

# **COMPARACIÓN DE MODELOS Y HETEROSIS EN CURVAS DE LACTACIÓN PARA CRUZAS F1 DE HOLSTEIN Y SUIZO PARDO EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO**

## **INTRODUCCIÓN**

La recolección de datos en la producción de leche bovina es de gran importancia para determinar la producción real y la rentabilidad de la unidad de producción. Los registros incompletos de lactación conllevan una inadecuada toma de decisiones, y pueden afectar el mejoramiento genético del hato. Las faltas más comunes en bases de datos son: errores de captura, datos perdidos de raza del animal o sus padres, y por diferentes esquemas de capturar información (mensual, quincenal o diaria), estas irregularidades afectan la capacidad de inferir acerca del hato, o al comparar razas y determinar diferencias (Hossein-Zadeh, 2014).

Autor: <sup>1</sup>Julio Antonio Hernández Zamudio

Colaboradores: <sup>1</sup>García-Sarabia SP, <sup>1</sup>Vega-Murillo VE, <sup>1</sup>Villagomez-Cortés JA.

Para predecir la producción de leche en un hato, se pueden emplear modelos matemáticos que describan el rendimiento lechero, individual o colectivamente a lo largo de 305 días de lactación (Wood, 1967; Pollott, 2000). Estos modelos pueden estimar la producción a través de funciones algebraicas, para asumir la producción de cada día una curva de lactación estándar con error mínimo, y permite separar los componentes continuos de la influencia del ambiente en la producción, lo cual ofrece un resumen del rendimiento de leche en el tiempo, que

describen los cambios de manejo o climáticos (Macciota et al., 2005).

En este contexto se deben considerar las diferencias en ganado lechero en el trópico de México, la cual requiere el uso de cruzas de razas adaptadas a las condiciones ambientales y a los esquemas de manejo de doble propósito, y por consecuencia presentan curvas de lactación particulares. Lo anterior, comprende el uso de cruzas entre animales *Bos taurus* y *Bos indicus*, que generan animales productivos en las condiciones del trópico húmedo y subhúmedo. Estas diferencias raciales y de manejo se reflejan en la producción máxima de leche, la cual, al adaptarse a modelos de lactación, presenta diferencias en la predicción de la producción de leche entre razas puras y las cruzas utilizadas en el trópico (Pereira et al., 2016).

El vigor híbrido o heterosis generada por los cruzamientos es una ventaja adicional a los efectos genéticos aditivos directos y maternos que se obtienen en la selección de las razas puras; la magnitud de la ganancia adicional dependerá del número y tipo de razas. La heterosis puede tener un efecto sobre la producción total de leche entre 17% a 28% en cruzas de razas europeas y Cebuínas (Daltro et al., 2018).

El objetivo de este estudio fue comparar modelos para describir la curva de lactación y seleccionar el que mejor ajuste a una población de ganado lechero Suizo Pardo, Holstein y sus cruzas, con registros mensuales promedio, mensuales totales, y ajustado por raza para determinar los efectos genéticos directos, maternos y de heterosis, sobre los parámetros de la curva de lactación en clima subtropical húmedo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó en el sitio experimental "Las Margaritas", ubicado en el municipio de Hueytamalco, en la sierra nororiente del estado de Puebla, México, a 500 m.s.n.m. se presenta un clima subtropical húmedo semicálido. Se utilizó la información productiva y genealógica de un dialelo entre Holstein (HO) y Suizo Pardo (SP); un total de 313 lactaciones pertenecientes a vacas de las razas Holstein (n=84), Suizo Pardo (n=117) y sus cruzas recíprocas HOxSP (44) y SPxHO (68).

Los animales en estudio fueron producidos por inseminación artificial o monta natural a partir de 106 sementales y 153 madres. Las vacas evaluadas nacieron de 1997 a 2006 y parieron de 1998 a 2014, época en la que se recolectaron los datos de su producción. Los datos consistieron en 3,357 registros de lactación mensual, de los animales mencionados distribuidas desde 1 a 6 o más lactaciones.

