



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **EFFECTO DEL PERÍODO INTER- PARTO EN LA CURVA DE LACTANCIA DE VACAS *HOLSTEIN FRIESIAN* EN ECUADOR**

**JOSELIN NATALI CALDERÓN LUNA**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN REPRODUCCIÓN ANIMAL, MENCIÓN  
REPRODUCCIÓN BOVINA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**Mayo 2021**

**©2021, Joselin Natali Calderón Luna**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TRABAJO CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado “**Efecto del período inter- parto en la curva de lactancia de vacas *Holstein friesian* en Ecuador**”, de responsabilidad de la Srta. **Joselin Natali Calderón Luna** ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

#### Tribunal:

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida, PhD.

**PRESIDENTE**

Dr. Manuel Teodoro Pesantez Campoverde, PhD.


**DIRECTOR**

Dr. Hermógenes Rene Chamba Ochoa, M. Sc.

**MIEMBRO**

Dr. Franco Bolívar Cordero Salazar, M. Sc.

**MIEMBRO**

  
**Firmado por**  
**HERMOGENES RENE**  
**CHAMBA OCHOA**  
**1102116678**  
**EC**



Firmado electrónicamente por:  
**FRANCO BOLIVAR**  
**CORDERO SALAZAR**

Riobamba, mayo 2021

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, **Joselin Natali Calderón Luna** declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**JOSELIN NATALI CALDERÓN LUNA**

**No. Cédula: 0604106963**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, **Joselin Natali Calderón Luna**, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, Mayo 2021

---

**JOSELIN NATALI CALDERÓN LUNA**

**No. Cédula: 0604106963**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo de investigación va dedicado a Narcisa Luna mi madre quien con su esfuerzo, dedicación y valores me ha acompañado en cada peldaño de formación en mi vida, tanto académico, profesional y sentimental y a mis hijas de corazón Gabriela y Micaela, y a mi segunda madre Teresa Luna que son mi fortaleza para cada día ser mejor persona y profesional.*

*Natali.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios Todopoderoso, por brindarme cada día el privilegio de compartir mis triunfos con mi familia y amigos.*

*Expreso mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra manera me prestaron su colaboración para culminar el presente Trabajo de investigación de Maestría.*

*De manera especial, agradezco al DrC. Manuel Teodoro Pesantez Campoverde; PhD, Tutor de la presente tesis, gran orientador y ejemplo en el trabajo, cuyo omnipresente entusiasmo y constancia ha sido una guía.*

*Al Dr. Hermógenes Rene Chamba Ochoa; Mg.Sc y Dr. Franco Bolívar Cordero Salazar; Mg.Sc., agradeciéndoles el tiempo que han dedicado a corregir y dirigir la investigación cuantas veces fuera necesario, hasta conseguir la culminación exitosa de la presente tesis en calidad de miembros del tribunal.*

*Un agradecimiento infinito a la Asociación Holstein Friesian del Ecuador (AHFE), por la confianza, apertura y apoyo con los datos proporcionados para el desarrollo de la presente investigación y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la formación académica a través de sus docentes y profesionales del Instituto de Postgrado (IPEC).*

*Natali.*

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Págs.    |
|--|----------|
| RESUMEN.....   | xv       |
| SUMMARY .....  | xvi      |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1        |
| <b>CAPÍTULO I.....</b>   | <b>2</b> |
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>  | <b>2</b> |
| 1.1 Situación del problema .....   | 2        |
| 1.2 Formulación del problema .....   | 3        |
| 1.3 Justificación de la investigación .....  | 3        |
| 1.4 Objetivos de la investigación .....  | 4        |
| 1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....  | 4        |
| 1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....   | 4        |
| 1.5 Hipótesis .....  | 5        |
| 1.6 Identificación de las variables .....  | 5        |
| 1.6.1 <i>Variable independiente</i> .....  | 5        |
| 1.6.2 <i>Variable dependiente</i> .....  | 5        |
| 1.6.3 <i>Variables intervinientes</i> .....  | 5        |
| <b>CAPÍTULO II .....</b>   | <b>6</b> |
| <b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>   | <b>6</b> |
| 2.1 Antecedentes del problema .....  | 6        |
| 2.2 Bases teóricas .....   | 7        |
| 2.2.1 <i>Población de ganado bovino y producción de leche a nivel mundial y en Ecuador</i> 7 |          |
| 2.2.1.1 <i>Población bovina</i> .....  | 7        |
| 2.2.1.2 <i>Producción de leche</i> .....   | 8        |
| 2.2.2 <i>Raza Holstein friesian</i> .....  | 9        |
| 2.2.3 <i>Caracterización morfométrica de la raza Holstein friesian</i> .....                 | 9        |
| 2.2.4 <i>Asociación Holstein Friesian del Ecuador (AHFE)</i> .....                           | 10       |
| 2.2.5 <i>Fisiología de la Lactancia</i> .....  | 13       |
| 2.2.6 <i>Lactogénesis</i> .....  | 13       |
| 2.2.6.1 <i>Lactogénesis I o inicio de la lactación</i> .....                                 | 13       |
| 2.2.6.2 <i>Lactogénesis II</i> .....   | 14       |
| 2.2.6.3 <i>Lactogénesis III o galactopoyesis</i> .....                                       | 14       |
| 2.2.6.4 <i>Eyección de la leche</i> .....  | 14       |
| 2.2.6.5 <i>Involución mamario o Apoptosis</i> .....  | 15       |
| 2.2.7 <i>Metodología de control del rendimiento lechero</i> .....                            | 15       |



|                           |   |           |
|---------------------------|---|-----------|
| 2.2.7.1                   | <i>Principios básicos de los controles (ICAR)</i> .....   | 15        |
| 2.2.8                     | <i>Método Fleischmann</i> .....   | 16        |
| 2.2.9                     | <i>Curvas de lactancia y características</i> .....  | 25        |
| 2.2.10                    | <i>Períodos de la curva de lactación</i> .....  | 27        |
| 2.2.10.1                  | <i>Primer tercio de lactación</i> .....   | 27        |
| 2.2.10.2                  | <i>Segundo tercio de lactación</i> .....  | 28        |
| 2.2.10.3                  | <i>Tercer tercio de la lactancia</i> .....  | 28        |
| 2.2.10.4                  | <i>Período seco</i> .....   | 28        |
| 2.2.11                    | <i>Métodos para estimar la curva de lactancia</i> .....   | 29        |
| 2.2.11.1                  | <i>Modelos lineales</i> .....   | 30        |
| 2.2.11.2                  | <i>Modelos no lineales</i> .....  | 31        |
| 2.2.11.3                  | <i>Modelos mixtos no lineales</i> .....   | 32        |
| 2.2.12                    | <i>Factores que influyen en la curva de lactación</i> .....   | 33        |
| 2.2.12.1                  | <i>Genéticos</i> .....  | 33        |
| 2.2.12.2                  | <i>Ambientales</i> .....  | 34        |
| 2.2.13                    | <i>Parámetros reproductivos del ganado lechero</i> .....  | 36        |
| 2.2.13.1                  | <i>Período interparto (PIP)</i> .....   | 37        |
| <b>CAPÍTULO III</b> ..... |   | <b>39</b> |
| 3.                        | <b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b> .....   | <b>39</b> |
| 3.1                       | <b>Características del área de estudio</b> .....  | 39        |
| 3.2                       | <b>Tipo de estudio</b> .....  | 39        |
| 3.3                       | <b>Método de investigación</b> .....  | 40        |
| 3.3.1                     | <i>Población de estudio</i> .....   | 40        |
| 3.3.2                     | <i>Selección de la muestra</i> .....  | 40        |
| 3.3.3                     | <i>Tamaño de la muestra</i> .....   | 40        |
| 3.3.4                     | <i>Criterios de inclusión</i> .....   | 40        |
| 3.3.5                     | <i>Criterios de exclusión</i> .....   | 40        |
| 3.3.6                     | <i>Unidad de análisis</i> .....   | 40        |
| 3.4                       | <b>Técnicas de estudio</b> .....  | 41        |
| 3.5                       | <b>Análisis de datos</b> .....  | 41        |
| 3.5.1                     | <i>Procedimientos para estimar la producción de leche</i> .....   | 41        |
| 3.5.2                     | <i>Procedimientos para el análisis de efectos genéticos y ambientales en la producción de leche</i> .....   | 41        |
| 3.5.3                     | <i>Procedimiento para determinación de curva de lactación</i> .....   | 42        |
| 3.5.4                     | <i>Procedimiento para determinación del período Inter- parto</i> .....                                      | 43        |
| 3.5.5                     | <i>Procedimiento para correlación entre período entre parto y parámetros de la curva de lactación</i> ..... | 43        |

