizan también factores de corrección para proyectar lactancias incompletas a 305 días y corregir los efectos de edad-época de parto y número de ordeños con el fin de generar registros estandarizados para tomar decisiones de selección o desecho y simplificar los modelos usados en la obtención de las evaluaciones genéticas.¹⁶

En la población Suffolk de Estados Unidos de América se usan factores de corrección para edad de oveja, sexo de cordero y tipo de nacimiento-crianza para estandarizar los pesos al destete;¹⁷ aunque estos factores pueden ser diferentes para cada población.¹⁸ En referencia a la raza Suffolk en México, no hay información disponible a este respecto.

Aunque se considera que desde el punto de vista estadístico, incluir estos factores en el modelo resulta

accuracy of the correction for environmental effects for weaning weights in Suffolk sheep in Mexico, when using adjustment factors estimated in the same flock, adjustment factors adapted from that available for the Suffolk population of the United States of America, or by including them in the genetic evaluation model. These options were compared based on of the model fitting, the values of the estimated genetic parameters and the ranking of the lambs from their direct and maternal genetic evaluations, using mixed models.

Material and methods

Animals and management

Data in this study were obtained between 1992 and 2004 in the Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina (CEIEPO), of the Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia of the Universidad Nacional Autónoma de México, located in Tres Marias, Morelos, Mexico, at 2 810 masl. The climate is temperate-subhumid with rains in the summer. Mean annual rainfall is 1 724.6 millimeters and average annual temperature 9.9°C. The Center was established in 1991 and its main purpose is breeding of reproductive ovinos for meat production.

The flock was formed in 1991 with 210 animals imported from Ontario, Canada, with Suffolk ancestors from Canada and the United Kingdom. Thereafter, Suffolk rams from Canada, the United States of America and selected from the flock have been used.

The production system of the Center is intensive daytime grazing controlled by an electric fence, in mixed pastures of annual ryegrass (*Lolium multiflorum*), perennial ryegrass (*Lolium perenne*), orchardgrass (*Dactylis glomerata*), Kikuyo grass (*Penisetum clandestinum*), white clover (*Trifolium repens*) and red clover (*Trifolium pratense*). Before lambing the ewes grazed on grass, sorghum and corn residues. During the mating period of 40 days length, and after lambing, the ewes were stall fed. Concentrate feeding was given as a supplementary feeding, according to the physiological status; maintenance (131 g of CP and 3.4 Mcal), gestation (148 g of CP and 3.8 Mcal), last third of gestation (232 g of CP and 6.0 Mcal) and lactation (353 g of CP and 7.6 Mcal) ME/day. An annual program of vaccination, external and internal parasite control was carried out. Culling of ewes were by infertility, old age and health problems.

Lambs were raised in a stall fed system from birth to marketing. During that period the animals received diets according to age period, beginning with a creep feeding diet (240 g of CP and 5.7 Mcal) ME/day, during lactation. Thereafter, the feed was given in a restricted form until the animals reach a weight of 40

mejor que la precorrección,¹⁸ no existen estudios para comparar estas opciones en poblaciones de ovinos para el caso del peso al destete.

Los objetivos de este estudio fueron: comparar la precisión en la corrección de efectos ambientales para el peso al destete para ovinos Suffolk, en México, al utilizar factores de ajuste desarrollados en el mismo hato, factores de ajuste adaptados de los disponibles para la población Suffolk de Estados Unidos o mediante su inclusión en el modelo de evaluación genética. Estas opciones se compararon con base en el ajuste de los modelos, los valores de los parámetros genéticos estimados y la jerarquización de los cordeles a partir de sus evaluaciones genéticas directas y maternas, usando modelos mixtos.

Material y métodos

Animales y manejo

Los datos en este estudio se obtuvieron entre 1992 y 2004 en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina (CEIEPO), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, situado en Tres Marias, Morelos, México, a 2 810 msnm. El clima es templado-subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 1 724.6 milímetros y la temperatura media anual 9.9°C. El Centro fue fundado en 1991 y se dedica principalmente a la crianza de ovinos reproductores para la producción de carne.

El rebaño se formó en 1991 con 210 animales importados de Ontario, Canadá, con ancestros Suffolk, de Canadá y Reino Unido. Posteriormente, en este rebaño se han usado sementales Suffolk, de Canadá, Estados Unidos y seleccionados en el propio rebaño.

