

Información climática asociada a estaciones productivas para el ajuste de modelos estadísticos de sistemas bovinos bajo condiciones extensivas

Herrera-Ojeda, J.B.¹; Parra-Bracamonte, G.M.^{2@}; Herrera-Camacho, J.¹; López-Villalobos, N.^{3,4}; Magaña-Monforte, J.G.⁵; Martínez-González, J.C.⁶; Lobit, P.¹ y Vázquez-Armijo, J.F.⁴

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Morelia. Michoacán. México.

²Instituto Politécnico Nacional-Centro de Biotecnología Genómica. Reynosa. Tamaulipas. México.

³Institute of Veterinary. Animal and Biomedical Sciences. Massey University. Palmerston North. New Zealand.

⁴Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Universidad Autónoma del Estado de México. Temascaltepec. Estado de México. México.

⁵Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán. México.

⁶Universidad Autónoma de Tamaulipas Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Victoria. Ciudad Victoria. Tamaulipas. México.

RESUMEN

El objeto de este estudio fue desarrollar una metodología para clasificar épocas de nacimiento (EN) y evaluar su impacto en indicadores productivos al compararlas con un método tradicional de clasificación. Con información meteorológica, se generó un índice de aridez para clasificar las EN. Las EN propuesta y tradicional se compararon, incluyéndolas como grupo contemporáneo (GC= hato, sexo, año y EN) a modelos de evaluación genética de caracteres de peso vivo. Fueron estimados los componentes de varianza y valores genéticos (DEP) con sus exactitudes. La clasificación propuesta explicó mayor variabilidad que la clasificación tradicional ($\geq 9,8\%$). Los parámetros genéticos mostraron cambios importantes, siendo los más evidentes en peso al destete. Los modelos fueron diferentes de acuerdo a la prueba de razón de verosimilitudes ($P < 0,01$). Se observó una mejora de estructura en los GC. Para los dos caracteres evaluados las correlaciones entre los valores genéticos de los animales fueron diferentes, lo que indica cambio en la jerarquización. Este método de clasificación de EN puede ayudar a mejorar el ajuste de modelos estadísticos en condiciones en las que exista la información climática necesaria para su implementación.

Climatic information associated to seasonal information for estadistical model fitting in bovine extensive production systems

SUMMARY

A study was designed to develop a birth season (BS) classification methodology and assess its impact on live weight traits when compared to a traditional BS classification method. Using meteorological information, and aridity index was computed. The proposed and traditional BS were compared by including them into contemporary groups (CG= herd, sex, year and BS) to adjust genetic evaluation models of studied traits. The variance components and breeding values with accuracies were estimated and compared. The proposed BS explained more phenotypic variation than traditional ($\geq 9.8\%$). Genetic parameters showed important changes, more evident for weaning weight. According to the likelihood ratio test the compared models were statistically different ($P < 0.01$). An improvement in CG structure was observed. Genetic correlations of breeding values showed important differences suggesting hierarchy changes. This method of BS classification might improve the statistical model fitting when meteorological information could be available.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Bovinos.
Charolais.
Evaluación genética.
Índice de aridez.
Modelo estadístico.
Peso vivo.

ADDITIONAL KEYWORDS

Aridity index.
Bovines.
Charolais.
Genetic evaluation.
Live weight.
Statistical model.

INFORMATION

Cronología del artículo.

Recibido/Received: 26.10.2016

Aceptado/Accepted: 26.03.2017

On-line: 15.01.2018

Correspondencia a los autores/Contact e-mail:

pabraman@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El efecto del clima en la producción animal se ha estudiado desde hace más de medio siglo, y se reconoce como un factor variable y complejo que condiciona

e impacta el ambiente en el que los animales viven y se reproducen (Arias et al. 2008, p. 7; Berman 2011, p. 2147). El clima afecta al ganado en maneras diferentes, modifica la calidad y/o cantidad de los alimentos disponibles, el requerimiento de agua y energía, la

cantidad de energía consumida y su uso. Los animales enfrentan el clima adverso mediante modificaciones de sus mecanismos fisiológicos y de comportamiento, así mantienen su temperatura corporal en un intervalo normal. Como consecuencia es posible observar alteraciones en el consumo de alimento, en el comportamiento y la productividad, que se reflejan en cambios en algunos indicadores importantes del crecimiento, como los pesos al destete y las ganancias diarias de peso (Nardone et al. 2006, p. 75; Nienaber & Hahn 2007, p. 151). Estos efectos se observan sobre todo en condiciones extensivas de manejo.

Los modelos usados para análisis estadísticos de características productivas incluyen la época o el mes de nacimiento como uno de los principales factores que inciden sobre la expresión del potencial productivo de los animales (Martínez et al. 2008, p. 366 ; Chin et al. 2012, p.56). Por ejemplo, dentro de las evaluaciones genéticas, para poder estimar parámetros y valores genéticos de cada animal con alta confiabilidad, los modelos mixtos incluyen la época de nacimiento como un efecto fijo para evitar sobreestimaciones de la varianza capturada en los valores genéticos estimados. Martínez et al. (1998, p.270), señalan que el mes o época de nacimiento (período estacional en el que ocurre el nacimiento), puede llegar a contribuir hasta con el 13% de la variación de los pesos al nacimiento (PN) y al destete (PD).