|                              |  |           |
|------------------------------|--|-----------|
| 3.5.6                        | <i>Metodología para la Selección de Vacas Holstein friesian en Ecuador</i> .....                           | 43        |
| <b>CAPÍTULO IV</b> .....     |  | 45        |
| <b>4.</b>                    | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....  | <b>45</b> |
| 4.1                          | <b>Variable Relacionada a la Eficiencia Reproductiva</b> .....   | 45        |
| 4.1.1                        | <i>Periodo/ Intervalo entre-parto (PIP)</i> .....  | 45        |
| 4.2                          | <b>Variables relacionadas con la producción de leche</b> .....   | 46        |
| 4.2.1                        | <i>Curva de lactancia y parámetros de estimación</i> .....   | 49        |
| 4.2.1.1                      | <i>Descripción de parámetros a b c</i> .....   | 50        |
| 4.2.1.2                      | <i>Descripción de los parámetros Pico de producción (PP); Tiempo al pico (TP) y Persistencia (S)</i> ..... | 52        |
| 4.2.2                        | <i>Formas de curva de lactancia</i> .....  | 53        |
| 4.2.3                        | <i>Criterios de selección del modelo de mejor ajuste</i> .....   | 54        |
| 4.3                          | <b>Correlación fenotípica entre Período/Intervalo entre parto, Pico de Producción y Ambiente</b> .....     | 58        |
| 4.4                          | <b>Metodología para Seleccionar Vacas Holstein friesian en Ecuador</b> .....                               | 60        |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....    |  | 62        |
| <b>RECOMENDACIONES</b> ..... |  | 63        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>          |  |           |
| <b>ANEXOS</b>                |  |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Tabla 1-2:</b> | Caracterización morfométrica de la raza <i>Holstein Friesian</i> . ....  | 10 |
| <b>Tabla 2-2</b>  | Control lechero mediante metodología ICAR .....  | 15 |
| <b>Tabla 3-2</b>  | Rango de valores para considerar un control lechero válido. ....   | 16 |
| <b>Tabla 4-2</b>  | Métodos simplificados del control lechero en doble ordeño.....   | 22 |
| <b>Tabla 5-2</b>  | Registro de control lechero.....   | 24 |
| <b>Tabla 6-4</b>  | Estadística descriptiva del periodo Interparto.....  | 46 |
| <b>Tabla 7-4</b>  | Estadígrafos de pesaje de la producción de leche. ....   | 47 |
| <b>Tabla 8-4</b>  | Parámetros de la curva de lactancia mediante modelo Gamma Incompleta y<br>Polinomial Inversa.....  | 51 |
| <b>Tabla 9-4</b>  | Criterios de comparación para escoger el mejor modelo que ajuste la curva de<br>producción de leche de vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador. .... | 56 |
| <b>Tabla 10-4</b> | Producción de leche y parámetros de la Curva de lactancia calculados.....  | 57 |
| <b>Tabla 11-4</b> | Índice de CPMP, para producción de leche L305, en un rebaño de vacas .....   | 61 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                      |   |    |
|----------------------|---|----|
| <b>Gráfico 1-2.</b>  | Población de ganado bovino a nivel mundial periodo 2010-2017 .....  | 7  |
| <b>Gráfico 2-2.</b>  | Producción de leche de ganado bovino a nivel mundial periodo 2010-2017 .....  | 8  |
| <b>Gráfico 3-2.</b>  | Producción de leche de ganado bovino en Ecuador periodo 2010-2017 .....   | 9  |
| <b>Gráfico 4-2.</b>  | Cálculo de la producción de leche según Carré .....   | 17 |
| <b>Gráfico 5-2</b>   | Cálculo de la producción de leche según Sánchez.....  | 19 |
| <b>Gráfico 6-2</b>   | Cálculo de la producción de leche según Caja.....   | 20 |
| <b>Gráfico 7-2.</b>  | Curva de Lactación Modelo ajustada a 305 días .....   | 26 |
| <b>Gráfico 8-2</b>   | Ciclo biológico productivo lácteo .....   | 29 |
| <b>Gráfico 9-4</b>   | Porcentaje de la producción de leche en cada tercio de la lactancia de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador. ....              | 47 |
| <b>Gráfico 10-4.</b> | Producción de leche (kg/día) en promedio según orden de pesaje mensual de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador.....            | 48 |
| <b>Gráfico 11-4.</b> | Caracterización de la curva de lactancia de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador mediante modelo Wood o Gamma Incompleta. .... | 49 |
| <b>Gráfico 12-4</b>  | Caracterización de la curva de lactancia de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador mediante modelo Polinomial Inversa. ....      | 50 |
| <b>Gráfico 13-4.</b> | Dispersión de residuos de parámetros estimados de la curva de lactancia de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador .....          | 52 |
| <b>Gráfico 14-4.</b> | Caracterización de la curva de lactancia de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador mediante modelo Gamma Incompleta .....        | 54 |
| <b>Gráfico 15-4.</b> | Caracterización de la curva de lactancia de las vacas <i>Holstein friesian</i> en Ecuador mediante modelo Polinomial Inversa .....      | 55 |
| <b>Gráfico 16-4.</b> | Curva de lactancia mediante función Gamma Incompleta o Wood.....  | 57 |
| <b>Gráfico 17-4.</b> | Curva de lactancia mediante función Polinomial Inversa.....   | 58 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Estadígrafos de pesaje de leche 1, media de producción 18.65 kg/leche/día
- ANEXO B:** Estadígrafos de pesaje de leche 2, media de producción 20.20 kg/leche/día
- ANEXO C:** Estadígrafos de pesaje de leche 3, media de producción 19.10 kg/leche/día
- ANEXO D:** Estadígrafos de pesaje de leche 4, media de producción 17.76 kg/leche/día
- ANEXO E:** Estadígrafos de pesaje de leche 5, media de producción 17.27 kg/leche/día
- ANEXO F:** Estadígrafos de pesaje de leche 6, media de producción 16.81 kg/leche/día
- ANEXO G:** Estadígrafos de pesaje de leche 7, media de producción 16.49 kg/leche/día
- ANEXO H:** Estadígrafos de pesaje de leche 8, media de producción 15.96 kg/leche/día
- ANEXO I:** Estadígrafos de pesaje de leche 9, media de producción 15.65 kg/leche/día
- ANEXO J:** Estadígrafos de pesaje de leche 10, media de producción 15.55 kg/leche/día
- ANEXO K:** Estadígrafos de la variable de análisis del Periodo Inter-Parto de las vacas *Holstein friesian*
- ANEXO L:** Resumen de estimación de la CL del modelo GI mediante método de Gauss-Newton
- ANEXO M:** Estadígrafos de pesaje de la producción de leche mediante modelo Gamma Incompleta
- ANEXO N:** Análisis de varianza (ANOVA) del modelo Gamma Incompleta
- ANEXO O:** Estadígrafos de los parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta
- ANEXO P:** Correlación entre parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta
- ANEXO Q:** Estimadores de mínimos cuadrados ordinarios del modelo Gamma Incompleta
- ANEXO R:** Dispersión de residuos de parámetros estimados de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta
- ANEXO S:** Caracterización de la curva de lactancia del modelo GI a través del procedimiento MEANS en el SAS ww.9.4.
- ANEXO T:** Resumen de estimación de la CL del modelo PInv mediante método de Gauss-Newton
- ANEXO U:** Estadígrafos de pesaje de la producción de leche mediante modelo Polinomial Inversa
- ANEXO V:** Análisis de varianza (ANOVA) del modelo Polinomial Inversa
- ANEXO W:** Estadígrafos de los parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa

- ANEXO X:** Correlación entre parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa
- ANEXO Y:** Estimadores de mínimos cuadrados ordinarios del modelo Polinomial Inversa
- ANEXO Z:** Estimadores de parámetros del modelo Polinomial Inversa
- ANEXO AA:** Dispersión de residuos de parámetros estimados de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa
- ANEXO BB:** Caracterización de la curva de lactancia del modelo PInv a través del procedimiento MEANS en el SAS ww.9.4.
- ANEXO CC:** Correlación fenotípica entre Periodo Inter-Parto, Pico de producción y ambiente
- ANEXO DD:** Efecto del período inter- parto en la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian*, para las condiciones ambientales en Ecuador
- ANEXO EE:** Comparación múltiple de medias de acuerdo con el criterio de Tukey
- ANEXO FF:** Metodología de selección en base del período inter-parto en la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian* en Ecuador

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto del período inter- parto (PIP) en la curva de lactancia (CL) de vacas *Holstein friesian* en Ecuador, para establecer el PIP a nivel nacional, estudiando el modelo matemático que mejor ajusta la CL, lo que permitirá plantear un sistema de selección en base al efecto del PIP en la CL. Se utilizaron 132 619 datos productivos y 13 641 reproductivos registrados por la Asociación Holstein Friesian del Ecuador \_AHFE entre el periodo 2010 - 2017. Se estimó la producción de leche total ( $L_{TOTAL}$ ) y Ajustada a los 305 días ( $L_{305}$ ), a partir de las producciones día control (PDC) por el método de Fleischman (1945), metodología recomendada por International Committee for Animal Recording \_ICAR. Los datos fueron analizados con modelación lineal mixta utilizando el PROC GLIMMIX. Se evaluó mediante la función lineal Polinomial inversa \_PInv y, no lineal, Gamma incompleta \_GI. La estimación de los parámetros de la CL se realizó por medio de regresión no lineal con el método modificado de Gauss Newton en el PROC NLIM. La determinación de estadísticos descriptivos del parámetro PIP y de la CL fue a través del procedimiento MEANS en el SAS ww.9.4. Los resultados obtenidos para el PIP fueron de  $440.16 \pm 16.33$  días; se determinó los niveles más altos de producción a los 33.11 días postparto con un pico de producción de 19.26 kg leche/día. La curva de mejor ajuste fue mediante modelo GI ( $R^2= 0.88$ ), corroborado mediante prueba analítica de Durbin Watson \_DW igual a 1.73; La correlación fenotípica entre PIP y PP fue de 0.07 ( $P=0.6093$ ). Se recomienda seleccionar vacas que se ajusten a los parámetros analizados como el PIP y la CL.