El sistema de producción del Centro es intensivo en pastoreo diurno controlado con cerco eléctrico, en praderas con Rye grass anual (*Lolium multiflorum*), Rye grass perene (*Lolium perenne*), Orchard grass (*Dactylis glomerata*), Kikuyo (*Penisetum clandestinum*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*). Antes del parto, las ovejas pastaron en residuos de la cosecha de pastos, sorgo y maíz. Durante el periodo de apareamiento, con una duración de 40 días, y después de parir, las ovejas fueron estabuladas. Como complemento se les dio alimento concentrado adecuado a su etapa fisiológica; mantenimiento (131 g de PC y 3.4 Mcal), gestación (148 g de PC y 3.8 Mcal), último tercio de gestación (232 g de PC y 6.0 Mcal) y lactancia (353 g de PC y 7.6 Mcal) EM/día. Se realizó un programa anual de vacunación, eliminación de parásitos internos y baños antiparasitarios para los

kg. The animals were individually weighed every 28 days until weaning, which occurred at an average age (range) of 68.2 (41-107) days.

Data and statistical analysis

Data of lambs without genealogical information were discarded. Extreme values at more than three standard deviations above or below weaning weight average, were excluded from the final analysis. Number of observations used in final analysis are shown in Table 1.

Linear mixed models were used for the analysis of weaning weights, using ASREML software.¹⁹ In order to estimate robust and practical factors, two levels of types of birth were defined (single and multiple); the age of the ewe was grouped in four classes (≤ 2 , 3, 4 y ≥ 5 years). The fixed effects included in the preliminary models were sex (female, male), age of the dam, type of birth, year of birth (1992-2004) and all two- and three-way interactions that involved sex, age of the dam, type of birth. The covariates, days at weaning and days at weaning squared, were also included. Random effects were direct genetic effect, maternal genetic effect and error. The final model was similar with respect to the random effects, but included only the significant ($P < 0.05$) fixed effects of sex, age of the dam, type of birth, year of birth, age of the dam $\times$ type of birth interaction, as well as days at weaning and days at weaning squared.

The direct and maternal genetic effects were considered as not correlated in the final model, because the correlation was not significant ($P > 0.05$) in the likelihood ratio test.¹⁹ The effect of the season of birth was not included in the analysis models because more than 95% of the lambings took place between January and April and in preliminary analyses no differences ($P > 0.05$) between months of birth were found. All the analyses included the complete relationship (A) between all analyzed lambs. The pedigree file included, in addition to the lambs with data, 385 base animals without known ancestors. That information comes from an equivalent of eight complete discrete generations; therefore, is suited for the study of maternal effects with a model that includes the permanent environmental effect, because the pedigree and the weaning weights of the females were available and there was repeated information from them and multiple births.^{4,5}

Multiplicative adjustment coefficients for each effect level were obtained, by dividing the least-square mean for the level with the highest value, over the least-square mean for the level for which the adjustment factor is being calculated (Table 2).

Besides the analysis of weaning weight with the already described model (PDMOD), other three

animales. El desecho entre las ovejas fue por infertilidad, vejez y problemas de salud.

Los corderos fueron mantenidos en estabulación desde el nacimiento hasta su venta. Durante ese periodo los animales recibieron dietas diferentes de acuerdo con la edad, empezando con dieta de *creep feeding* (240 g de PC y 5.7 Mcal) EM/día, durante la lactancia. Posteriormente ese alimento se proporcionó en forma restringida hasta que los animales llegaron a los 40 kg de peso. Asimismo, se les pesó individualmente cada 28 días, hasta el destete, que ocurrió en promedio (rango), a los 68.2 (41-107) días de edad.

Datos y análisis estadísticos

Los datos de corderos sin información genealógica fueron eliminados. Los valores extremos a más de tres desviaciones de estándar sobre o abajo del promedio para el peso al destete fueron excluidos del análisis final. Los números de datos usados en el análisis final se muestran en el Cuadro 1.

Se usaron modelos lineales mixtos para el análisis del peso al destete, usando el software ASREML.¹⁹ Para estimar factores robustos y fáciles de utilizar, se definieron dos niveles de tipos de nacimiento (simples y múltiples); la edad de la oveja fue agrupada en cuatro clases (≤ 2 , 3, 4 y ≥ 5 años). Los efectos fijos incluidos en los modelos preliminares fueron: sexo (hembra, macho), edad de la madre, tipo de nacimiento, año de nacimiento (1992-2004) y todas las interacciones de dos y tres vías que implicaban sexo, edad de la madre y tipo de nacimiento. Se incluyeron también las covariables días al destete y días al destete al cuadrado. Los efectos aleatorios fueron efecto genético directo, efecto genético materno, efecto de ambiente permanente materno y error. El modelo final fue similar en cuanto a los efectos aleatorios, pero conservó solamente los efectos fijos significativos ($P < 0.05$) del análisis preliminar, que fueron sexo, edad de la madre, tipo de nacimiento, año del nacimiento, interacción edad de la madre $\times$ tipo de nacimiento y de las covariables días al destete y días al destete al cuadrado.