La época de nacimiento involucra diversos factores climáticos reconocidos por impactar la variabilidad de estos indicadores de producción (Nienaber & Hahn 2007, p. 158) y por lo general, los efectos ambientales que determinan la variación en las características de crecimiento son diferentes según la zona agroecológica, el sistema de explotación y la población que se estudia (Ramírez et al. 2008 p.360; Garrick, 2010). Al respecto, cuando se ha tratado de definir estos períodos climáticos, para el ajuste de modelos estadísticos en características productivas, el criterio principal para la clasificación es la definición específica asociada a la presencia o ausencia de la precipitación pluvial, clasificando los climas simplemente en secos o lluviosos (Parra et al. 2007, p. 264; Martínez et al. 2010, p. 888), aunque algunos autores han incluido también la temperatura (Medina et al. 2005, p. 237), estaciones del año (Ríos et al. 2007, p. 123) o criterios definidos por clústeres entre meses durante el año (Ríos et al. 2012, p. 278).

Los diferentes criterios, contemplan generalmente ciertos componentes climáticos que podrían ser inexactos al explicar la variación que define un determinado período del año, ya que el clima está determinado por circunstancias atmosféricas globales, pero posee un comportamiento específico para cada zona o porción del espacio, es decir el factor decisivo es su unidad de lugar (Johnson 1987, p. 5; Morillo 1994, p. 2); . Hahn et al. (2003, p. 31044) definieron los principales elementos climáticos que afectan el desempeño del ganado bovino y corresponden a una compleja interacción de temperatura, humedad relativa, viento, precipitación y radiación solar. A la fecha, no existe una metodología que incluya a estos elementos como condicionantes de la variación del tiempo atmosférico en una época particular del año, y menos aún, relacionados con

indicadores de crecimiento en bovinos. Por lo que se propone una metodología más eficiente y conveniente para clasificar y describir períodos climáticos en la zona de estudio. El propósito es aportar información que minimice las fuentes de variación que inciden sobre la expresión fenotípica de los indicadores productivos (por ejemplo, el peso vivo) y poder mejorar la estimación de los parámetros genéticos requeridos en la evaluación genética, así como también la estimación de los valores genéticos de cada animal.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un método matemático para clasificar períodos climáticos en diferentes regiones de estudio, a través de un índice climatológico, y verificar su grado de influencia en el ajuste de modelos estadísticos de evaluación genética de características de peso vivo en bovinos bajo manejo extensivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio consideró la reclasificación y la validación de la información en modelos de ajuste estadístico para estimar la proporción de varianza que explicaría la nueva fuente de variación (el índice climatológico) en el ajuste de un modelo de evaluación genética. Siendo esta nueva fuente de variación la clasificación climática relativa a los períodos de crecimiento en los grupos contemporáneos. Para definir estos períodos y su relación con el crecimiento, se contó con las bases de datos de tres hatos de ganaderías de registro de ganado Charolais, en Sonora (Ron B) y Nuevo León (San Juan y Cieneguitas), México, que contaban con información genealógica y con registros de producción colectados de 1999 al 2013. Utilizando la localización geográfica de cada hato se obtuvo la información meteorológica diaria de tres estaciones cercanas a las regiones de los hatos incluidos en el estudio. Las estaciones meteorológicas consideradas fueron Hermosillo (H1:29°05'44"N 110°57'03"O), Mamulique (H2: 26°98'25"N 10°18'49"O) y Salinas Victoria (H3: 25°58'00"). Las estaciones seleccionadas poseían alrededor de 30 años de registros por estación y se verificaron más del 80% de los datos.

La información climatológica utilizada se obtuvo por medio del Extractor Rápido de Información Diaria (ERIC III versión 3.2.), que facilita la obtención de información de la base de datos CLICOM (clima computarizado) del banco de datos histórico de la Comisión Nacional del Agua (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] 2016). La información disponible consistió en datos históricos (de 30 años, 1985 a 2015) de información meteorológica diaria de la precipitación pluvial (PP), temperaturas medias (TM), mínimas y máximas, radiación solar (RS), humedad (H), velocidad del viento (VV). La clasificación propuesta se logró a través de la elaboración de un índice de aridez (IA), utilizando la precipitación pluvial y el índice de evapotranspiración (ET0).

La ET0 es la pérdida del agua a través de la superficie del suelo y de las hojas, variando de acuerdo a las condiciones medioambientales de la región de estudio (Allen et al. 2006, p.277). Existen diversos métodos para calcularlo, dichas ecuaciones utilizan datos clima-

$$ET0 = 2.45 \times 0.1555 \times Ra \times \sqrt{T_{Max} + T_{Min}} \times \left(9.967 \times 10^{-2} + 4.280 \times 10^{-3} \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} \right)$$

Figura 1. Formula de determinación del ET0 de acuerdo a Lobit et al. (2016). Donde: ET0= Índice de evapotranspiración, Ra= Radiación solar extraterrestre, TMax= Temperatura (Formula of determination of the ET0 according to Lobit et al. (2016). Where: ET0 = evapotranspiration index, Ra = extraterrestrial solar radiation, TMax = temperature).

tológicos de radiación diaria, temperatura, H y VV; sin embargo, la disponibilidad de toda esta información no siempre es fácil o confiable debido a posibles fallas en la medición de dichas variables en las estaciones meteorológicas, por lo que se prefirió utilizar un método que pudiera calcular el ET0 con limitada información climatológica, la ecuación Hargraves (1994, p.1134) recalibrada por Lobit et al. (2016), que puede calcular el ET0 utilizando solamente información de RS y Temperatura. Con la información de las variables climáticas y elementos del medio se realizó la determinación del ET0 de acuerdo a Lobit et al. (2016) (**Figura 1**).