**Palabras Clave:** <PERIODO INTER-PARTO>, <CURVA DE LACTANCIA>, <GAMMA INCOMPLETA>, <POLINOMIAL INVERSA>, <*Holstein friesian*>.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, I=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.04.19 16:58:05  
-05'00'



0048-DBRAI-UPT-IPEC-2021

## SUMMARY

The present research aimed to study the effect of the Inter Calving Period (ICP) on the Lactation Curve (LC) of *Holstein Friesian* cows in Ecuador, to establish the ICP at the national level, studying the mathematical model that best adjusts the LC, which allows proposing a selection system based on the effect of the ICP on the LC. For this purpose 132, 619 productive data were used and 13 641 reproductive animals were registered by the Holstein Friesian Association of Ecuador \_AHFE, on the period 2010 - 2017. Total milk production ( $L_{total}$ ) and Adjusted at 305 days ( $L_{305}$ ) were estimated, from the day control productions (DCP) by the method of Fleischman (1945), recommended methodology by the International Committee for Animal Recording \_ICAR. The data were analyzed with mixed linear modeling using the PROC GLIMMIX (Generalized linear mixed models). It was evaluated by Inverse polynomial linear function \_InvP, and not linear, incomplete Gamma \_IG. The estimation of LC parameters was performed employing non-linear regression with the modified Gaussian method Newton at PROC NLIM. The determination of descriptive statistics of the ICP parameter and the LC went through the MEANS procedure in SAS ww.9.4. The results obtained for the ICP were  $440.16 \pm 16.33$  days; the highest production levels were determined at 33.11 days postpartum with a peak production of 19.26 kg milk/day. The best fit curve was by IG model ( $R^2 = 0.88$ ), corroborated by the Durbin Watson \_DW analytical test equal to 1.73; the phenotypic correlation between ICP and PP was 0.07 ( $P = 0.6093$ ). It is recommended to select cows that conform to the parameters analyzed such as ICP and LC.

**Keywords:** < INTER CALVING PERIOD > <LACTATION CURVE> <INCOMPLETE GAMMA> <INVERSE POLYNOMIAL> <HOLSTEIN FRIESIAN>.



## INTRODUCCIÓN

De acuerdo, al INEC (2014) el Ecuador produjo alrededor de 5 596 361 millones de litros anuales de leche bovina, la misma, que es destinada a la venta en forma de leche fresca, crianza de terneros, elaboración de productos lácteos, entre otros. Por otra parte, el 75.90% se produce en la región Sierra; 18.84% región Costa; 5.11% Región Amazónica y 0.14% zonas no delimitadas.

La producción de leche es afectada por distintos factores, entre los que se destacan dentro de los genéticos la raza y en los ambientales el período interparto, principalmente, entre otros (Quintero *et al.*, 2007).

La Asociación Holstein Friesian del Ecuador (AHFE) lleva a cabo programas de control de la producción láctea, lo cual le permite tener una relación entre los ganaderos y brindar servicios de asesoramiento en los diferentes aspectos de la producción de leche en los rebaños ganaderos bajo control.

En Ecuador, el registro e interpretación de los controles, tanto, productivos y reproductivos no se ha enfocado al análisis para valoraciones genéticas; a pesar, de existir metodologías estadísticas, para la predicción de la misma y en base a ella tomar decisiones ya sea en la selección de reproductores o en el diseño de aspectos de mejora genética, nutrición y alimentación.

Conocer los aspectos que afectan a la producción de leche como el período inter- parto, usando una función no lineal, donde, es posible prever y analizar la producción de leche en cualquier período, por lo qué, la posibilidad de proyectar la producción total de las lactancias permite utilizar las vacas madres e hijas en la evaluación y selección de toros (Henaó *et al.*, 2017).

Cabe recalcar que no existen históricos de investigaciones planteadas en este contexto en el Ecuador, por lo que, es necesario desarrollar un mecanismo de asesoramiento técnico en base a los datos muestrales recogidos a nivel de ganaderías y su interpretación que permita en base, a un análisis utilizando procedimientos de modelación matemática, con el objetivo de establecer directrices, para un manejo eficiente de los rebaños ganaderos, en cuento a mejora animal a nivel local, regional y mundial.

# CAPÍTULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Situación del problema

A nivel mundial, la producción bovina está direccionada a la producción de leche, carne y doble propósito; debiendo destacar, que las vacas en producción manifiestan comportamientos de anestro postparto prolongado, lo que ocasiona largos intervalos entre partos, este aspecto reproductivo es considerado un período importante en el ciclo reproductivo (Salgado *et al.*, 2002).

En Ecuador, al igual que en otros países se están utilizando razas especializadas en la producción lechera, las cuales mediante técnicas de cruzamiento o reproducción con el ganado *Criollo* se ha obtenido un progreso significativo de la producción de leche bovina; por otro lado, Apaza *et al.* (2016) determinaron que la raza *Holstein friesian* es la más significativa en la población ganadera en Ecuador, esto, si comparamos con las razas *Pardo Suizo* y *Jersey*.

Los parámetros reproductivos obtenidos en rebaños de producción de leche son utilizados en los análisis para tomar decisiones técnicas de la población, lo que permitirá en lo posterior la evaluación y selección de sementales y madres; además, la información permitirá como objetivo la optimización económica de los rebaños estableciendo causas de ineficiencia reproductiva (Risco y Archibald, 2005).

Por tanto, cualquier acción para mejorar los parámetros reproductivos serán evaluados un año después, siempre que se preñe la vaca y, esta, llegue a término con su gestación. Si bien, este indicador se relaciona con la tasa de preñez, los efectos del período inter- parto demasiado largos generalmente no se visualizan, pues el impacto principal es el número de animales improductivos, lo cual incrementa la tasa de eliminación del rebaño y, con ello se incrementa la necesidad de reemplazos (Olivares *et al.*, 2012).

La mejora en la producción de leche e índices reproductivos son los principios en los que se ha fundamentado el mejoramiento genética en la actualidad, y éste, a su vez, se lo desarrolla, para determinar el desempeño productivo futuro de los animales, la persistencia en la producción, tiempo en alcanzar el pico de producción de leche y ajustes por días en leche de hembras que no han terminado la lactancia son aspectos básicos, que pueden ser explicados a través de la caracterización de la curva de lactancia del rebaño, mediante funciones matemáticas y la comprensión de las influencias ambientales y genéticas en la forma de la curva de lactancia, de

esta manera, la información proporcionada de este estudio, facilitará a los ganaderos una base firme sobre la cual seleccionar animales (Quintero *et al.*, 2007).

De igual manera, Salgado *et al.* (2002) concluyeron que el desempeño reproductivo en forma general está afectado por factores, tales como, ambiente, nutrición, raza, edad y manejo. El interés de la curva de lactancia en la mejora genética, es predecir el desempeño de todas las hembras, para utilizar esa información de producción en la selección de animales jóvenes, para las pruebas de progenie, desempeño, o ambas (Ramírez *et al.*, 2004; Fraga *et al.*, 2003).

Según Quintero *et al.* (2007), los modelos matemáticos más utilizados en la caracterización de la curva de lactancia son los modelos polinomiales y los modelos no lineales, mismos que permiten modelar e identificar puntos críticos de la lactancia; además, la estimación de los parámetros de la curva que sirven como base en el cálculo de lactancias incompletas, para el conocimiento y la toma de decisiones en cuanto al manejo zootécnico y nutricional de la producción de leche y su trayectoria a través del tiempo.

## **1.2 Formulación del problema**

En estas últimas décadas la mejora de la producción de leche y parámetros reproductivos ha sido de mucha relevancia a nivel nacional, lo cual, se viene realizando en base al análisis y desviación de los factores que la afectan; un manejo reproductivo eficiente, buena nutrición, bienestar animal con el uso de instalaciones adecuadas y selección animal lo cual se reflejará en la curva de lactancia de la población y a su vez dependerá la vida productiva y reproductiva de la vaca en el rebaño.

## **1.3 Justificación de la investigación**

El estudio tiene gran importancia al plantear una fundamentada herramienta para los productores lecheros del país, para la gestión de decisiones de selección de animales, según, el nivel de producción que posean en el mismo rebaño y entre rebaños; puesto que la caracterización de la curva de lactancia permitirá predecir el rendimiento total de leche o diaria (Wood, 1974) o de varios días de prueba al inicio de la lactancia (Goodall y Sprevak, 1985) y, con tal conocimiento, los productores lecheros podrán tomar decisiones de manejo en los múltiples aspectos relacionados a la producción individual.

A demás, la producción de leche es un rasgo básico de la sostenibilidad de los sistemas de producción bovino lo que hace sea necesario caracterizar la curva de lactancia \_CL de vacas, que

resulta de gran utilidad para la planificación del manejo y la mejora genética en el sistema de producción (Wood, 1969; Wood, 1976, Madalena *et al.*, 1979; García y Holmes, 2001). Rekaya *et al.* (1995) manifiestan que para representar las curvas de la producción de leche es importante conocer los modelos matemáticos que mejor la definan; y por medio de ellos predecir valores esperados de lactancias incompletas.

Para, Ossa *et al.* (2008) el mejoramiento genético animal tiene por objetivo alterar la frecuencia de genes deseables en una misma población. La selección de animales mediante la curva de lactancia permitirá identificar los animales deseables por su “mérito genético”, el cual está expresado por el conjunto de genes totales, siendo el genotipo no visible lo que significaría proporcionar diferentes tasas reproductivas a los diferentes genotipos.

El período inter-parto constituye un rasgo importante en la evaluación de la eficiencia reproductiva individual de las vacas en el rebaño, puesto que, el intervalo ideal es de 365 días, lo que equivale, tener un ternero por vaca y por año; en cambio, un período inferior a 456 días permite realizar una selección intensa en la población y, por tanto, obtener progreso genético alto (Ossa y Suárez, 2008).

En el país, no existen investigaciones realizadas con la temática propuesta, por lo que, la contribución teórica-práctica del presente trabajo de investigación fue estudiar el efecto del período inter-parto en la curva de lactancia de vacas *Holstein friesian* en Ecuador; y la contribución práctica es la propuesta de un sistema de selección en base al efecto del período inter- parto en la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian*, para las condiciones ambientales en Ecuador.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### ***1.4.1 Objetivo General***

- Estudiar el efecto del período inter- parto en la curva de lactancia de vacas *Holstein friesian* en Ecuador.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Establecer el período inter-parto de vacas de la raza *Holstein friesian* en Ecuador.
- Estudiar el modelo matemático que mejor ajusta la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein Friesian* en Ecuador.