Los efectos genéticos directos y maternos fueron considerados no correlacionados en este modelo final, porque la correlación no fue significativa ($P > 0.05$) al ser evaluada con la prueba de razón de verosimilitudes.¹⁹ El efecto de la estación del nacimiento no se incluyó en los modelos de análisis porque más de 95% de los partos ocurrieron entre enero y abril, y los análisis preliminares mostraron que no hubo efecto de mes de nacimiento ($P > 0.05$). Todos los análisis incluyeron la matriz de relación (A) completa entre todos los corderos analizados. El archivo de pedigrí incluyó, además de los corderos con datos, 385 animales base sin ancestros conocidos. Esta información

Cuadro 1

MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS Y SIGNIFICANCIA PARA LOS EFECTOS
ESTUDIADOS PARA PESO AL DESTETE EN CORDEROS SUFFOLK
LEAST-SQUARE MEANS AND SIGNIFICANCE FOR THE STUDIED
EFFECTS FOR WEANING WEIGHT IN SUFFOLK LAMBS

<i>Effect</i>	<i>n</i>	<i>Mean (kg)</i>	<i>SE</i>	<i>Numerator d.f.</i>	<i>Error d.f.</i>	<i>F value</i>	<i>P-value</i>
<i>Sex:</i>				1	2 149	79.23	< 0.0001
Females	1 121	22.26	0.29				
Males	1 051	24.04	0.29				
<i>Type of birth:</i>				1	2 149	472.03	< 0.0001
Multiple	1 509	20.72	0.28				
Single	663	25.58	0.32				
<i>Age of dam (years):</i>				3	2 149	13.25	< 0.0001
≤ 2	457	21.98	0.36				
3	434	23.79	0.38				
4	431	23.79	0.38				
≥ 5	850	23.03	0.31				
<i>Type of birth × Age of the dam</i>				3	2 149	4.52	0.003636
Single ≤ 2	181	23.90	0.45				
3	112	25.86	0.52				
4	105	26.59	0.52				
≥ 5	265	25.96	0.38				
Multiple ≤ 2	276	20.06	0.40				
3	322	21.72	0.39				
4	326	20.99	0.39				
≥ 5	585	20.11	0.33				
<i>Year of birth:</i>				12	2 149	13.26	< 0.0001
1992	136	19.99	0.56				
1993	181	19.74	0.52				
1994	207	19.48	0.45				
1995	215	21.98	0.45				
1996	160	21.51	0.47				
1997	218	23.48	0.46				
1998	179	25.93	0.46				
1999	146	25.85	0.52				
2000	144	25.13	0.50				
2001	167	24.63	0.49				
2002	129	25.33	0.54				
2003	149	23.87	0.53				
2004	141	24.00	0.57				
<i>Age at weaning</i>		-0.4334 ^a	0.12	1	2 149	198.13	< 0.0001
<i>Age at weaning</i> ²		0.0043 ^a	0.0009	1	2 149	24.73	< 0.0001

^a Regression coefficients

additional methods that used preadjustments were used. The preadjusted data were analyzed with mixed models similar to that already described, but excluding the fixed effects preadjusted for each case. In the first, the weaning weight was preadjusted linearly for days at weaning (68 days) as: $PA68D = \text{birth weight} + [(\text{weaning weight} - \text{birth weight}) / (\text{days at weaning})] \times 68$, where PA68D is weaning weight adjusted to 68 days. Thereafter, PA68D was adjusted for sex and combinations type of birth-age of dam using the adjustment factors obtained previously and was analyzed with a model that included the sole fixed effect of year of birth (PD68PRE). In the second method, PA68D was analyzed with a model that included all the fixed effects, except for the effects of days at weaning and days at weaning squared, to evaluate only the effect of adjusting linearly the lambs' age (PD68MOD); finally, PA68D was adjusted for sex, type of birth and dams' age effects, with the factors recommended for the United States of America Suffolk population,* adapted for this population, by multiplying male records by 0.91, multiple births by 1.19 and records from two-year old or younger dams by 1.05 and was analyzed with a model containing only the fixed effect of year of birth (PD68USA).

The models were compared using the residual coefficient of variation (CV_R), the genetic parameters

proviene del equivalente a ocho generaciones discretas, es adecuada para el estudio de efectos maternos con un modelo que incluye el efecto de ambiente permanente, pues se contó con el pedigrí de las hembras, sus pesos al destete, información repetida de ellas y partos múltiples.^{4,5}

Se obtuvieron coeficientes multiplicativos de corrección para los niveles de cada efecto, dividiendo la media minimocuadrática para el nivel con el valor más alto, entre la media minimocuadrática del nivel para el que se quiere obtener el factor de corrección (Cuadro 2).