Posteriormente, fueron estimados los IA en cada una de las estaciones, por medio de la metodología propuesta en el Diario Oficial de la Federación (1 de junio de 1995), para desarrollar criterio clasificatorio de la aridez a partir de la relación entre la precipitación pluvial diaria (PP) y la ET0, lo que permite clasificar regiones en áridas, semiáridas, subhúmedas y húmedas (UNEP, 1992), considerando los niveles de 0.0 a 0.20 para clasificar un mes árido (A), 0.21 a 0.50 como semiárido (SA), 0.51 a 0.65 como subhúmedo (SH) y >0.65 como húmedo (H; **Tabla I**). De esta manera la dinámica de IA fue considerada para cada hato particular de acuerdo a las estimaciones calculadas (**Figura 1**).

Las ecuaciones para elaborar el ET0 fueron elaboradas con diversos procedimientos contenidos en el software R (RDCT 2008).

VALIDACIÓN DEL EFECTO DE LA CLASIFICACIÓN PROPUESTA

Una vez establecidos los períodos climáticos por localización geográfica, utilizando el criterio de IA, se compararon dos modelos de ajuste para analizar las variables dependientes. Como comparación se consideró la clasificación utilizada por Ríos-Utrera et al. (2012, p.278), quienes clasificaron las épocas de nacimiento en 1) enero-marzo, 2) abril a junio, 3) julio-septiembre y, 4) octubre-diciembre. En un análisis de parámetros genéticos con ganado Charolais, de tal manera que el primer modelo se definió de acuerdo a esta clasificación para representar el método tradicio-

nal (MT); y el segundo modelo consideró la propuesta con el criterio de IA (MN). Se examinó la correlación entre las dos clasificaciones comparadas mediante el coeficiente de correlación de Spearman, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute 1996).

En el primer análisis entre MT y MN, se calculó el estimador de la época de nacimiento (EN) incluida como efecto aleatorio y el efecto del estimador (βE %), sobre el peso al nacimiento (PN) y peso al destete (PD) usando un modelo mixto que consideró los efectos fijos de la época y el hato de nacimiento, el sexo del animal y los efectos lineal y cuadrático de la edad de la vaca como covariables, más el efecto aleatorio del semental y el año de nacimiento. Estos análisis se realizaron utilizando el PROC MIXED del paquete estadístico SAS (SAS Institute1996).

Posteriormente, se ajustaron los mismo modelos (MT y MN) en el paquete de evaluaciones genéticas MTDFREML (Boldman et al.1995), el modelo más completo para PD fue matricial $Y = X\beta + Zd + Wm + e$, donde Y es el vector de observaciones para PD, X, Z y W son matrices conocidas de incidencia que relacionan las observaciones con sus respectivos vectores de efectos fijos y aleatorios; β es el vector de efectos fijos (grupo contemporáneo y la covariable de edad de la vaca); d es el vector de efectos genéticos aditivos directos; m es el vector de efectos genéticos aditivos maternos y e es el vector de efectos aleatorios residuales. El modelo para PN solamente incluyó el efecto genético directo. En ambos modelos el grupo contemporáneo estuvo integrado por animales del mismo hato, sexo año y época de nacimiento. La época de nacimiento se diferenciaba por la reclasificación entre modelos.

El criterio de convergencia de los modelos se fijó en 1×10^{-19} y se realizaron tres reinicios en el análisis hasta que el cambio en el logaritmo fue menor a 1×10^{-4} , para asegurar el mínimo global. Para este análisis la comparación se basó en la prueba de razón de verosimilitudes, que determina la diferencia entre los logaritmos de las funciones de verosimilitud (Log L), comparando el resultado con un valor de Chi-cuadrada, con un grado de libertad, al nivel 1% de probabilidad. La prueba de acuerdo a Lynch y Walsh (1998) puede presentarse

Tabla I. Categorías del índice de aridez (IA) utilizadas para la reclasificación de los períodos climáticos (Categories of the aridity index (IA) used for the reclassification of climatic periods).

Escala de IA	Categorías	Clave
0.00 a 0.20	Áridos	A
0.21 a 0.50	Semiáridos	SA
0.51 a 0.65	Subhúmedos secos	SH
> 0.65	Húmedos	H

Tabla II. Estadísticos descriptivos para peso al nacimiento (PN) y peso al destete ajustado a 205 días (PD) de bovinos Charolais de registro (kg) (Descriptive statistics for birth weight (PN) and weaning weight adjusted to 205 days (PD) of bovines registration trays (kg)).

Característica	n	Media	SD	Máximo	Mínimo
PN	855	40.49	0.22	62.0	20.0
PD	802	226.88	1.41	377.7	103.7

como $\lambda = -2(\text{Log } L \text{ MN} - \text{Log } L \text{ MT})$. Donde Log L= logaritmo de verosimilitud, con las reglas de decisión: Si $\lambda \geq x_2$, el modelo MN se acepta significativamente como diferente al modelo MT y si $\lambda \leq -x_2$, el modelo MT y el MN no son significativamente diferentes.