## **Modelos de lactación**

Para describir la producción de leche, se corrieron modelos comúnmente utilizados para ajustar la curva de lactación, en las bases de datos con registros mensuales totales (BT), y bases de datos con los promedios del mes (BM), finalmente se ajustará el análisis de modelos por raza para determinar diferencias en la producción inicial, producción en el pico, y producción final, además de la persistencia lechera, la producción mensual total de leche en el pico y tiempo al pico de lactación, para posteriormente calcular la heterosis y los efectos genéticos directos y maternos de cada raza.

Se compararon cuatro modelos no lineales para ajustar la producción de leche de vacas de lechería tropical especializada:

- La ecuación de gamma incompleta de Wood.
- La función exponencial de Wilmink.
- La ecuación de Brody.
- Modelo de Cobby.

Estos modelos contemplan primero la producción predicha en el tiempo para el día determinado, al interactuar con la producción inicial estimada de las bases de datos; en segunda instancia la velocidad de incremento al pico de lactación la cual indica la diferencia entre el inicio y el punto máximo de rendimiento lechero; por último, la velocidad de decremento al final que indica la diferencia entre la producción máxima y el secado del animal e indica la persistencia lechera de la vaca. Cada modelo se ajustó con el procedimiento de interacción no lineal, para lo cual se utilizó software estadístico.

Para determinar el modelo que mejor ajuste a los datos, los modelos se sometieron a pruebas de bondad de ajuste de las cuales se utilizaron: el valor menor de RMSE, el criterio de información de Akaike (AIC siglas en inglés); El criterio de información Bayesiano (BIC siglas en inglés). Se determinó que la función que mejor ajusto a los datos fue aquella que presentó los valores más bajos en las pruebas mencionadas.

## **Estimación de los parámetros de cruzamiento**

Para la estimación de los parámetros de cruzamiento se utilizó el procedimiento mixto con software estadístico. Los modelos incluyeron los efectos fijos de raza del semental Holstein o Suizo Pardo, raza de la madre Holstein o Suizo Pardo, año de parto, época de parto y la interacción raza del semental con la raza de la madre. Se utilizaron contrastes para estimar la heterosis individual y las diferencias entre los efectos genéticos directos y los efectos genéticos maternos de Suizo Pardo y Holstein con base en los modelos de Dickerson (1969 y 1973).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estimadores de los parámetros obtenidos con registros de promedios mensuales se presentan en el cuadro 1. El modelo de Brody presentó un mejor ajuste en las tres pruebas RMSE, AIC y BIC para la base con los promedios mensuales BM de producción de leche, los resultados en las tres pruebas de bondad de ajuste son muy similares para esta base de datos, esto es probablemente causado por la tendencia central que tienen los promedios ingresados en cada modelo, es considerable que el modelo de Wood tiende a subestimar la producción al inicio de la lactación mientras que el modelo de Brody puede sobreestimar este mismo parámetro.

Los modelos de Brody, Cobby y Wilmink presentan valores de a muy similares, el caso de Brody y Cobby son modelos derivados de los principios empíricos de la lactación propuestos por Gaines (1927), por su parte Wilmink incluye un cuarto parámetro  $k$  el cual se describe en la literatura como 0.05, la cantidad de parámetros del modelo influye en el valor de las pruebas de ajuste dado que, es una constante que forma parte de las ecuaciones para identificar el mejor modelo.

**Cuadro 1**

Estimadores de cuatro modelos de lactación en registros de promedios mensuales.

| Parámetro           | Wilmink  | Wood     | Cobby    | Brody    |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| Producción inicial  | 16.70    | 4.97     | 16.56    | 18.90    |
| Pendiente al pico   | -0.031   | 0.324    | 0.031    | 0.003    |
| Pendiente al secado | -14.29   | 0.00495  | 0.057    | 0.046    |
| RSS                 | 56485.0  | 56597.2  | 56431.8  | 56172.8  |
| AIC                 | 17854.26 | 17857.49 | 17852.72 | 17845.21 |
| BIC                 | 4432.31  | 4435.55  | 4430.77  | 4423.27  |
| RMSE                | 3.880    | 3.883    | 3.878    | 3.869    |

Los estimadores para los modelos ajustados a bases de datos con totales mensuales se presentan en el cuadro 2. En el caso de las bases BT el modelo que mejor ajuste en las pruebas de bondad fue el Modelo de Wilmink el cual contiene un cuarto parámetro, este puede ser el que marcó la diferencia cuando se utilizaron bases de datos con totales mensuales.