- Proponer un sistema de selección en base al efecto del período inter- parto en la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian*, para las condiciones ambientales en Ecuador.

## **1.5 Hipótesis**

- ¿El período inter- parto si influye en la determinación de la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian*, en Ecuador?

## **1.6 Identificación de las variables**

### ***1.6.1 Variable independiente***

- Período inter- parto

### ***1.6.2 Variable dependiente***

- Parámetros de la curva de lactación

### ***1.6.3 Variables intervinientes***

- Pico de producción de leche
- Índice de crecimiento de la producción
- Descenso de la producción
- Días abiertos
- Número de partos
- Edad

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

Según investigaciones realizadas por varios autores como: Montaña y Ruiz (2005); Macrae *et al.* (2006) y Llewellyn *et al.* (2007), Balarezo *et al.* (2016), la baja eficiencia reproductiva afecta la rentabilidad de un hato lechero, efecto que se debe al inadecuado manejo reproductivo, factores ambientales, genotipo, enfermedades reproductivas y aspectos nutricionales que provocan trastornos a nivel del eje hipotálamo-hipófisis-ovario, lo que vendría a causar anestro o ciclos anovulatorios por un fallo en la síntesis o liberación de gonadotropinas que causan una hipofunción ovárica.

Dohoo *et al.* (1983) citado en Alocilla (2009), manifiestan que los índices reproductivos evolucionan continuamente en un mismo rebaño en el tiempo, características del sistema de producción, localización geográfica y época, entre otras.

Según, Olivares *et al.* (2012) el período inter-parto es el tiempo transcurrido entre un parto y el siguiente, expresado en días o meses. Por lo que podríamos decir que el período inter-parto es una medición histórica por los partos que deben ser culminados y registrados durante la vida reproductiva del animal.

En otro estudio, realizado por Chaparro (2011) concluye que los parámetros reproductivos están afectados por: número de parto (1º, 2º, 3º o más), año de parto, estación de parto; producción de leche estandarizada en 305 días ( $L_{305}$ ); esta última, basada en una metodología de modelos matemáticos sobre la producción de leche estimados para la raza *Holstein friesian*.

El desarrollo de la producción de leche desde el parto hasta el momento del secado puede ser graficada, a través de la curva de lactancia utilizando una función matemática. Proceso biológico complejo y afectado por una serie de factores genéticos y ambientales. (Mejía y Ortiz, 1990).

Es necesario resaltar al productor que el registro de la producción de leche es importante, para un manejo adecuado de los rebaños y realizar la mejora animal del ganado productor de leche.

Con el afán de reducir costos en la recolección y procesamiento de la información, en los últimos tiempos y en diferentes países se han desarrollado numerosos sistemas de registros de producción orientado a reducir costos sin afectar la precisión de los resultados individuales o finales.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Población de ganado bovino y producción de leche a nivel mundial y en Ecuador

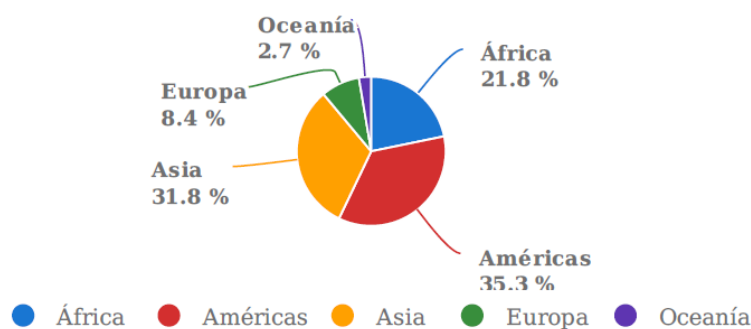
#### 2.2.1.1 Población bovina

La existencia mundial de vacas en el año 2017 fue de 1 491 687 239 millones cabezas, que se distribuyeron por continente América, 35.5%; Asia, 31.8%; África, 21.8%; Europa, 8.4% y Oceanía, 2.7% (FAO, 2017), ver gráfico 1-2.

Las mayores poblaciones de ganado vacuno expresadas en millones de animales a nivel mundial, están en Brasil (214.89), India (185.10), Estados Unidos (93.7), China (83.2), Etiopía (60.92), Argentina (53.35) (FAO, 2017).

En América existen 516 502 094 cabezas de ganado vacuno y, los países con mayor población son: Brasil (41.6%), Estados Unidos (18.14%), Argentina (10.33 %), México (6.15%), Colombia (4.35%) y Venezuela (3.19%) (FAO, 2017).

Según, análisis de la FAO (2017) entre 2010 y 2017, la población de bovinos a partir del 2014 tuvo incrementos significativos y, a partir del 2016 existió un declive. En Ecuador se registraron 4 190 611 cabezas, lo cual representa el 0.81 % de las existencias de ganado vacuno, a nivel mundial; sin embargo, estos valores tuvieron descensos, a partir del 2011 y, un aumento desde el 2015.



Source: FAOSTAT (sep. 30, 2019)

**Gráfico 1-2.** Población de ganado bovino a nivel mundial período 2010-2017

Fuente: FAO (2017).

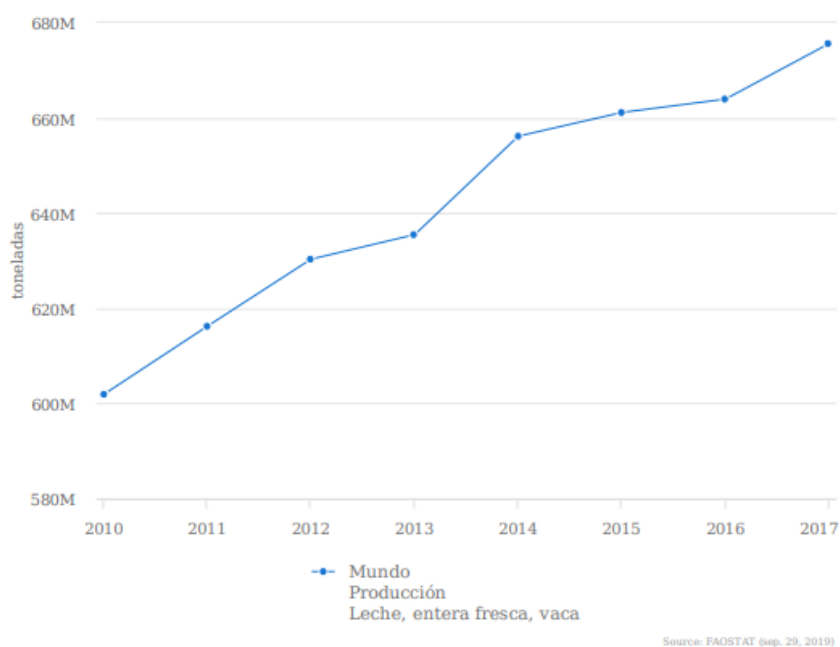
### 2.2.1.2 Producción de leche

La producción mundial de leche de vaca fue de 675 621 017 t de leche fresca, en el año 2017, con una tendencia al aumento en el período 2010 a 2017.

La mayor cantidad de leche fresca de vaca del planeta se produjo en países como Estados Unidos, con 97 734 736 t; seguido de la India con 83 633 570 t y, luego, Brasil con 33 490 810 t.

La ganadería tiene importancia para América Latina y el Caribe constituye fuente de alimentos básicos, para la seguridad alimentaria de la población (FAO, 2017).

América Latina con sus extensas áreas de pasturas, diversidad de condiciones climáticas, y un uso racional de insumos que incluyen granos (maíz, soya) y fertilizantes, cuenta con factores ambientales favorables, para ser zona de producción pecuario, para satisfacer las demandas de alimentos y garantizar la seguridad alimentaria del planeta (FAO, 2017).

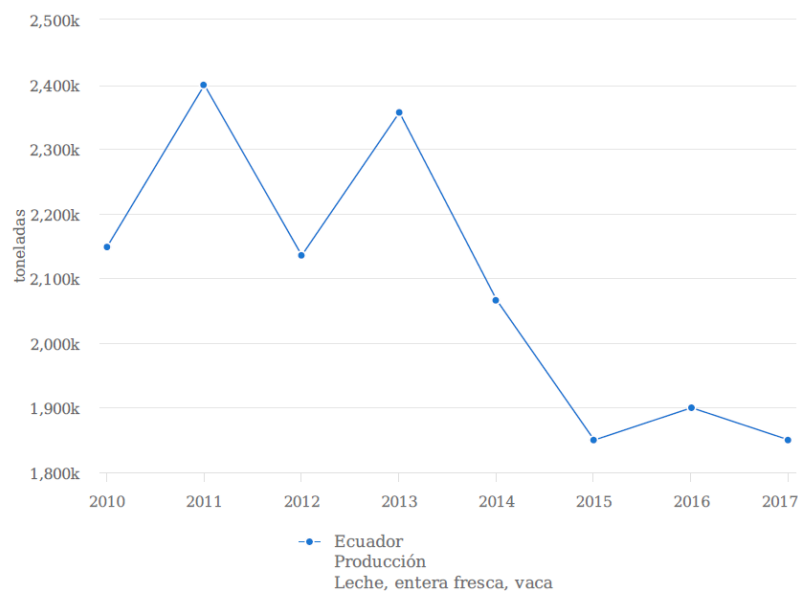


**Gráfico 2-2.** Producción de leche de ganado bovino a nivel mundial período 2010-2017

Fuente: FAO (2017).

El Ecuador produjo, según la FAO (2017) 1 850 000 t de leche fresca, lo cual representa el 1.0 % del total de producción de América, existiendo variaciones de producción en el período 2010-2017, reportándose que en la actualidad la producción de leche de vaca en el país ha tenido un declive notorio, pudiendo existir factores ambientales y genéticos que la están afectando.





**Gráfico 3-2.** Producción de leche de ganado bovino en Ecuador período 2010-2017

Fuente: FAO (2017).