Además del análisis del peso al destete con el modelo final ya descrito (PDMOD), se utilizaron otros tres métodos de preajuste de los datos que fueron analizados con modelos mixtos similares al descrito, pero que excluyeron los efectos fijos preajustados en cada caso. En el primero, el peso al destete fue preajustado en forma lineal para la edad al destete (68 días) como: $PA68D = \text{peso al nacimiento} + [(\text{peso al destete} - \text{peso al nacimiento}) / (\text{edad al destete en días})] \times 68$, donde PA68D es el peso ajustado a 68 días. Posteriormente, PA68D se ajustó para sexo y para las combinaciones tipo de nacimiento-edad de la madre usando los factores de corrección obtenidos previamente y se analizó con un modelo que incluyó sólo el efecto del año de nacimiento (PD68PRE). En el segundo método,

Cuadro 2
FACTORES DE CORRECCIÓN MULTIPLICATIVOS PARA SEXO,
TIPO DE NACIMIENTO Y EDAD DE LA MADRE PARA PESO
AL DESTETE EN CORDEROS SUFFOLK
MULTIPLICATIVE ADJUSTMENT FACTORS FOR SEX, TYPE
OF BIRTH, AND AGE OF THE DAM FOR WEANING WEIGHT
IN SUFFOLK LAMBS

<i>Effect</i>		<i>Adjustment factors</i>	
<i>Sex:</i>			
Female		1.08	
Male		1.00	
<i>Type of birth:</i>			
Single	≤ 2	1.11	
	3	1.03	
	4	1.00	
	≥ 5	1.02	
	Multiple	≤ 2	1.33
		3	1.22
		4	1.27
		> 5	1.32

(direct and maternal heritability and variance proportion of permanent environmental effects (c^2), and using Pearson and Spearman correlation coefficients between the empirical BLUPs²⁰ for the direct and maternal genetic effects with the different methods using lambs with available weaning weight data. The reference method was included all the effects in the model for analysis (PDMOD). In order to assess the effect of adjusting all studied environmental effects in the CV_R, an additional model including only the fixed effect of year of birth, was used to analyze the unadjusted weaning weight (PDNOAJ).

Results

The significance of the effects included in the final model (PDMOD) are shown in Table 1. The effects of sex, type of birth, dams' age, type of birth $\times$ dams' age, days at weaning and days at weaning squared were all significant ($P < 0.01$).

The adjustment factors (Table 2) were obtained adjusting data based on male lamb from a single birth, born from a four-year old dam. The multiplicative factors adjust for differences between averages and possible differences in variances, by adding a proportion and not a fixed amount.

In Table 3 the genetic parameters and residual coefficients of variation for each correction method are displayed. Table 4 shows Pearson's' and non-parametric Spearman correlations, between the maternal and direct genetic effects obtained by the studied adjustment methods.

Discussion

Sex of the lamb effect

In agreement with previous studies,⁶⁻¹³ in this present study, weaning weights of males were higher than female lambs, which is attributed to hormonal differences with effects on growth. The value of the difference observed in this study in favor of male lambs (8%), is slightly lower than the estimates for the United States of America breeds, of 9.0% to 9.6%.^{6,9,10} The adjustment factor used in the United States of America to adjust the weaning weights of males to a female basis (0.91) is equivalent to an estimated male superiority of 10%.¹⁷

Age of the dam effect

The fact that younger ewes have lighter lambs, as it was found here, has been reported by other authors.⁶⁻¹⁴ Younger ewes are still growing and require to satisfy their nutritional requirements for foetal and own

PA68D fue analizado con un modelo que incluyó todos los efectos fijos, excepto las covariables edad al destete y edad al destete al cuadrado, para evaluar exclusivamente el efecto de preajustar linealmente la edad del cordero (PD68MOD); por último, PA68D se ajustó para los efectos de sexo, tipo de nacimiento y edad de la madre, con los factores recomendados para la población Suffolk de Estados Unidos,* adaptados a esta población, multiplicando los registros de los machos por 0.91, los partos múltiples por 1.19 y los registros de hembras de dos años o menos por 1.05 y se analizó con un modelo que contuvo solamente el efecto fijo de año de nacimiento (PD68USA).

Los modelos se compararon usando los coeficientes de variación residual (CV_R), los parámetros genéticos (heredabilidad directa y materna y proporción de la varianza de efectos de ambiente permanente (c^2), y utilizando las correlaciones de Pearson y Spearman entre los BLUP empíricos²⁰ de los efectos genéticos directos y maternos con los distintos métodos para los corderos con datos para peso al destete. El método de referencia incluyó todos los efectos en el modelo de análisis (PDMOD). Para evaluar el efecto de ajustar para todos los efectos ambientales estudiados en el CV_R, se usó un modelo adicional para analizar el peso al destete sin ajustar, en el que sólo se incluyó el efecto fijo del año de nacimiento (PDNOAJ).