El modelo de Wood para las BT propone una producción en el día 0 de 24.7 kg lo cual es un valor ilógico desde el punto de vista biológico, pero permite estimar los siguientes escenarios de la curva muy similar a los otros modelos figura 2.

En este caso el modelo de Wilmink describe la curva muy similar a los modelos restantes, pero presenta aumento de estimación de la producción al pico y menos producción al final de la lactancia en comparación con los otros modelos. Para ambas bases de datos los valores de ajuste de RMSE, AIC y BIC son muy similares, lo cual podría indicar que la pertinencia de estos modelos puede ser similar.

Las curvas de lactación estimadas para los promedios BM y los totales BT se presentan en las figuras 1 y 2. En ambos casos todos los modelos fueron significativos ( $p < 0.001$ ) y presentan similitudes en su forma, aunque los parámetros estimados sean aparentemente diferentes para cada modelo.

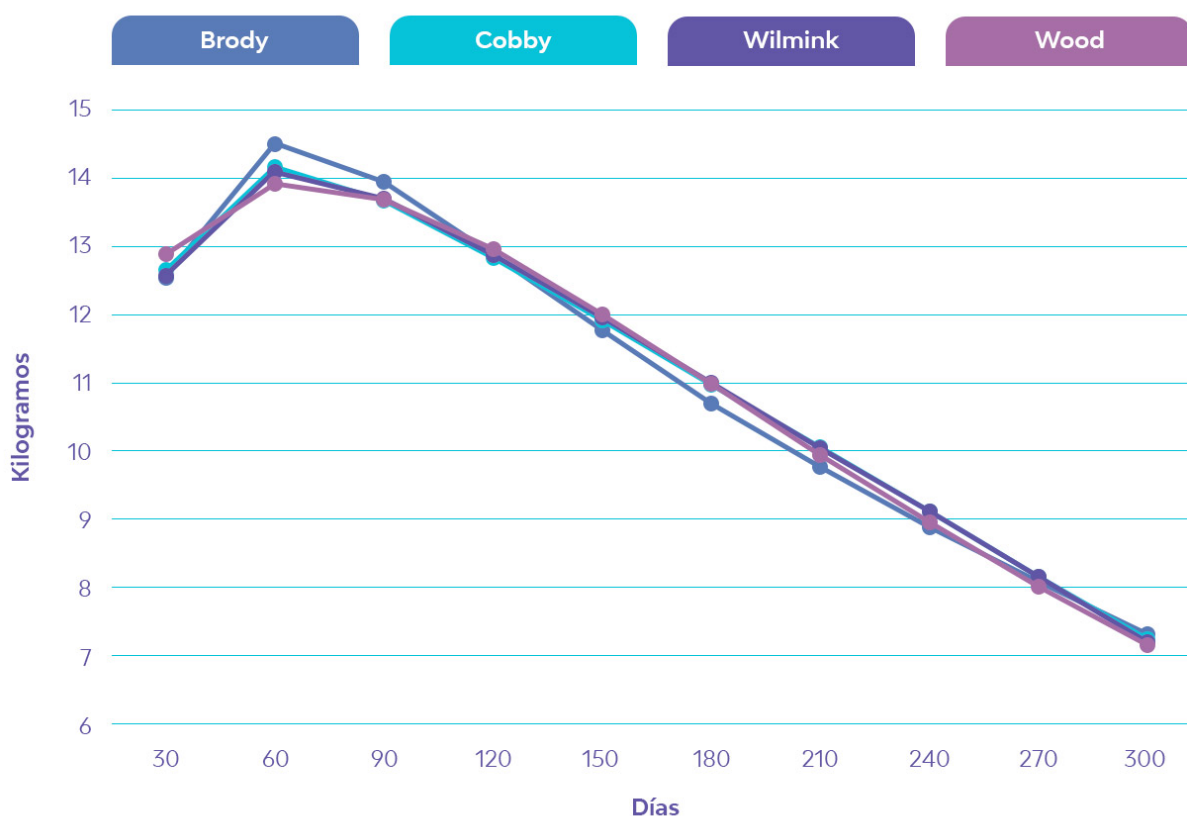
### Cuadro 2

Estimadores de los parámetros para cuatro modelos de lactación en base de datos con registros mensuales totales.