### 2.2.2 Raza *Holstein friesian*

Para la Holstein Association USA Inc. (2005) el ganado de la raza *Holstein friesian* tuvo su origen en Europa, hace aproximadamente 2 mil años del cruce de animales negros de la tribu Batavia y animales blancos de la tribu Friesian; de talla grande, con estilo y patrones de color blanco y negro o rojo y blanco. Al nacimiento, pesan entre 40 y 45 kg, y al llegar a la edad adulta pesan entre 350 a 500kg. La madurez sexual alcanza a los 13 meses, aproximadamente, y el primer parto, entre los 23 a 26 meses, con gestaciones de nueve meses, con un rango  $\pm 15$  días. La vida media de producción es aproximadamente 4 años (citado en Durán, 2012).

### 2.2.3 Caracterización morfológica de la raza *Holstein friesian*

Los rasgos descriptivos lineales de la raza se basan en los actuales sistemas de calificación del tipo y son el fundamento de todos los sistemas descriptivos de la vaca de leche. La calificación lineal está basada en las medidas de caracteres no deseables (tabla 1-2).

**Tabla 1-2:** Caracterización morfométrica de la raza *Holstein friesian*

| N° | Características/Países            | WHFF <sup>1</sup> | USA <sup>2</sup> | ECU <sup>3</sup> | CAN <sup>4</sup> | ESP <sup>5</sup> | AR <sup>6</sup> |
|----|-----------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1  | * Estatura                        | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 2  | * Fortaleza                       | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 3  | * Profundidad del Cuerpo          | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 4  | * Carácter Lechero                | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 5  | * Angulo Anca                     | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 6  | * Anchura del Anca                | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 7  | * Patas Traseras vista posterior  | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 8  | * Patas Traseras vista lateral    | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 9  | * Angulo del pie                  | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 10 | * Ubre delantera                  | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 11 | * Colocación pezones delanteros   | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 12 | * Largo de pezones                | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 13 | * Profundidad de Ubre             | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 14 | * Altura Ubre Posterior           | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 15 | * Ligamento Medio                 | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 16 | ** Colocación pezones posteriores | ✓                 | ✓                | ✓                | ✓                | ✓                | ✓               |
| 17 | ** Locomoción                     | ✓                 |                  |                  |                  |                  |                 |
| 18 | ** Condición Corporal             | ✓                 | ✓                |                  |                  |                  |                 |
| 19 | * Balance de la Ubre              |                   | ✓                | ✓                |                  |                  |                 |
| 20 | * Ancho Ubre trasera              |                   | ✓                | ✓                | ✓                |                  |                 |
| 21 | ** Posición Coxo Femoral          |                   | ✓                |                  | ✓                |                  |                 |
| 22 | ** Estatura Anterior del cuerpo   |                   |                  |                  | ✓                |                  |                 |
| 23 | ** Profundidad Talón              |                   |                  |                  | ✓                |                  |                 |
| 24 | ** Calidad del Hueso              |                   |                  |                  | ✓                |                  |                 |
| 25 | * Firmeza del lomo                |                   |                  |                  | ✓                |                  |                 |
| 26 | ** Textura de la ubre             |                   |                  |                  | ✓                |                  |                 |

**Leyenda:** \*=Características primarias; \*\*= características secundarias; <sup>1</sup>=World Holstein Friesian Federation, 2009; <sup>2</sup>=Asociación Holstein de los Estados Unidos, 2005; <sup>3</sup>=Asociación Holstein del Ecuador, 2008; <sup>4</sup>=Asociación Holstein de Canadá, 2005; <sup>5</sup>=España ANAFE, 2008; <sup>6</sup>=Argentina ACHA, 2005.

#### 2.2.4 Asociación Holstein Friesian del Ecuador (AHFE)

A nivel nacional hay distintas instituciones que abastecen de servicios, planes, programas y proyectos al sector ganadero en el Ecuador, mediante actividades de comercio e investigación para el desarrollo de la ganadería lechera en todas sus etapas. Así, como también para el control, regulación y mejoramiento de la sanidad animal e inocuidad alimentaria.

Por otro lado, se encuentra la AHFE, la cual tiene como misión proveer servicios para el mejoramiento genético, tecnológico y productivo que permita la sustentabilidad de la ganadería lechera, contribuyendo al progreso de los ganaderos del Ecuador con gente comprometida y motivada, y como visión ser la asociación líder y consultiva del sector agropecuario en procesos tecnológicos y de mejoramiento ganadero, cuidando el medio ambiente y promoviendo modelos de desarrollo cooperativo incluyente para impulsar el crecimiento de la sociedad (AHFE, 2018).

Para la AHFE, la raza *Holstein* es la más antigua en Ecuador y la que más se ha cruzado con el ganado *Criollo*, lo que ha permitido al momento, un *Holstein friesian* adaptado a las condiciones ambientales de la Sierra ecuatoriana, y es así, que en 1896 llegan los primeros toros de esta raza al Ecuador, fueron importados por la familia Fernández Salvador a Machachi y del cruce con vacas de origen español, se obtuvo la raza lechera más popular en Ecuador, y más aún con reporte de vacas *Holstein* excepcionales de los herederos de Rubén Chiriboga Calisto, y de Roberto Cava Poggi de la Fontana, sin dejar duda que la mayor proporción de leche, que en esos momentos llegaba al mercado se debía a la raza *Holstein friesian* a la que ha dado una gran significancia la AHFE, por ser la promotora e impulsadora de esta raza en puro, cruzado y mestizo en todo el país (Vizcarra *et al.*, 2015).

La formación de la AHFE, se realiza en 1944 por un grupo de visionarios ganaderos con la necesidad de organizar una institución que desarrolle la ganadería de leche para abastecer de este vital producto a la población. Entre estos visionarios, están dos ex presidentes de la República y muy buenos ganaderos siendo los Primeros: Presidente y Vice presidentes de la Asociación Holstein: el Dr. Isidro Ayora Cueva y el Sr. Galo Plaza Lasso, y se suman a esta iniciativa otros, también distinguidos productores: Francisco Uribe de Brigard, Carlos y Manuel Freile Larrea, Cesar Peña Ponce, Pablo Guarderas Villacis, Alejandro Ponce Borja, Dr. Rubén del Hierro Mena, Neftalí Espinoza Jarrín (Vizcarra *et al.*, 2015).

Según, Vizcarra *et al.* (2015), en 1945, incrementa el interés del grupo, promover el uso de tecnología que había dado resultado en los países desarrollados, adaptarla al Ecuador y ponerla al uso de los ganaderos. Es así, como se abre el primer Herd Book, y en 1947 se norma y registra de forma profesional, el nacimiento, ancestros e identificación de los animales que nacen en cada hatu, con motivo de la apertura del libro de la raza Holstein, se les hace un reconcomiendo a José María Fernández Salvador y se nombra socios vitalicios a Ricardo y Alfredo Fernández Salvador, como los pioneros de esta raza en Ecuador.

El registro cumple con dos importantes funciones como certificar los ancestros de cada animal y presentar su diseño con sus manchas o su foto. Esto da un carácter de título de propiedad a cada animal. Coincidiendo con la primera feria, donde, llegan animales puros *Holstein friesian*, para los ganaderos Pablo Guarderas, Cesar Peña Ponce, Francisco Uribe, Miguel del Hierro, impulsada por Sr. Galo Plaza Lasso, se realiza la primera feria en el Regimiento Yaguachi en la Magdalena, el 24 de mayo de 1947. El Presidente y el Directorio pidieron la participación del Sr. Paul Steward, Juez norteamericano, autoridad en la materia, lo que fomentó como tradición tener jueces internacionales para que juzguen el ganado (Vizcarra *et al.*, 2015).

En 1948, se crea el control lechero iniciativa de Galo Plaza Lasso, conjuntamente con el técnico el Sr. M. B. Nichols, y se desarrolla el programa con el Ministerio de Agricultura. Muchos hijos de ganaderos fueron los primeros en tomar las muestras de los hatos y entregar los resultados. Este programa es uno de los más antiguos de América y ha sido una herramienta muy valiosa en la toma de decisiones para los ganaderos, porque ha permitido un manejo reciente del hato y sus producciones. También se prueban los primeros equipos mecánicos de ordeño. El Ing. Galo Plaza Pallares impulsa la inseminación artificial observada en EEUU y con la ayuda del técnico el Sr. Merle Howard, quien instruye a muchos ganaderos sobre esta nueva técnica. Nace con el uso de semen fresco de toros de genética superior, para en lo posterior hacer pajillas (Vizcarra *et al.*, 2015).

En 1953, se forma el mestizaje avanzado con la cruce de “toros puros registrados como padres” con animales hembras de otras razas entran en registro y evaluación por cruces, hasta que luego de 5 cruces registrados le convierten en un animal puro: “Holstein Ecuatoriano”. Y en 1976, se inicia la importación de semen en pajuelas desde EEUU y Canadá, por este medio llegan lo mejor de la genética mundial y en Ecuador hay hijas de toros líderes de la raza en el mundo. Esto restó valor a la monta natural, por lo cual, los terneros hijos de estos toros se venden a muy bajo precio. Miles de estos terneros, han servido de padres en haciendas y comunidades ganaderas de menor tecnología y han logrado la implantación de las razas lecheras en todo el país (Vizcarra *et al.*, 2015).

La AHFE promovió la unión con los criadores de otras razas lecheras y les ofrece idénticos servicios para sus animales. Esto también ha promovido que las otras razas se organicen, se registren y tengan acceso a la tecnología y avances que ha generado la AHFE, más aún comparten las instalaciones y equipos. Dentro de estas se encuentran *Brown Swiss*, *Jersey*, *Normando*, *Montbéliarde* y *Gir holando*.