Una aproximación adicional para determinar el efecto de la clasificación propuesta fue ajustar nuevamente los modelos de evaluación genética, fijando los componentes de la varianza genética y conservando libre la varianza residual, de tal manera que la única diferencia posible fuera para los estimadores del grupo contemporáneo (GC). De cada modelo se estimaron las diferencias esperadas en la progenie (DEP) y sus exactitudes, estimando sus medias y desviaciones típicas. Posteriormente, fue extraído el 10% superior de los valores de DEP y sus exactitudes de acuerdo a una jerarquización basada en el modelo MT para cada característica, y considerando para PN los valores inferiores y para el PD los valores superiores. Se estimó la correlación de Spearman entre estos valores predichos en cada modelo por característica para determinar cambios en la categorización de los animales superiores, usando el procedimiento CORR del paquete estadístico SAS (SAS Institute 1996).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En la **Figura 2**, se observan las curvas de IA estimado para las tres localidades de los hatos incluidas en el estudio. Esta tendencia indica que las condiciones climáticas son similares desde junio hasta noviembre para H2 y H3, estos meses se ubican entre subhúmedos y húmedos, por estar localizados en una región relativamente cercana (menos de 200 km de distancia) pero muy diferentes a H1 en el cuál se observó que el único mes subhúmedo es agosto.

En países como México donde los sistemas de producción de ganado de carne se basan en áreas de pastoreo y agostaderos, es común que los animales se encuentren expuestos a las diversas intensidades de los efectos medioambientales, debido a diferencias en la variedad y calidad del forraje, topografía y a las variables climáticas. Las variables del clima, (radiación solar, humedad relativa, precipitación, temperatura ambiental, velocidad del viento), en conjunto ejercen una acción directa en la industria ganadera, afectando el grado de bienestar fisiológico de los animales y un efecto indirecto a través

de la producción y calidad de los alimentos, esto influye en la eficiencia de los sistemas de producción tropical de bovinos de carne (Córdova et al. 2005, p. 589).

Los cambios en el clima afectan a uno de los componentes más importantes dentro de los sistemas extensivos, la disponibilidad de biomasa. Las deficiencias cualitativas y cuantitativas del forraje disponible se reflejan en bajas tasas de crecimiento de los animales en desarrollo (Denoguean et al. 2012, p.150). De igual manera las condiciones ambientales pueden generar estados de estrés calórico, sobre todo en sistemas de producción de clima tropical donde el ganado se cría en extensas praderas y la probabilidad de que presenten estrés calórico es alto, lo que conduce al animal a un reajuste en su fisiología y actividad física para regular su temperatura corporal, reduciendo como consecuencia su desempeño productivo (Nienaber Hahn 2007, p.151). Santana et al. (2015, p.128), demostraron que temperaturas y porcentajes altos de humedad desde el nacimiento hasta el destete afectan negativamente el peso al destete (PD) de bovinos criados en condiciones tropicales.

Para poder capturar las variables del clima que pueden afectar tanto al animal como a la oferta de alimento en los sistemas de pastoreo extensivo, el índice de aridez, permiten evaluar el agua que se pierde tanto por evaporación como por la transpiración del cultivo y al mismo tiempo incluyendo variables que en ganado tropical se traducen en cambios de temperatura corporal, tasa de respiración y la sudoración, así como el consumo de alimento y agua. Por lo tanto el uso de este criterio considera de manera más efectiva las condiciones a las que los animales o cultivos se someten en condiciones reales, lo que ayudaría a remover o estimar la variación que explica fenotípicamente los caracteres que se expresan bajo condiciones extensivas.

EFFECTO DE LA CLASIFICACIÓN PROPUESTA EN MODELOS DE EVALUACIÓN GENÉTICA

Las dos características de peso vivo evaluadas (**Tabla II**) fueron similares a los que obtuvieron Ríos-Utrera et

Tabla III. Estimadores de la varianza en el componente de dos épocas de nacimiento y su efecto (BE), y criterios de selección en dos modelos evaluados en caracteres de peso vivo de ganado Charolais (Estimators of variance in the component of two epochs of birth and its effect (BE), and selection criteria in two models evaluated in characters of live weight of cattle trays).

	PN		PD	
	MT	MN	MT	MN
Estimador	0.39	3.93	1.40	135.91
β_E %	1.1	9.8	0.10	9.9

MT: Modelo de época tradicional, MN: Modelo con la época de acuerdo al IA (Tabla I), β_E %: Tamaño de efecto del factor época.

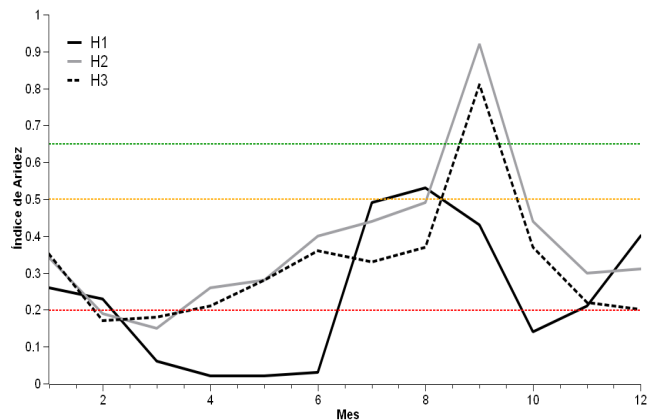


Figura 2. Tendencias anuales de índice de aridez en tres localidades estudiadas. Líneas punteadas (roja, naranja y verde): límite de clasificación de época de acuerdo al Cuadro 1. (H1: Hermosillo, H2: Mamulique, H3: Salinas Victoria, México) (Annual trends of aridity index in three locations studied. Dotted lines (red, orange and green): Period classification limit according to table 1. (H1: Hermosillo, H2: Mamulique, H3: Salinas Victoria, Mexico).