| Parámetro           | Wilmink  | Wood     | Cobby      | Brody    |
|---------------------|----------|----------|------------|----------|
| Producción inicial  | 538.8    | 24.78    | 557.3      | 818.3    |
| Pendiente al pico   | 1.1645   | 0.7931   | 1.2284     | 0.0048   |
| Pendiente al secado | -1112    | 0.00841  | 0.0297     | 0.0221   |
| RSS                 | 36980873 | 38566840 | 38206258   | 38131126 |
| AIC                 | 28431.32 | 28499.82 | 28484.49   | 28481.28 |
| BIC                 | 15109.37 | 15077.87 | 15062.5521 | 15059.34 |
| RMSE                | 99.27    | 101.08   | 100.91     | 100.81   |

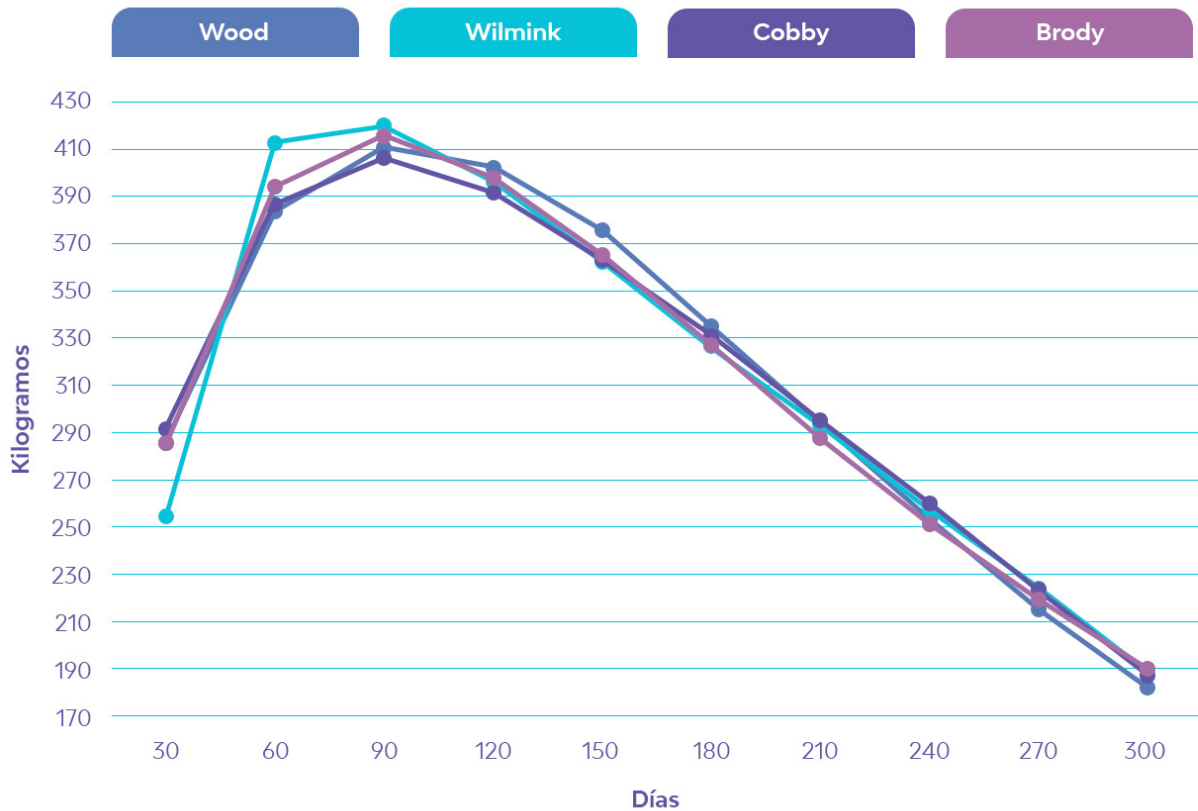
### Figura 1

Comparación de modelos para bases de datos con promedios mensuales de lactación.