### **2.2.5 *Fisiología de la Lactancia***

La fisiología de la lactancia implica el desarrollo de la glándula mamaria desde la etapa fetal hasta la edad adulta, el desarrollo futuro durante la preñez y el inicio de la lactancia con los consecuentes sucesos adaptativos metabólicos y de comportamiento (Glauber, 2007; citado en Rodríguez, 2012).

En un animal lactante, la secreción de leche es regulado hormonalmente en forma continua. Según, Smidt y Ellendorff (1972) el desarrollo normal de la glándula mamaria es la relación existente entre las hormonas adenohipofisarias y ováricas. La prolactina, los estrógenos y la progesterona, por efecto conjunto, ocasionan la proliferación de la glándula mamaria (Rodríguez, 2012).

Glauber (2007) menciona que, al inicio de la preñez, el sistema endocrino sufre dramáticos cambios. El crecimiento de la glándula mamaria es estimulado por la hormona de crecimiento (HC) y la prolactina (PRL), esteroides adrenocorticales, estrógeno y progesterona, gastrina y secretina del sistema gastrointestinal (Rodríguez, 2012).

### **2.2.6 *Lactogénesis***

#### **2.2.6.1 *Lactogénesis I o inicio de la lactación***

Está caracterizada por los cambios enzimáticos y citológicos de las células alveolares durante el tercio final de la gestación; las células epiteliales mamarias (lactocito o CEM) pasan de un estado no secretorio a uno secretorio, en este período se destaca por la formación del calostro y la inclusión de inmunoglobulinas.

Angulo y Olivera, (2010) manifiestan en estudios realizados sobre la fisiología de la lactancia, que antes del proceso de parto, se produce el precalostro, cuyos componentes básicos son: lactosa, lactoalbúmina, caseína, triglicéridos, citratos, inmunoglobulinas, cloro, sodio, potasio y agua; la secreción que ocurre durante esta fase es restringida a un número limitado de células alveolares con desarrollo incompleto de todos los mecanismos secretores.

#### 2.2.6.2 *Lactogénesis II*

Esta etapa es corta y va entre 0 y 4 días antes del parto y hasta 2 a 3 días postparto, donde, se produce una secreción copiosa de todos los componentes de la leche.

#### 2.2.6.3 *Lactogénesis III o galactopoyesis*

Según, Mustafa (2001) esta etapa es definida como el mantenimiento de la lactancia, una vez iniciada. Los cambios que ocurren en la glándula mamaria son, en parte, regulados por las hormonas galactoyéticas y, en parte por factores mamarios locales. Esta etapa inicia con la producción de la leche de transición (24 a 72 horas postparto) y termina cuando se desencadena la involución de la glándula mamaria.

El mantenimiento de la lactancia está bajo la influencia de una combinación de factores endocrinos, autocrinos y metabólicos, que varían de acuerdo con las especies y la etapa de lactancia (Hartmann *et al.*, 1996; citado en Angulo y Olivera, 2010).

Las hormonas que regulan la lactación son: prolactina, hormona del crecimiento, lactógeno placentario, los glucocorticoides, las hormonas tiroideas y los esteroides ováricos. La insulina y la oxitocina está relacionadas con la conservación de la galactopoyesis (Rueda, 2004; citado en Angulo y Olivera, 2010).

#### 2.2.6.4 *Eyección de la leche*

En los alveolos se produce la leche, y se acumula en los conductos excretores y en el seno galactóforo, donde, permanece almacenada hasta el ordeño, aumentando así la presión de la ubre. Al inicio del ordeño, la leche está a dos niveles: primero situada en las cisternas y en los grandes conductos galactóforos (leche cisternal), y la segunda que está en la región alveolar y en los conductos lobulares finos (leche Alveolar), de difícil extracción (Ayadi, 2003; citado en Angulo y Olivera, 2010).

La salida de leche desde el alveolo, es acompañada de la contracción de las células mioepiteliales que se sitúan alrededor del alveolo y los ductos, gracias a la acción de la oxitocina que viaja mediante el torrente sanguíneo.

### 2.2.6.5 *Involución mamario o Apoptosis*

En forma general en el último tercio de la preñez ocurren estímulos mamogénicos y lactogénicos de la preñez que se oponen a los estímulos propios para que se produzca la involución mamaria (Calvinho, 2013).

### 2.2.7 *Metodología de control del rendimiento lechero*

La International Committee for Animal Recording- ICAR (2008), es el organismo internacional no gubernamental encargado de la extensión y estandarización de los procedimientos de control de rendimientos, con el objetivo de establecer acuerdos con los países miembros sobre la regulación y recomendaciones de dicho control, con la flexibilidad en las regulaciones nacionales, siempre que se mantenga cierta uniformidad metodológica.

#### 2.2.7.1 *Principios básicos de los controles (ICAR)*

- Los registros deben incluir datos sobre: Identificación general, sexo, raza, parentales y fecha de nacimiento de los animales. Los datos registrados de esta manera pueden ser considerados como controles oficiales.
- La identificación del animal debe cumplir lo establecido en las reglamentaciones de cada uno de los países miembros.
- Los parentescos, los datos productivos y otros caracteres registrados, incluyendo los relativos a la salud, se deben registrar respetando los estándares establecidos por el ICAR.

**Tabla 2-2:** Control lechero mediante Metodología que recomienda el International Committee for Animal Recording - ICAR

| Intervalo (semanas) entre controles | Número mínimo de controles por año | Intervalo PDC |      |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|------|
|                                     |                                    | Min.          | Max. |
| A1                                  | 44                                 | 4             | 10   |
| A2                                  | 22                                 | 10            | 18   |
| A3                                  | 15                                 | 16            | 26   |
| A4*                                 | 11                                 | 22            | 37   |
| A5                                  | 9                                  | 32            | 46   |
| A6                                  | 8                                  | 38            | 53   |
| A7                                  | 7                                  | 44            | 60   |
| A8                                  | 6                                  | 50            | 70   |
| A9                                  | 5                                  | 55            | 75   |
| Daily                               | 310                                | 1             | 3    |

**Leyenda:** \*=Método de referencia; PDC= Producción días de control

**Fuente:** ICAR (2008).

- Se considera que la lactación comienza cuando se registra el parto o cuando se registra el primer control.
- Se considera que la lactancia finaliza cuando se declara un secado, o cuando la producción es inferior a: – Vacas < 3 kg/día o, < 1.0 kg/ordeño.
- Si no se declara un secado, ni se cumplen ninguna de estas condiciones, se supone que se secó el día siguiente al último control con producción.
- En animales con crías lactantes, después, del parto, el período de lactación válido como controlado (MP) se refiere solamente al período sin crías lactantes.

**Tabla 3-2:** Rango de valores para considerar un control lechero válido.

|  | Producción de leche, kg |      | Grasa, % |      | Proteína, % |     |
|--|-------------------------|------|----------|------|-------------|-----|
|  | Mín                     | Máx  | Mín      | Máx  | Mín         | Máx |
| Razas principales de ganado lechero          | 3,0                     | 99,9 | 1,5      | 9,0  | 1,0         | 7,0 |
| 6razas de ganado con alto contenido de grasa | *3,0                    | 99,9 | 2,0      | 12,0 | 1,0         | 9,0 |

**Leyenda:** \* =Superior al promedio de la raza 5,0 para grasa (%)

**Fuente:** ICAR (2008).

### 2.2.8 Método Fleischmann

La producción lechera fue estimada por el método Fleischmann o producción en el día céntrico y, se le denomina leche producida en la lactación real (Carré *et al.*, 1958; Caja *et al.*, 1986; Cruz *et al.*, 1995; Serradilla, 1996; Moiola, 1996).

Metodología que recomienda el International Committee for Animal Recording - ICAR (2008).

$$\sum \frac{(p_i + p_{i+1})}{2} * (d_{i+1} + d_i) \text{ (Fleischmann, 1945).}$$

Dónde:

$p_i$ =producción de leche en el control número  $i$ , donde  $i$  va desde uno hasta 10.

$d_i$ =días que la vaca lleva en lactancia cuando se le realiza el control número  $i$ .

Estima la leche inicial a partir del producto del número de días, desde el parto hasta el primer pesaje, menos los cinco días de amamantamiento calostrual, multiplicado por el valor del primer pesaje. Los animales se secan al pesaje de su último día de control.



Existen diferentes adaptaciones sobre la aplicación práctica de este método y las diferencias en el cálculo se refieren principalmente a los días del último control a la fecha de secado y a la duración de días entre controles.

Así, Carré *et al.* (1958) cuando se tiene la fecha específica de los controles y la fecha de secado, recomiendan usar la siguiente expresión:

$$X = N * c_1 + \sum_{a=2}^{a=n} \frac{(c_{a-1} + c_a)}{2} * i_{a-1} + c_n * i_n$$

Dónde:

X = producción de leche.