Tabla IV. Componentes de la varianza y parámetros genéticos a partir del ajuste de dos modelos para caracteres de peso vivo en ganado Charolais (Variance components and genetic parameters from the setting of two models for live weight characters in Charolais cattle).

Componentes y parámetros	PN		PD	
	MT	MN	MT	MN
σ_d^2	8.39	10.50	183.642	55.22
σ_m^2	-	-	278.417	252.603
σ_{dm}	-	-	-145.912	-66.834
σ_e^2	22.94	21.27	555.290	567.638
σ_p^2	31.33	31.77	871.438	808.632
h^2	0.27±0.08	0.33±0.07	0.21± 0.13	0.07± 0.01
m^2	-	-	0.32± 0.11	0.31± 0.10
r_{dm}	-	-	-0.65±0.21	-0.57±0.43
e^2	0.73±0.08	0.67±0.08	0.64± 0.11	0.70± 0.08
-2 Log L	3361.921 ^a	3473.764 ^b	5318.333 ^a	5484.107 ^b

^{a,b}Literales diferentes entre modelos en cada característica son significativamente diferentes $P < 0.001$. σ_d^2 =Varianza genética directa, σ_m^2 =Varianza genética materna, σ_{dm} =Covarianza genética directa y materna, σ_e^2 =Varianza ambiental, σ_p^2 =Varianza fenotípica, h^2 =heredabilidad directa, m^2 =heredabilidad materna, r_{dm} =correlación directa-materna, e^2 =proporción de varianza ambiental relativa a la varianza fenotípica. Log L=Logaritmo de verosimilitud.

al. (2012, p.286) en ganado Charolais mexicano (39.0 y 227.0 kg para PN y PD, respectivamente).

En el presente estudio, se logró el ajuste de dos modelos para cada característica de peso vivo evaluada. El estimador de EN (**Tabla III**) permite sugerir que la clasificación propuesta (MN) explica sustancialmente mayor variabilidad que la clasificación tradicional (MT), en las dos características de peso vivo evaluadas. En este sentido, el IA es capaz de aislar y explicar aproximadamente el 10% de la variabilidad de la característica. No es frecuente encontrar estudios que evalúen la importancia del componente ambiental en el ajuste de modelos de evaluación genética. La mayoría da por hecho que la inclusión de los factores que son importantes como fuentes de variación puede basarse en criterios que se usan de manera general (por ejemplo, la conformación de grupos contemporáneos) y cuando no exista un problema con la estructura de los datos o con la elección de los niveles que conforma el vector de los efectos fijos (por ejemplo, el sexo; Wilson et al. 2010, p.22), lo que a la postre conformará el BLUE (Mejor Estimador Lineal no Sesgado; por sus siglas en inglés) (Mrode 2014, p.62). Sin embargo, para el caso de los factores que explican una proporción importante de la variación y poseen un grado de complejidad en su

clasificación, es necesario considerar su preclasificación de acuerdo a un criterio más objetivo para seleccionar su inclusión ya sea individualmente o en bloques como los grupos contemporáneos.

La reclasificación de la EN utilizada en MN, mostró que existe una $r=0.07$ ($P < 0.01$) con la EN utilizada en el MT. Esto demuestra que existe un cambio significativo en la clasificación y ordenamiento de las épocas asignadas a cada individuo en el análisis de acuerdo a sus fechas de nacimiento.

Los cambios en la varianza genética aditiva para PN en los componentes de la varianza fueron bajos (**Tabla IV**), pero la heredabilidad directa en MN comparada con MT sí incrementó de manera discreta. Los cambios más evidentes se encontraron en el análisis del PD. En este análisis el modelo MN mostró menores valores en sus componentes de la varianza, sobre todo en la varianza genética directa y la covarianza entre la varianza genética directa y materna, lo que se reflejó en parámetros genéticos más bajos (**Tabla IV**). En ambas comparaciones (PN y PD) los modelos fueron significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de razón de verosimilitudes ($P < 0.01$).

Tabla V. Medias y desviaciones típicas de las diferencias esperadas en la progenie y exactitudes en dos modelos evaluados en caracteres de peso vivo de ganado Charolais (Mean and standard deviation of the differences expected in the progeny and accuracies in two models evaluated in characters of live weight of Charolais cattle).

Valor predicho	PN		PD	
	MT	MN	MT	MN
DEP D	-0.25±3.78	-33±3.85	0.19±2.90	0.12±2.92
EX D	0.74±0.18	0.76±0.18	0.23±0.14	0.24±0.15
DEP M	-	-	0.03±5.73	-0.10±5.94
EX M	-	-	0.35±0.13	0.37±0.13

MT: Modelo de época tradicional, MN: Modelo con la época de acuerdo al IA (Cuadro 1), DEP D: Diferencias esperadas de las progenies directas, EX D: Exactitudes de la DEP D. DEP M: Diferencias esperadas de las progenies maternas, EX M: Exactitud de la DEP M.