**Figura 2**

Comparación de modelos para bases de datos con totales mensuales de lactación.



Los parámetros obtenidos para la base de datos BM para el mejor modelo (Brody) fueron  $a=18.9$ ;  $b=0.003$ ;  $c=0.046$ ; estos valores concuerdan con lo obtenido por Palacios et al. (2016), que refiere al modelo de Brody como uno de los dos mejores junto con el modelo de Wood, para describir Siboney productores de leche además también comparó los modelos de Wilmink y Cobby con parámetros similares a los reportados en este estudio.

En cuanto a los parámetros de Wilmink en la base de datos BT fueron de producción inicial=538.8; pendiente al pico=1.164; y pendiente al final= -1112; en este modelo el valor de  $a$  esta relacionado con la producción máxima alcanzada al inicio, mientras que los restantes están relacionados con las pendientes y forma de la curva. Estos resultados son congruentes con los reportados por Figueredo et al. (2010) que indica que el modelo de Wilmink es el que mejor se ajusta en el caso de vacas de primera lactación y que presentan baja producción (<15 litros.) al utilizar los valores de AIC y BIC.

Finalmente se filtraron las bases de datos por razas para separar el efecto del cruzamiento en las bases de datos con el total mensual (BT); el modelo de Wood fue mejor al ajustar los datos separados por raza, al presentar los valores más bajos para las pruebas de bondad de ajuste AIC y BIC. Los valores de persistencia, producción mensual de leche al pico, y tiempo al pico de lactación, se compilan en el cuadro 3 además de los parámetros estimados en el modelo de Wood para cada genotipo.

**Cuadro 3**

Estimadores de los parámetros del modelo de Wood, valores de persistencia, producción mensual de leche al pico y tiempo al pico de lactación, por grupo genético.