Resultados

La significancia de los efectos incluidos en el modelo final (PDMOD) se muestra en el Cuadro 1. Los efectos de sexo, tipo de parto, edad de la madre, tipo de parto $\times$ edad de la madre, días al destete y días al destete al cuadrado fueron significativos ($P < 0.01$).

Los factores de corrección (Cuadro 2) se obtuvieron de modo que los datos se ajustaron con base en cordero macho de parto sencillo, nacido de madre de cuatro años de edad. Los factores multiplicativos corrigen para diferencias entre promedios y para posibles diferencias entre varianzas, añadiendo una proporción y no una diferencia fija.

El Cuadro 3 muestra parámetros genéticos estimados y coeficientes de variación residuales para cada método de corrección. En el Cuadro 4 se muestran las correlaciones de Pearson y las no paramétricas de Spearman, entre las evaluaciones de los efectos genéticos directos y maternos obtenidas con los métodos de corrección estudiados

*American Sheep Industry Association Inc., Estados Unidos de América.

Cuadro 3

PARÁMETROS ESTIMADOS PARA CINCO MÉTODOS DE CORRECCIÓN
 PARA ESO AL DESTETE EN CORDEROS SUFFOLK
 ESTIMATED PARAMETERS FOR FIVE ADJUSTMENT METHODS FOR WEANING
 WEIGHT IN SUFFOLK LAMBS

<i>Parameter estimate</i>	<i>Method</i>				
	<i>PDMOD</i>	<i>PD68PRE</i>	<i>PD68MOD</i>	<i>PD68USA</i>	<i>PDNOAJ</i>
Direct heritability	0.03	0.03	0.03	0.04	0.09
Maternal heritability	0.07	0.08	0.07	0.08	0.05
Proportion of permanent environmental effects (c^2)	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10
Error variance (kg^2)	18.29	28.90	19.24	22.59	23.88
Phenotypic variance (kg^2)	22.97	36.51	24.14	28.68	31.45
Mean (kg)	22.53	27.78	22.53	24.39	22.53
CV _R (%) ^a	18.98	19.35	19.47	19.49	21.69

^a Residual coefficient of variation = error variance^{0.5}/mean × 100.

Cuadro 4

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON Y SPEARMAN ENTRE LAS EVALUACIONES
 DE LOS EFECTOS GENÉTICOS DIRECTOS Y MATERNOS EN CORDEROS SUFFOLK
 CON DISTINTOS MÉTODOS DE CORRECCIÓN
 PEARSON'S AND SPEARMAN'S CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN EVALUATIONS
 OF DIRECT AND MATERNAL GENETIC EFFECTS IN SUFFOLK LAMBS WITH DIFFERENT
 ADJUSTMENT METHODS

<i>Methods (direct effects)</i>		<i>Pearson's</i>	<i>Spearman's</i>	<i>P-value</i>
PD68PRE	PD68MOD	0.99	0.99	< 0.0001
PDMOD	PD68MOD	0.98	0.98	< 0.0001
PDMOD	PD68PRE	0.97	0.97	< 0.0001
PD68USA	PD68MOD	0.99	0.99	< 0.0001
PD68USA	PD68PRE	0.98	0.98	< 0.0001
PD68USA	PDMOD	0.98	0.98	< 0.0001
<i>Methods (maternal effects)</i>				
PD68PRE	PD68MOD	0.99	0.99	< 0.0001
PDMOD	PD68MOD	0.98	0.98	< 0.0001
PDMOD	PD68PRE	0.98	0.98	< 0.0001
PD68USA	PD68MOD	0.99	0.99	< 0.0001
PD68USA	PD68PRE	0.98	0.98	< 0.0001
PD68USA	PDMOD	0.97	0.96	< 0.0001

growing. The maternal ability (in particular milk yield) increases with age and body weight.^{6,7,10,11}

The maximum difference found between weaning weight averages of mature ewes younger ewes' sons found in this study was 8% (three and four-year old ewes compared with ≤ 2 year-old ewes) and was within the range of 6.0% to 16.1% observed in previous studies.⁶⁻¹⁴ The adjustment factor for ≤ 2 year-old ewes in regard to 3-6 years old ewes for Suffolk in the United States of America is 1.05,¹⁷ which is lower to the corresponding factor for this study, with a value of approximately 1.07.