Tabla VI. Coeficientes de correlación de Spearman entre las Diferencias Esperadas de la Progenie y sus exactitudes de caracteres de peso vivo de ganado Charolais, estimados con dos modelos que difieren en la clasificación de época dentro del grupo contemporáneo (Coefficients of correlation of Spearman between the expected differences of the progeny and their accuracies of characters of live weight of cattle trays, estimated with two models that differ in the classification of time within the contemporary group)

Característica	Correlación de Spearman	
	DEP	Exactitud
PN directo	0.66	0.80
PD directo	0.62	0.92
PD materno	0.68	0.97

[†]MT: Modelo de época tradicional, MN: Modelo con la época de acuerdo al IA (Tabla I),

Estos resultados demuestran que la reclasificación de la EN, probablemente tenga mayores efectos en el ajuste de modelos más complejos que incluyan además del efecto genético directo, el efecto materno debido a las conexiones genéticas que puedan establecerse entre los grupos contemporáneos. Un aspecto importante entre los datos analizados de cada modelo, es que MN mostró una reducción en el número de los grupos contemporáneos lo que pudiera sugerir grupos de comparación más grandes y mejor clasificados. Este aspecto es fundamental en las evaluaciones genéticas, ya que la predicción de valores genéticos depende principalmente de la correcta estimación de los componentes de varianza; así como de la correcta definición de los efectos medioambientales. Una mejor definición de los efectos fijos responsables de la variación fenotípica puede ayudar a disminuir sesgos causados por diferencias en las condiciones ambientales (grupos contemporáneos) de los animales (Domínguez et al. 2009, p. 325; Pascoa et al. 2013, p.152).

Los grupos contemporáneos en las evaluaciones genéticas han sido una estrategia fundamental para lograr reducir la variabilidad causada por diferentes efectos ambientales. Dentro de tal estrategia resulta clave la búsqueda de una mejor definición de los grupos contemporáneos en cuya clasificación se incluyan factores que permitan predicciones más reales del mérito genético en indicadores de interés económico. Esto es esencial en el proceso de selección para ganado de carne, ya que de esto depende en parte el progreso genético de la población (Oliveira et al. 2014, p.1032).

El análisis específico de los promedios de los valores predichos en las DEP y sus exactitudes (Tabla V) no sugiere cambios sustantivos en la distribución poblacional de los predictores genéticos o de sus valores de confiabilidad. Los promedios y sus desviaciones típicas son similares entre modelos para las dos características de peso vivo estudiadas. Sin embargo, al analizar el 10% de los animales superiores clasificados con base en las DEP, la estimación de los coeficientes de correlación de Spearman, mostró que el efecto en los valores predichos que clasifican a los individuos incluidos en la evaluación genética puede ser importante (Tabla VI). Los menores valores de correlación se observaron entre las DEP directas de PN y PD. La reducción de la categorización de las DEP también fue notoria en los predictores maternos. De manera similar se observó

una reducción en la relación entre las exactitudes de las DEP, más evidente entre los modelos de evaluación genética de PN ($r=0.80$).

Como anteriormente se ha puntualizado, los cambios identificados entre los modelos estudiados podrían explicarse por el cambio en la estructura de los grupos contemporáneos ocasionada por la reclasificación de la época de nacimiento. Algunas de las aproximaciones utilizadas en las publicaciones disponibles nacionalmente no proveen evidencia substancial sobre sus criterios de clasificación. Las épocas de nacimiento entre los diversos estudios realizados en México se definen constantemente considerando dos variables climatológicas: la distribución del patrón de precipitación y la temperatura mensual de acuerdo a un promedio histórico.

Saavedra et al. (2013, p.1490), para evaluar la magnitud de interacción entre genotipos de ganado Braunvieh y el clima, clasificaron grupos contemporáneos con épocas de nacimiento definidas por la presencia de lluvias a través de los años estudiados y temperaturas mensuales (secas: junio-octubre y lluvias: noviembre-mayo); aunque para evaluar la interacción genotipo-ambiente en este estudio se definieron clústeres con zonas climatológicas para México (trópico seco: oeste y sureste ;trópico húmedo: este y templado: norte y centro), estas no se tomaron en cuenta para una mejor clasificación de las épocas de nacimiento. De igual manera, Ramírez et al. (2008, p.360), al explorar el efecto de los GC de acuerdo a la cantidad de registros que tuvieran (3, 7 o 10 registros) y su inclusión como un efecto fijo o aleatorio, establecieron grupos contemporáneos de acuerdo a la distribución de las lluvias y la temperatura registrada por la estación meteorológica más cercana a cada unidad de estudio.

Por su parte Medina et al. (2005, p.236), utilizaron la presencia de la precipitación y las temperaturas mensuales para establecer épocas (secas, lluvias y nortes) para cinco estados del sureste y del norte de México (Campeche, Tabasco, Chiapas, Tamaulipas y Yucatán), justificando que estos estados comparten un clima similar (caliente subhúmedo con lluvias en verano). Sin embargo, de acuerdo a los resultados de este estudio, cuando se utilizan otras variables climatológicas, los estados del norte del país mostraron comportamiento diferente a los del sureste del país.