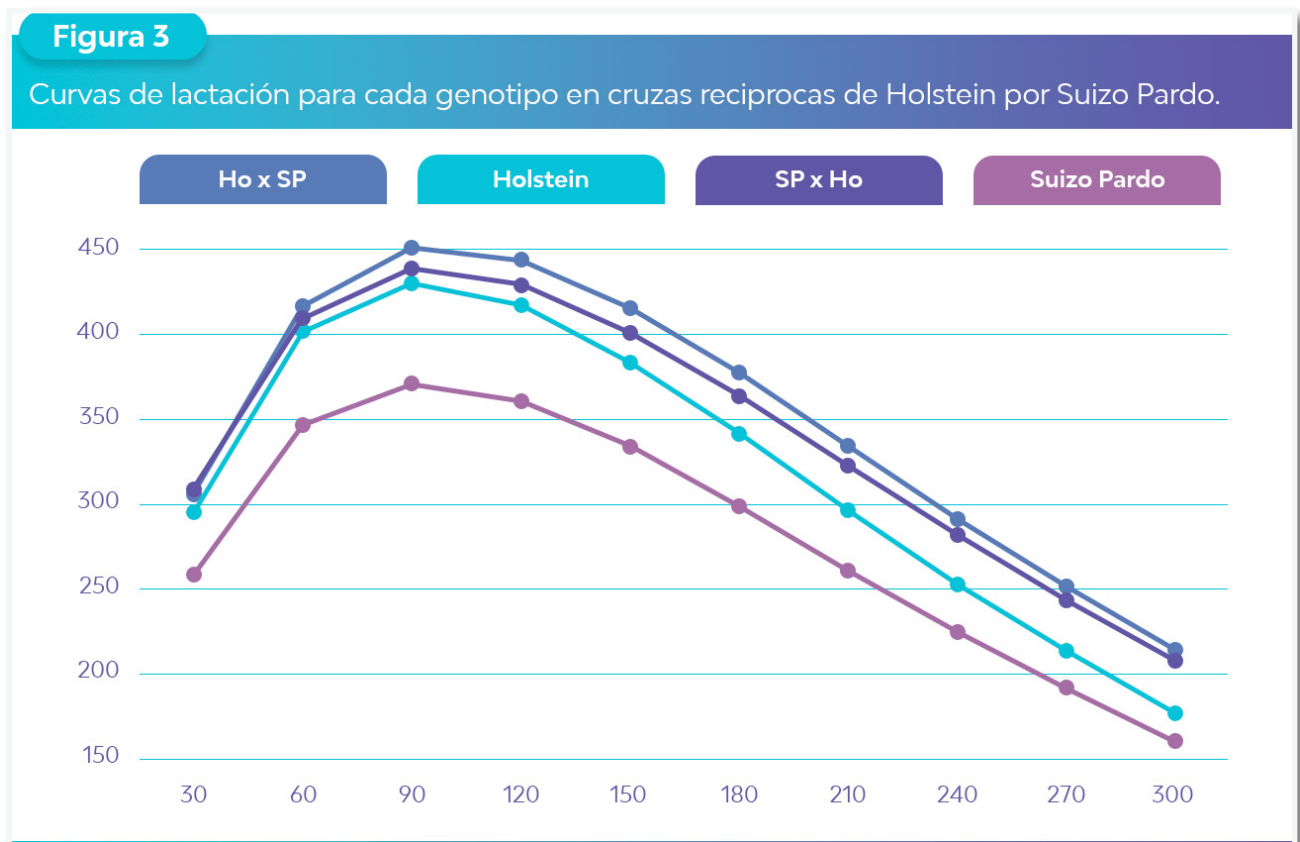
| Grupo genético | Producción inicial | Pendiente al pico | Pendiente al final | Persistencia  | Días al pico | Producción al pico (kg) |
|----------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------|--------------|-------------------------|
| HO             | -32.42 ± 1.13      | 0.87 ± 0.01       | 0.009 ± 0.0001     | 3.81 ± 0.015  | 94.78 ± 0.60 | 431.46 ± 2.66           |
| SP             | 41.01 ± 1.57       | 0.81 ± 0.01       | 0.008 ± 0.0001     | 3.749 ± 0.014 | 92.50 ± 0.52 | 370.00 ± 2.00           |
| HO x SP        | 31.55 ± 1.53       | 0.81 ± 0.01       | 0.008 ± 0.0001     | 3.776 ± 0.020 | 98.52 ± 0.71 | 452.71 ± 3.10           |
| SP x HO        | 43.44 ± 1.56       | 0.74 ± 0.01       | 0.007 ± 0.0001     | 3.68 ± 0.016  | 95.1 ± 0.62  | 432.11 ± 2.43           |

Los estimadores de los efectos de cruzamientos directos, maternos y de heterosis se presentan en el Cuadro 4. Los efectos genéticos directos para la producción inicial de leche (a) favorecieron a SP ( $P < 0.001$ ), mientras que los efectos maternos favorecieron a la raza HO; los estimadores de los parámetros que describen el incremento de producción al pico y el tiempo en alcanzarlo (pendiente al pico) fueron mayores ( $P > 0.001$ ) para la raza HO; el efecto materno para pendiente al pico y pendiente al final fue mayor ( $P < 0.001$ ) en las madres SP.

La heterosis para los parámetros pendiente al pico y pendiente al final, indica que las cruza presentan distintas ( $P < 0.001$ ) tasas de incremento y decremento en comparación de las razas puras, lo cual describe la forma de la curva y se debe tomar en cuenta para diferenciar las predicciones entre razas puras y cruza, en específico el parámetro de pendiente al final indica la velocidad con la que la vaca puede llegar al secado.

Lo anterior puede beneficiar al periodo preparto promoviendo la producción la siguiente lactación al evitar problemas de salud y nutricionales, permitiendo a la vaca que ya debe estar gestante descansar y mover nutrientes al becerro en formación que representa ganancias económicas.

Las curvas de lactación calculadas para cada raza se presentan en la figura 3.