Type of birth effect

The lambs born from single lambings had, in average, weaning weights 23.4% higher than those born from multiple births. Other authors had also found important effects of the type of birth and type of rearing. These effects are originated in the need by the lambs born from multiple lambings to share limited amounts of resources (milk, care).⁶⁻¹³ The adjustment factor for the Suffolk breed in the United States of America for twin lambs, raised as twins, is 1.19,¹⁷ that is a bit lower compared to the average value found in this study (1.23) comparing multiple birth lambs to single born lambs without an additional distinction for the type of rearing.

Interaction effects

Age of dam $\times$ type of birth interaction effect was significant; therefore, here multiplicative adjustment factors were developed for these two effects, simultaneously. The difference between single and multiple born lambs increased with the age of the dam; that may be due to an age effect on milk production in the ewes, although the presence of a greater proportion of triplets in older ewes could have influenced (Table 2). In other studies different interaction effects have been found in several sheep populations.^{6,7,10} Nevertheless, no interaction effects were found between environmental effects using data of Suffolk flocks in the United States of America.⁶

Comparison of adjustment methods

The estimates of the genetic parameters are similar for the four methods compared (Table 3). For PDNOAJ there was an increase in the direct heritability and a decrease of the maternal heritability (Table 3), which indicates biases caused by confusions between these genetic effects and unadjusted environmental effects.

The CV_R for the PDMOD method was lower;¹⁸ however, the increases in CV_R for the other methods were

Discusión

Efecto del sexo del cordero

En coincidencia con estudios previos,⁶⁻¹³ en este estudio los pesos al destete de los machos fueron superiores a los de las hembras, lo que se atribuye a diferencias hormonales con efectos en el crecimiento. El valor de la diferencia observada en este estudio en favor de los machos (8%) es ligeramente inferior a los estimados para razas en Estados Unidos, de 9.0% a 9.6%.^{6,9,10} El factor de corrección usado en la Unión Americana para ajustar los pesos al destete de los machos a base hembra en Suffolk (0.91) equivale a una superioridad de los machos estimada en 10%.¹⁷

Efecto de la edad de la madre

El hecho de que ovejas más jóvenes tengan corderos más ligeros, como se halló aquí, lo han mencionado otros autores.⁶⁻¹⁴ Las ovejas jóvenes aún están creciendo y requieren satisfacer las demandas de nutrientes para el crecimiento fetal y propio. La habilidad materna (en especial la producción de leche) aumenta con la edad y peso corporal.^{6,7,10,11}

La diferencia máxima encontrada entre promedios de pesos al destete de hijos de ovejas maduras con ovejas más jóvenes, encontrada en este estudio, fue de 8% (ovejas de tres y cuatro años comparadas con ovejas de ≤ 2 años) y estuvo dentro del rango de 6.0% a 16.1% observado en estudios previos.⁶⁻¹⁴ El factor de ajuste para ovejas de ≤ 2 años respecto de ovejas de 3-6 años de edad para Suffolk en Estados Unidos es 1.05,¹⁷ que es menor al factor equivalente para este estudio, que sería alrededor de 1.07.

Efecto del tipo de nacimiento

Los corderos nacidos de partos sencillos tuvieron, en promedio, pesos al destete 23.4% mayores que los nacidos de partos múltiples. Otros autores han encontrado también importantes efectos del tipo de nacimiento y tipo de crianza. Estos efectos se originan en la necesidad de los corderos nacidos de partos múltiples de compartir una cantidad limitada de recursos de la madre (leche, cuidados).⁶⁻¹³ El factor de ajuste para la raza Suffolk en Estados Unidos para corderos nacidos de parto doble y criados como dobles, comparados con corderos nacidos sencillos y criados como sencillos, es 1.19,¹⁷ que es menor al valor promedio de 1.23 encontrado en este estudio al comparar corderos de parto múltiple con corderos de parto sencillo, sin hacer distinción adicional para el tipo de crianza.

small, with a maximum difference of 0.51%, comparing PDMOD with PD68USA (Table 3). The four adjustment methods had lower CV_R than PDNOAJ. The CV_R value for PDMOD was lower than PD68PRE by 0.37%, indicating that the inclusion of the covariates days at weaning and days at weaning squared in the model resulted in a slightly better adjustment compared with linearly pre-adjust the data to a fixed age. This result is due to the presence of a quadratic effect, indicating a non-linear (concave) relationship between weight and age (Table 1). This was caused by the large range of ages at weaning included in this study (40-107 days). The maximum adjustment value for all of these effects within year (2.71%), is estimated from the difference between CV_R values for PDMOD and PDNOAJ (Table 3).

The values for the Spearman's correlations between the empirical BLUPs of the direct effects, and between the empirical BLUPs of the maternal effects with the different methods were close to 1 and highly significant ($P < 0.0001$) (Table 4). The values of the Pearson's correlations were essentially identical to those of the Spearman's.