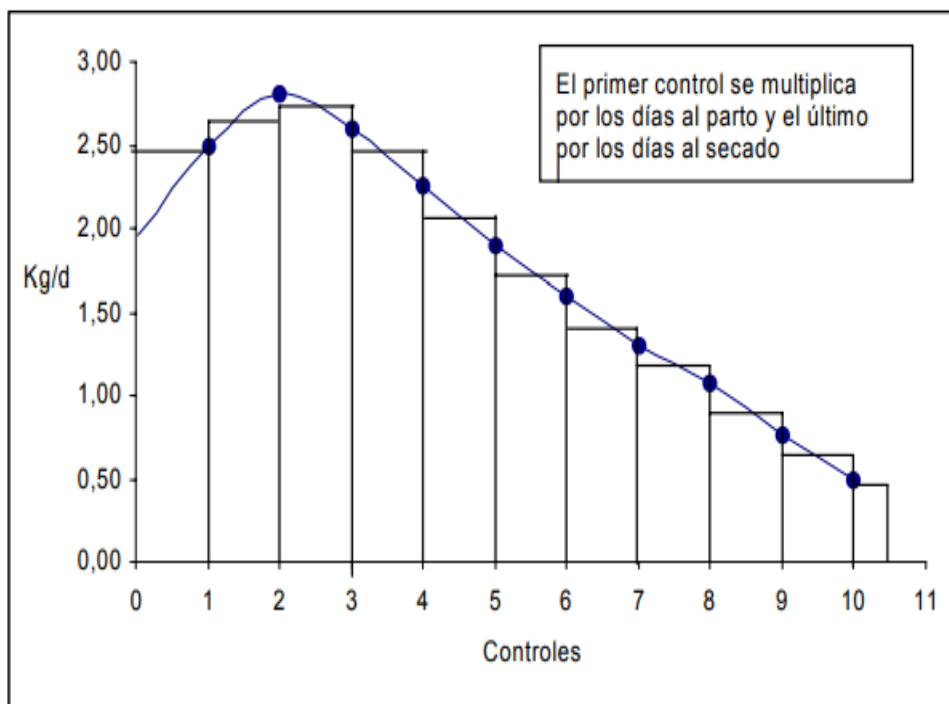
N = intervalo entre el parto y el primer control.

c<sub>1</sub> = producción de leche en el primer control.

i<sub>a-1</sub> = intervalo entre dos controles.

i<sub>n</sub> = el intervalo del último control al secado.

c<sub>n</sub> = producción de leche en el último control.



**Gráfico 4-2.** Cálculo de la producción de leche según Carré

Fuente: Carré *et al.* (1958).

Posteriormente, a esta misma expresión, Sotillo *et al.* (1996) le dieron otra notación, sin alterar las razones de su uso:

$$P = P_{o_{i=1}}^{i=n-1} + \sum P_i + P_n$$

Dónde:

P = Producción de leche.

$$P_o = p_o * t_o$$

$$P_i = \frac{(p_i + p_{i+1})}{2} * t_i$$

$$P_n = p_n * t_n$$

$p_i$  = producción del control i (1, 2, 3... n-1).

$p_{i+1}$  = producción del siguiente control i+1 (1, 2, 3...n).

$t_i$  = tiempo transcurrido entre dos controles.

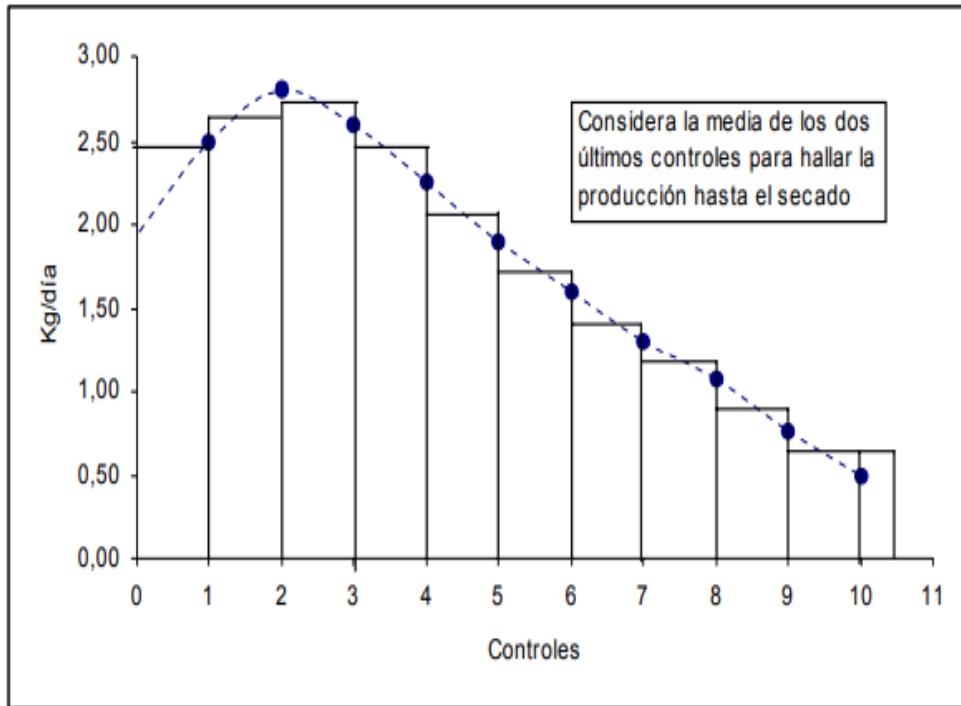
$p_n$  = producción del último control.

$t_n$  = días transcurridos del último control a la fecha de secado.

$p_o$  = producción del primer control.

$t_o$  = días transcurridos del parto al primer control.

Sánchez *et al.* (1997) establecen una duración fija de 30 días entre controles, para calcular la producción de leche total por lactación. En algunos casos, las fechas entre controles mensuales no son conocidas, específicamente, y al asumir una duración igual entre controles, se facilita el cálculo. La producción entre el parto y el primer control se calcula multiplicando los días transcurridos por la cantidad de leche obtenida en el primer control; de igual manera se procede para calcular la producción entre el último control y el secado.



**Gráfico 5-2.** Cálculo de la producción de leche según Sánchez

Fuente: Sánchez *et al.* (1997).

La expresión propuesta es:

$$PR_j = d_1 * P_1 + A + B$$

Dónde:

$PR_j$  = producción de leche.

$d_1$  = fecha de parto menos fecha de primer control.

$P_1$  = producción de leche en el primer control.

$$A = 30 \sum_{i=1}^{n_j-2} \frac{(p_i + p_{i+1})}{2}$$

$$B = [d_2 - 30(n_j - 2)] * \frac{(p_{n_j-1} + p_{n_j})}{2}$$

Dónde:

$d_2 = F_S - F_L$  .

$F_S$  = fecha de secado.

$F_L$  = fecha del primer control.

Cruz *et al.* (1995) y Serradilla (1996) calculan la producción de leche total dando una duración fija de 15 días en el tramo del último control al secado por no conocer su fecha, situación que es frecuente, y recomiendan una expresión con la siguiente notación:

$$L_R = d_1 + P_1 \sum_{i=1}^n \frac{(P_i + P_{i+1})}{2} * d + P_n * 15$$

Dónde:

$L_R$  = leche producida en la lactación real.

$n$  = número de controles efectuados.

$P_i$  = producción en el control  $i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots n-1$ ).

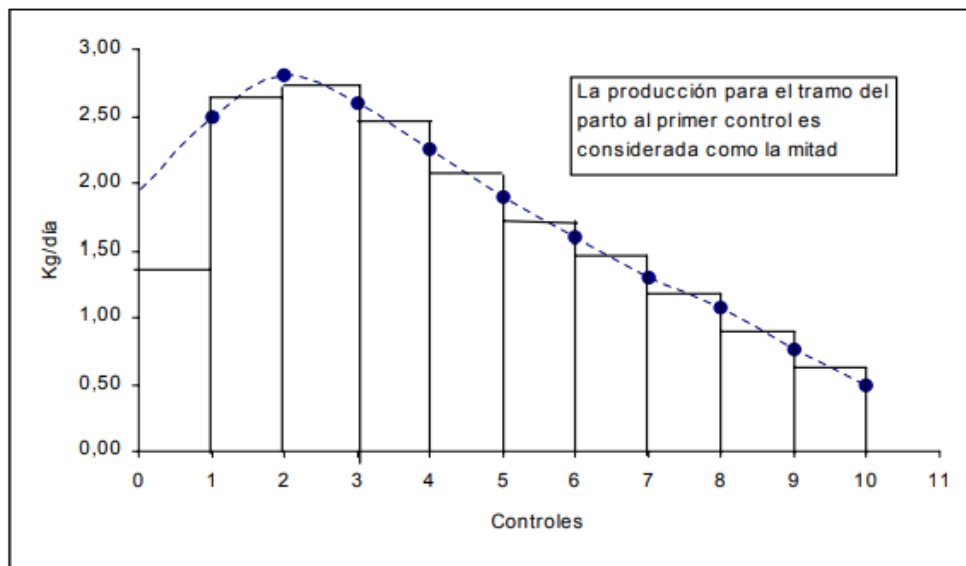
$P_{i+1}$  = producción en el control  $i+1$ .

$P_n$  = producción en el último control  $n$ .

$d$  = días transcurridos entre dos controles sucesivos.

$d_1$  = días del parto al primer control.

$P_1$  = producción en el primer control.



**Gráfico 6-2.** Cálculo de la producción de leche según Caja

Fuente: Caja *et al.* (1986).

Para poder hacer comparables las lactaciones con distinta duración, se establecen las denominadas lactaciones tipificadas a un determinado número de días (Boe, 1986), por ejemplo, 305 días en bovinos.

La tipificación de la producción de leche en días cuando la duración de la lactación real es superior, se considera sólo la producción estimada hasta esa fecha y, cuando la duración de la lactación real es menor, la producción tipificada es considerada como la obtenida en lactación real (Cruz *et al.*, 1995; Serradilla, 1996).

Cuando se hacen las correcciones necesarias para igualar en contenido graso, se obtiene las lactaciones normalizadas, lo cual se logra simplificando la frecuencia de controles, particularmente los correspondientes a los dos ordeños diarios. Lo segundo se consigue, por ejemplo, utilizando, para realizar la valoración genética de los animales, todas las lactaciones controladas, incluso aquellas que no han finalizado, mediante la extensión sin completar (Cruz *et al.*, 1995; Serradilla, 1996).

La implantación de un método simplificado tiene la posibilidad de controlar un mayor número de rebaños con el mismo coste que el completo ya que supone un ahorro entre el 30 y el 45 % (Hernández *et al.*, 1992).