Algunos autores tratando de definir el modelo estadístico más apropiado para la evaluación genética de indicadores de crecimiento en ganado mexicano, escogieron utilizar como único criterio para las épocas de nacimiento la presencia de lluvia, sin especificar la fuente de información utilizada para categorizar esta variable (Estrada et al. 2008 p.226; Domínguez et al. 2011, p.325). Las condiciones particulares de la clasificación de grupos contemporáneos reportados en la literatura no incluyen dentro de la estructura de los datos, elementos climatológicos importantes que en este estudio han demostrado acercar los modelos estadísticos a una situación más real para los datos.

Finalmente, la mejor clasificación de las épocas con base en criterios objetivos como el IA, mejorará los modelos al explicar significativamente la variación fenotípica de la característica o características evaluadas tanto en estudios retrospectivos como las evaluaciones genéticas, como en el planteamiento de estudios experimentales que incluyan condiciones extensivas de manejo animal o vegetal. Estudios con diferentes

poblaciones y en regiones diversas confirmarán la utilidad de este criterio.

El uso de la simulación estocástica como perspectiva futura de análisis ayudará a confirmar los resultados obtenidos en el presente estudio. La implementación de un análisis comparativo que tome como referencia valores genéticos verdaderos en caracteres de peso vivo en contraste con las EN integrados en grupos contemporáneos, ayudaría a entender mejor el sesgo en los estimadores de los valores genéticos y sus exactitudes como resultado de la mejora en la estructura de los datos y a estimar la magnitud de las posibles sobre o sub-estimaciones en los animales incluidos en las evaluaciones genéticas (Lopez et al. 2015, p.242).

En conclusión, el índice de aridez definido como criterio de clasificación de meses y épocas de nacimiento para incluir los factores ambientales que inciden sobre el desempeño productivo de los animales en condiciones extensivas, probó ser un estimador útil que aporta información. La época de nacimiento definida a partir de este índice explicó una proporción substancial de la variación fenotípica. El análisis entre los modelos de evaluación genética incluyendo el contraste de grupos contemporáneos en el índice de aridez mostró que su implementación produce cambios específicos en los parámetros y los valores genéticos, esta información puede hacer más precisos los programas de mejora genética al analizar modelos complejos. Con base en los resultados, el uso del índice de aridez puede extenderse a diferentes esquemas de aplicación agropecuaria en los cuales animales o cultivos estén sometidos a condiciones extensivas cuando se tenga disponibilidad de la información climatológica que permita esta clasificación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento del proyecto CB168207 y al Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto SIP20150746.

BIBLIOGRAFÍA

Allen, RG, Pereira, L, Raes D & Smith, M 2006, *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italia

Arias, R, Mader T & Escobar, P 2008, 'Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche', *Archivos de Medicina Veterinaria*, vol. 40, no. 1, pp. 7-22.

Berman, A 2011, 'Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?', *Journal of Dairy Science*, vol. 94, no. 5, pp. 2147-58.

Boldman, K, Kriese, L, Van Vleck, C, Van Tassell & Kachman, D 1995, *A Manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances*. United States Department of Agriculture, Nebraska.

Chin, R, Magaña, J, Segura, J & Núñez, R 2012, 'Factores ambientales y proporción racial que influyen en el peso al nacimiento, al destete y edad al primer parto en bovinos Suizo Pardo en México', *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 15, no. 1, pp. 55-60.

Comisión Nacional del Agua, 2016, *Banco de datos histórico*, viewed 30 Abril 2015, <<http://smn.cna.gob.mx/informacion-climatologica-ver-estado?estado=son>>

Córdova, R, Rodríguez, G, Córdova, M, Córdova, C & Pérez, J 2005, 'Ganancia diaria y peso al destete en terneros de cruces de *Bos taurus* y *Bos indicus* en trópico húmedo', *Revista MVZ-Córdoba*, vol. 10, no. 1, pp. 589-92.

Denoguean, B, Moreno S, Ibarra, F & Moreno, C 2012, 'La precipitación pluvial y la producción bovina en Sonora', *Sexta época*, vol. 31, pp. 146-53.

Domínguez, J, Rodríguez, F, Ortega, J & Flores, A 2009, 'Selección de modelos, parámetros genéticos y tendencias genéticas en las evaluaciones genéticas nacionales de bovinos Brangus y Salers', *Agrociencia*, vol. 4, no. 2, pp. 107-17.

Domínguez, J, Rodríguez, F, Núñez, R, Ortega, J, Ramírez, R, Santellano, E & Espinosa, J 2011. 'Ajuste de modelos de regresión aleatoria en evaluaciones genéticas de bovinos tropicarne', *Agrociencia*, vol. 42, no. 2, pp. 325-37.

Estrada, R, Magaña, J, & Segura J 2008, 'Comparación de modelos en la evaluación genética de caracteres de crecimiento del ganado Brahman en el sureste de México', *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, vol. 16, no. 4, pp. 224-33.

Garrick, D 2010, 'An animal breeding approach to the estimation of genetic and environmental trends from field populations', *Journal of Animal Science*, vol. 88, no.13, pp. E3-E10.