Considered together, the differences between the model adjustments and the adjustment methods were small and their effects in the ranking of the animals for breeding were minimal. Although it is known that the use of factors from the United States of America Suffolk population in this population will give biased adjustments, because the adjustment factors are not identical; these differences are not decisive in the ranking of the animals for either direct or maternal genetic effects for breeding, indicating that the impact on the genetic progress will be minimal. This shows that the use of adjustment factors obtained from other populations can be a good practical option when the production systems are similar.

The analysis of data with a complete mixed model was more accurate than using preadjusted data with factors obtained from historical data from the same flock or using factors estimated in other populations. That was due to a better modeling of a non-linear relationship between the age and weight at weaning.

The use of factors developed in other populations can increase the accuracy in sheep selection for weaning weights in commercial flocks, while enough information is gathered to develop their own adjustment factors or using mixed models that include these effects on them. Because of that, the factors developed here are useful to standardize Suffolk data from other flocks in Mexico for sex, type of birth and age of the dam.

Acknowledgements

Special thanks to CEIEPO staff, as well as to the Secre-

Efectos de interacción

El efecto de la interacción de la edad de la madre $\times$ tipo de nacimiento fue significativa; por tanto, aquí se desarrollaron factores multiplicativos de corrección para estos dos efectos simultáneamente. La diferencia entre corderos nacidos de parto sencillo y múltiple aumentó con la edad de la madre, lo que puede deberse a un efecto de la edad en producción de leche en las ovejas, aunque también pudo influir la presencia de mayor proporción de partos triples en los grupos de más edad (Cuadro 2). En otros estudios se observaron diversos efectos de interacción en estudios en varias poblaciones de ovinos.^{6,7,10} Sin embargo, no se hallaron efectos de interacción entre efectos ambientales usando datos de rebaños Suffolk de Estados Unidos.⁶

Comparación de métodos de corrección

Los parámetros genéticos estimados son similares para los cuatro métodos comparados (Cuadro 3). Para PDNOAJ hubo aumento en la heredabilidad directa y disminución de la heredabilidad materna (Cuadro 3), que indica sesgos por confusiones entre estos efectos genéticos y efectos ambientales no corregidos.

El CV_R para el método PDMOD fue menor;¹⁸ sin embargo, los incrementos en los CV_R para los otros métodos de corrección fueron pequeños, con diferencia máxima de 0.51%, al comparar PDMOD con PD68USA (Cuadro 3). Los cuatro métodos de corrección tuvieron CV_R menores a los de PDNOAJ. El valor de CV_R fue menor para PDMOD que para PD68PRE con diferencia de 0.37%, lo que indica que la inclusión de las covariables lineal y cuadrática de la edad al destete en el modelo resultó en un ajuste ligeramente mejor que preajustar linealmente los datos a una edad fija. Este resultado se debe a la presencia de un efecto cuadrático significativo que indica una relación no lineal (cóncava) entre el peso y la edad (Cuadro 1). Esto último tiene relación con el elevado rango de edades al destete consideradas en este estudio (40-107 días). El valor máximo de corregir para todos estos efectos en la selección dentro de año, se estima mediante la diferencia entre los valores del CV_R para PDMOD y para PDNOAJ, que fue de 2.71% (Cuadro 3).

Los valores para las correlaciones de Spearman entre los BLUP empíricos de los efectos directos y entre los BLUP empíricos de los efectos maternos con distintos métodos fueron cercanos a 1 y altamente significativos ($P < 0.0001$) (Cuadro 4). Los valores de las correlaciones de Pearson fueron prácticamente idénticos a los de Spearman.

Consideradas en conjunto, las diferencias en el

taria de Relaciones Exteriores, of Mexico, and the Scholarship Council of the Ministry of Education of China, for the scholarship, to visit Mexico, of the first author, and for the support for data analysis.