Los porcentajes de heterosis obtenidos para la persistencia, tiempo y producción en el pico fueron de -1.32, 3.39 y 10.41, respectivamente. Las cruces de las razas HO y SP pueden tener un pico de producción más tardío, sin embargo, la producción una vez en el pico es mayor para las cruces, se han observado que el retraso en la producción al pico se relaciona con incrementos en la producción promedio a los 305 días (Nemeckova et al., 2015).

**Cuadro 4**  
Estimadores de efectos directos, maternos y heterosis los parámetros del modelo de Wood, persistencia, tiempo al pico y producción al pico de la lactación en un dialelo de Holstein x Suizo Pardo.

| Estimador | Producción al pico | Pendiente al pico | Pendiente al final | Persistencia    | Tiempo al pico (meses) | Producción en el pico (Kg) |
|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------------|----------------------------|
| -Directos | -20.47 ± 3.318**   | -0.12 ± 0.02**    | 0.001 ± 0.0002**   | 0.160 ± 0.03**  | 5.69 ± 1.27**          | 81.53±5.11**               |
| Heterosis | 0.79 ± 1.70        | -0.06 ± 0.01**    | -0.0009 ± 0.0001** | -0.05 ± 0.014** | 3.18 ± 0.65**          | 41.74±2.61**               |
| Maternos  | -11.89 ± 2.66**    | 0.06 ± 0.02**     | 0.0005 ± 0.0001**  | 0.90± 0.023**   | 3.42 ± 1.02**          | 20.27±4.10**               |

\*\* P<0.001.



## **CONCLUSIONES**

El modelo de Brody se ajusta mejor a los promedios mensuales, sin embargo, la forma que presentan las curvas para todos los modelos presenta similar inclinación hacia el final de la lactación, aparentemente es una recta desde el pico. El incremento en la producción al pico es similar en todos los modelos para ambos tipos de registro, excepto en las bases BT donde Wilmink estima valores más altos en este punto. El modelo de Wilmink es adecuado cuando se trata de ajustar a totales mensuales de producción. Los modelos utilizados a pesar de su antigüedad siguen siendo pertinentes actualmente para describir la forma de la curva de lactación en ambos tipos de registros. Las bases de datos con producciones totales ya sean semanales o mensuales generan curvas de lactación más adecuadas a la realidad de los datos, sin embargo, el modelar los promedios mensuales ofrece un panorama más general de la posible producción diaria real en las tres etapas de la lactación, y permite seleccionar animales que estén por arriba de estos promedios.

El modelo de Wood fue el más adecuado para describir la curva de lactación en hembras multíparas puras y cruzadas de las razas HO y SP en el subtrópico de México. El cruzamiento entre animales HO y SP resultó en aumento de la producción de leche en el pico de la lactación, representado por la heterosis o vigor híbrido en esta característica, además de alcanzarlo en menor tiempo. Los cruzamientos presentan diferencias en la velocidad en que aumenta la producción al pico y el decremento al secado lo cual diferencia la forma de la curva más corta comparada con las razas puras. Los efectos genéticos maternos de HO y efectos directos de SP son importantes en la producción inicial de leche, y en determinar cuándo alcanza la máxima producción.

## **Implicaciones**

El modelar matemáticamente la curva de lactación implica el poder reconocer la efectividad del pasto o alimento ofrecido en un tiempo determinado; el productor puede comparar la duración de la lactancia de ciertas razas o individuos para seleccionarlos; determinar si ciertas cruces F1 presentan diferencias en la producción total de leche o alguno de sus componentes, como grasa, agua, o proteínas.

Lo anterior permitirá una mejor toma de decisiones administrativas y económicas, y habilita los fundamentos para la planeación y gestión de los esquemas reproductivos y el mejoramiento genético del hato, remarcando que estas herramientas se deben utilizar en conjunto con el conocimiento de las razas y los posibles entornos que afecten la producción de leche donde se

empleen.

## LITERATURA CITADA

Fuente.

<https://www.ganaderia.com/destacado/Comparacion-de-modelos-y-heterosis-en-curvas-de-lactacion-para-cruzas-F1-de-Holstein-y-Suizo-Pardo-en-clima-subtropical-humedo>

Clic Fuente



MÁS ARTÍCULOS