Hahn, G, Mader, T & Eigenberg, R 2003, 'Perspective on development of thermal indices for animal studies and management', in N Lacetera, U Bernabucci, H Khalifa & B Ronchi (eds.), *Interactions between climate and animal production*. Academic Publishers, Wageningen, NL.

Hargraves, G 1994, 'Defining and using reference evapotranspiration', *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 120, no. 6, pp. 1132-39.

Johnson, H 1987, 'Bioclimates and livestock', in H Johnson (ed.), *World Animal Science B5 Bioclimatology and the adaptation of Livestock*, Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam.

Lobit, P, López, L, Bautista, F, & Lhomme, JP 2016, 'Hargreaves equation revisited', *Theoretical and Applied Climatology*, en prensa.

Lopez, N, Bryant, J, Harris, B & Garrick, D 2015, 'Testing an approach to account for daughter misidentification in the estimation of breeding values', *Proceedings of the Association for the Advancement of animal Breeding Genetics*, vol. 21, pp. 241-4.

Martínez, G, Petrocinio, J & Herrera, P 1998, 'Factores que afectan el peso al destete en un rebaño de bovinos de carne', *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*, vol. 15, pp. 266-77.

Martínez, J, Martínez, A, Hernández, J, Parra, G & Castillo, S 2008, 'Características pre-destete de bovinos Simmental (*Bos taurus*) y sus cruces con Brahman (*Bos indicus*) en el trópico mexicano', *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 21, no. 3, pp. 365-71.

Martínez, J, García, F, Parra, G, Castillo, F & Cienfuegos, E 2010, 'Genetic parameters for growth traits in Mexican nellore cattle. Tropical Animal Health and Production', vol. 42, no. 5, 887-92.

Medina, J, Osorio, M & Segura, J 2005, 'Influencias ambientales y parámetros genéticos de crecimiento en ganado Nelore en México', *Revista Científica FCV-Luz*, vol. 15, no. 3, pp. 235-41.

Morillo, D 1994, 'Efectos de la época seca sobre la producción forrajera y bovina', *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, vol. 11, no. 2, pp. 2-7.

Mrode, RA, 2014, *Linear models for the prediction of animal breeding values*, 3rd edn, Cabi, Wallingford, UK.

Nardone, A, Ronchi, B, Lacetera, N & Bernabucci, U 2006, 'Climatic effects on productive traits in livestock', *Veterinary Research Communications*, vol. 30, no. 1, pp. 75-81.

Nienaber, J & Hahn, G 2007, 'Livestock production system management responses to thermal challenges', *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, no. 2, pp. 149-57.

Oliveira, G, Pereira, J, Ramirez, J, Sterman, J. & Santana, M 2014, 'Inclusion of weaning management group as a random effect in the genetic evaluation of postweaning traits in Nellore', *Tropical Animal Health and Production*, vol. 46, no. 6, pp.1031-36.

- Parra, G, Martínez, J, García, F, González, A, Briones, F & Cienfuegos, E 2007, 'Tendencias genéticas y fenotípicas de características en el ganado Brahaman de registro de México', *Revista Científica FCV-LUZ*, vol. 17, no. 3, pp. 262-67.
- Pascoa, L, Elzo, A, Ferreira, D, Bezerra, L & Barbosa, R 2013, 'Effect of several structures of (co) variances and genetic parameters for weaning weight in Nelore cattle', *Ciência Animal Brasileira*, vol. 14, no. 2, pp. 151-58.
- Ramírez, R, Nuñez R, Ruiz, A, García, G & Magaña, F 2008, 'Comparación de definiciones de grupos contemporáneos en la evaluación genética de bovinos suizo europeo', *Técnica Pecuaria México*, vol. 46, no.4, pp. 359-70.
- R Development Core Team, 2008, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical computing, viewed 24 julio 2015, <<https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>>
- Ríos, A, Velázquez, G, Tsuruta, S, Bertrand, J, Murillo, V & Bermúdez, M 2007, 'Estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento de ganado Charolais mexicano', *Técnica Pecuaria México*, vol. 45, no. 2, pp. 121-130.
- Ríos, A, Martínez, G, Vega, V & Montaña, M 2012, 'Efectos genéticos para características de crecimiento de bovinos Charolais y Charbray mexicanos estimados con modelos alternativos', *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 3, no.3, pp. 275-90.
- Santana M, Bigniardi, A, Eler, J & Ferraz, J 2015, 'Genetic variation of the weaning weight of beef cattle as a function of accumulated heat stress', *Journal of Animal Breeding and Genetics*, vol. 133, no. 2, pp.1-13.
- Saavedra, L, Ramírez, R, Nuñez, R, García, J, López, N, Ruiz, A 2013, 'Genotype by climate interaction in the genetic evaluation for growing traits of Braunvieh cattle in Mexico', *Tropical Animal Health and Production*, vol. 45 no. 7, pp. 1489.1494.
- Statistical Analysis Systems, 1996, SAS versión 8.2 para windows, User's Guide Statics, Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC
- United Nations Environment Programme 1992, *Biodiversity Country Studies: Executive Summary*, UNEP, New York.
- Wilson, A, Reale, D, Clements, M, Morrissey, M, Postma, E, Walling, C, Kruuk, L & Nussey, D 2010, 'An ecologist's guide to the animal model', *Journal of Animal Ecology*, vol. 79, pp. 13-26.