Referencias

1. SAFARI E, FOGARTY NM, GILMOUR AR. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livest Prod Sci* 2004;92:271-289.
2. MAXA J, NORBERG E, BERG P, MILERSKI M. Genetic parameters for body weight, longissimus muscle depth and fat depth for Suffolk sheep in the Czech Republic. *Small Rumin Res* 2006;72:87-91.
3. NOTTER DR. The U.S. National Sheep Improvement Program: across-flock genetic evaluations and new trait development. *J Anim Sci* 1998;76:2324-2330.
4. CLEMENT V, BIBE B, VERRIER E, ELSEJ JM, MANFREDI E, BOUIX J *et al.* Simulation analysis to test the influence of model adequacy and data structure on the estimation of genetic parameters for traits with direct and maternal effects. *Genet Sel Evol* 2001;33:369-395.
5. BIJMA P. Estimating maternal genetic effects in livestock. *J Anim Sci*. 2006;84:800-806.
6. NOTTER DR, SWIGER LA, HARVEY WR. Adjustment factors for 90-day lamb weight. *J Anim Sci* 1975;40:383-391.
7. LEWIS RM, SHELTON M, SANDERS JO, NOTTER DR, PIRIE WR. Adjustment factors for 120-day weaning weight in Rambouillet range lambs. *J Anim Sci* 1989;67:1107-1115.
8. BOUNJENANE I, KERFAL M. Estimates of genetic and phenotypic parameters for growth traits of D'man lambs. *Anim Prod* 1990;51:173-178.
9. BOGGESS MV, WILSON DE, ROTHSCCHILD MF, MORRICAL DG. National sheep improvement program: age adjustment of weaning weight. *J Anim Sci* 1991;69:3190-3201.
10. WILSON DE, ROTHSCCHILD MF, BOGGESS MV, MORRICAL DG. Adjustment factors for birth weight and 30-day, 60-day, and 90-day weaning weight in sheep. *J Anim Breed Genet* 1996;113:29-41.
11. YAZDI MH, EFTEKHARI-SHAHROUDI F, HEJAZI M, LILJEDAHN LE. Environmental effects on growth traits and fleece weights in Baluchi sheep. *J Anim Breed Genet* 1998;115:445-465.
12. MATIKA O, VAN WYK JB, ERASMUS GJ, BAKER RL. A description of growth, carcass and reproductive traits of Sabi sheep in Zimbabwe. *Small Rumin Res* 2003;48:119-126.
13. ASSAN N, MAKUZA SM. The effect of non-genetic factors on birth weight and weaning weight in three sheep breeds of Zimbabwe. *Asian Australas J Anim Sci* 2005;18:151-157.
14. NOTTER DR, BORG RC, KUEHN LA. Adjustment of lamb birth and weaning weights for continuous effects of ewe age. *Anim Sci* 2005;80:241-248.
15. RANSOM KP, MULLANEY PD. Effects of sex and some

ajuste de los modelos entre los métodos de corrección fueron pequeñas y sus efectos en la jerarquización de los animales con fines de selección fueron mínimos. Aunque se sabe que el uso de factores de la población Suffolk de Estados Unidos dará correcciones sesgadas, dado que los factores de corrección no son idénticos; estas diferencias no tuvieron efecto determinante en la jerarquización de los animales para los efectos directos o maternos para la selección, indicando que su impacto en el progreso genético será mínimo, ello indica que el uso de factores de corrección obtenidos en otras poblaciones es buena opción cuando los sistemas de producción son semejantes.

El análisis con un modelo mixto completo fue más preciso que usar datos preajustados con factores obtenidos de datos históricos del mismo rebaño o utilizar factores estimados en otras poblaciones, ello se debió a mejor modelación de una relación no lineal entre la edad al destete y el peso al destete.

El uso de factores desarrollados en otras poblaciones incrementa la precisión de la selección de cordeles para peso al destete en hatos comerciales, en tanto se reúne información para desarrollar factores de corrección propios o realizar análisis de la información con modelos mixtos que incluyan estos efectos. Por ello, los factores de corrección desarrollados aquí son útiles para estandarizar datos de Suffolk en otros rebaños de México para los efectos de sexo, tipo de nacimiento y edad de la madre.

Agradecimientos

Se agradece al personal del CEIEPO su apoyo, así como a la Secretaría de Relaciones Exteriores, de México, y al Consejo de Becas de la Secretaría de Educación, de China, por la beca, para visitar México, al primer autor y por el apoyo para el análisis de datos.

-
- environmental factors on weaning weight in sheep. *Aust J Exp Agric Anim Husb* 1976;16:19-23.
 16. POWELL RL, NORMAN HD. Major Advances in Genetic Evaluation Techniques. *J Dairy Sci* 2006;89:1337-1348.
 17. AMERICAN SHEEP INDUSTRY ASSOCIATION INC. Sheep production handbook. Denver USA; ADS/Nighting Publishing, 2003.
 18. RUMPH JM, VAN VLECK LD. Age-of-dam adjustment factors for birth and weaning weight records of beef cattle: a review. *Genet Mol Res* 2004;3:1-17.
 19. GILMOUR AR, GOGEL BJ, CULLIS BR, WELHAM SJ, THOMPSON R. ASReml User Guide. Release 1.0. Hemel Hempstead, HP11ES, UK: VSN International Ltd, 2002.
 20. THOMPSON R, BROTHERSTONE S, WHITE IMS. Estimation of quantitative genetic parameters. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2005;360:1469-1477.