Existen dos formas bien diferenciadas de reducir el número de visitas a las ganaderías (Cruz *et al.*, 1995):

- a) Alargando el tiempo transcurrido entre dos visitas consecutivas a una ganadería, sustituyendo la realización del control una vez al mes por uno cada 45 días, bimensual o con intervalos de tiempo mayores. También existen métodos con intervalos de tiempo desiguales entre controles, éstos están basados en la evolución que sigue la curva de lactación y su aplicación supone una uniformidad de paridera dentro del rebaño.
- b) En ganaderías de doble ordeño, en vez de realizar el control de dos ordeños una vez al mes, se registra uno de los dos y se estima la producción del ordeño no controlado. Estos métodos son conocidos como AM/PM y existen diversas variantes en función de que se controle el mismo ordeño (el de mañana o el de la tarde) a lo largo de la lactación o de que se alterne el ordeño controlado.

**Tabla 4-2: Métodos simplificados del control lechero en doble ordeño**

| <b>Control normal</b>                                  |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Mide la leche de la mañana y de la tarde               |   |   |   |   |   |   |   |
| Número de control                                      |   |   |   |   |   |   |   |
| Mañana   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Tarde  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <b>Control normal</b>                                  |   |   |   |   |   |   |   |
| Solo mide la leche del ordeño de mañana                |   |   |   |   |   |   |   |
| Número de control                                      |   |   |   |   |   |   |   |
| Mañana   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Tarde  | — | — | — | — | — | — | — |
| <b>Control normal</b>                                  |   |   |   |   |   |   |   |
| Solo mide la leche del ordeño de tarde                 |   |   |   |   |   |   |   |
| Número de control                                      |   |   |   |   |   |   |   |
| Mañana   | — | — | — | — | — | — | — |
| Tarde  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <b>Control normal</b>                                  |   |   |   |   |   |   |   |
| Control alternativo comenzando por el ordeño de mañana |   |   |   |   |   |   |   |
| Número de control                                      |   |   |   |   |   |   |   |
| Mañana   | 1 | — | 3 | — | 5 | — | 7 |
| Tarde  | — | 2 | — | 4 | — | 6 | — |
| <b>Control normal</b>                                  |   |   |   |   |   |   |   |
| Control alternativo comenzando por el ordeño de tarde  |   |   |   |   |   |   |   |
| Número de control                                      |   |   |   |   |   |   |   |
| Mañana   | — | 2 | — | 4 | — | 6 | — |
| Tarde  | 1 | — | 3 | — | 5 | — | 7 |
| <b>Control normal</b>                                  |   |   |   |   |   |   |   |
| Empieza sin ningún orden                               |   |   |   |   |   |   |   |
| Número de control                                      |   |   |   |   |   |   |   |
| Mañana   | 1 | 2 | — | 4 | — | — | 7 |
| Tarde  | — | — | 3 | — | 5 | 6 | — |

Fuente: Cruz *et al.* (1995).

Las lactaciones igualmente se calculan según el Método Fleischmann obteniendo las producciones tipificadas considerando que la producción del día completo es el doble de la producción en el ordeño controlado.

Algunos, métodos consideran factores de corrección (Martín *et al.*, 1989; Hernández *et al.*, 1992).

Así:

*Método A (control de los dos ordeños):*

$$L = L_m + L_t$$

Dónde:

$L$  = la producción de leche por día

$L_m$  = el ordeño de la mañana

$L_t$  = el ordeño de la tarde

*Método AF (control de un solo ordeño):*

AFm (si se utiliza el ordeño de la mañana)

$$L = 2 \times L_m$$

AFt (si se utiliza el ordeño de la tarde):

$$L = 2 \times L_t$$

*Método AFC (control de un solo ordeño corregido):*

AFCm (si se utiliza el ordeño corregido de la mañana)

$$L = L_m \times T_C$$

AFCt (si se utiliza el ordeño corregido de la tarde)

$$L = L_t \times T_C$$

*Método AT (control alternativo):*

ATm (si se utiliza alternadamente el ordeño de la mañana)

$$L = 2 \times L_m$$

ATt (si se utiliza alternadamente el ordeño de la tarde)

$$L = 2 \times L_t$$

*Método ATC (control alternativo corregido):*

ATCm (si se utiliza el ordeño alternativo corregido de la mañana)

$$L = L_m \times T_C$$

ATCt (si se utiliza el ordeño alternativo corregido de la tarde)

$$L = L_t \times T_C$$

El término de corrección en la aplicación de cualquier método de simplificación hay que tener en cuenta que la producción está afectada por diferentes factores que la afectan manera distinta en función de la edad, época de parto, nivel de producción, etc. Por esta razón, diferentes autores proponen corregir los métodos, para la duración de la lactación (Ammann, 1972; Anderson *et al.*, 1989) y fase de lactación (Everett y Wadell, 1970; Lee y Wardrop, 1984; Delorenzo y wiggans, 1986).

En ganado bovino, Jhonson *et al.* (1996) citado por Peña *et al.* (2005), estiman el error de la producción a 305 días en función del número de controles, intervalo entre controles e inicio de los controles, recogiéndose los valores en la tabla 5-2:

**Tabla 5-2:** Registro de control lechero

| Primer registro<br>(semana post-<br>parto) | Registro cada 8 semanas |     |     |     | Registro cada<br>15 semanas |
|--|-------------------------|-----|-----|-----|-----------------------------|
|  | 6                       | 5   | 4   | 3   | 2                           |
| 1°   | 247                     | 261 | 328 | 432 | 629                         |
| 2°   | 155                     | 172 | 253 | 368 | 509                         |
| 3°   | 142                     | 154 | 228 | 340 | 428                         |
| 4°   |                         | 159 | 220 | 324 | 385                         |
| 5°   |                         | 163 | 216 | 314 | 366                         |
| 6°   |                         | 161 | 208 | 304 | 349                         |
| 7°   |                         | 168 | 203 | 297 | 335                         |
| 8°   |                         | 181 | 204 | 292 | 325                         |
| 9°   |                         |     |     |     | 319                         |
| 10°  |                         |     |     |     | 313                         |
| 11°  |                         |     |     |     | 310                         |
| 12°  |                         |     |     |     | 308                         |
| 13°  |                         |     |     |     | 309                         |
| 14°  |                         |     |     |     | 312                         |
| 15°  |                         |     |     |     | 315                         |

**Fuente:** Jhonson *et al.* (1996).

Cuando falta un control entre dos controles con datos, se puede estimar la producción en ese control por interpolación o por cualquier otro procedimiento, siempre que esté aprobado por ICAR.

En vacuno se normaliza a 305 días. Se normalizarán aquellas lactaciones de una duración igual o superior a 240 días. En el caso de que la lactación tenga una duración inferior a 305 días, la producción natural y la normalizada serán iguales. El número máximo admisible de controles faltantes en los primeros 305 días de lactación es de dos (Peña *et al.*, 2005).



### 2.2.9 *Curvas de lactancia y características*

La descripción exacta de las curvas de lactancia es un tema interesante para la cría y la gestión propósitos en la producción lechera. Las curvas de lactancia son también una herramienta eficiente para la mejora genética de los rasgos de producción de leche. En las últimas dos décadas, se ha dedicado un gran esfuerzo a investigar el uso directo de los rendimientos del día de prueba (TD) basados en la evaluación genética del ganado lechero y en el mérito genético (Otwinska *et al.*, 2013).

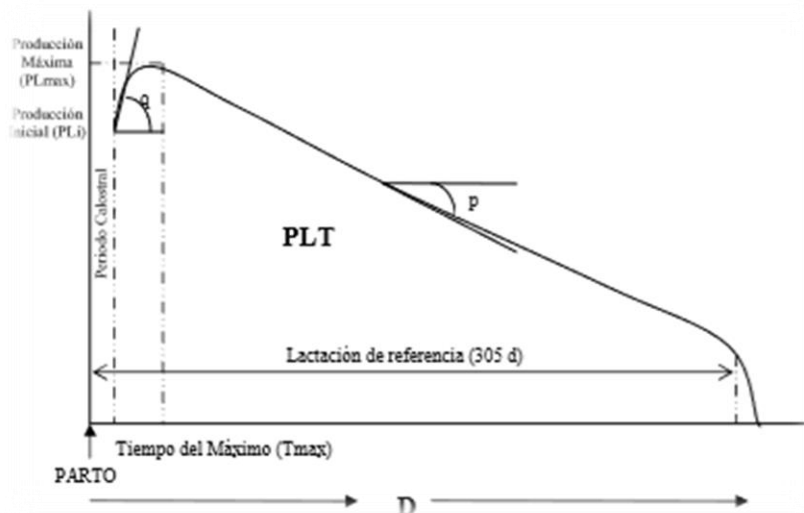
Se entiende por lactancia, a la etapa que comprende entre la fecha de parto, que es cuando una vaca comienza a producir leche, y la fecha de secado o término de la lactancia. Si, se registran las producciones de leche regularmente a medida que avanza la lactancia de la vaca y se las colocan en un plano de coordenadas, se puede observar que se va formando una curva denominada “Curva de lactancia” (Wachtel, 1995).

Una curva de la lactación dibuja el rendimiento de la leche de una vaca después del calostro hasta el secado (aproximadamente 300 días). Muestra el pico de producción, persistencia, y los efectos de eventos específicos en la producción de leche. Porque la forma de la curva de la lactación es bastante constante, el rendimiento lechero se predecirá tempranamente, con la porción inicial de la curva, para estimar la producción total de la lactación (Rivera, 2006).

La utilización de modelos matemáticos permite conocer las curvas de lactancia de animales domésticos en diferentes sistemas de producción lechera, y al existir múltiples modelos matemáticos, estos, se deben adecuar a una curva de lactancia típica, con fases secuenciales de producción ascendente, máxima y descendente, propias.

Durante la lactación de una vaca y en ausencia de todo factor limitante, la producción de leche total (PLT) se encuentra en función del tiempo “*t*” y puede ser representada en forma general, como en el gráfico 7-2.

Se observa como la producción lechera aumenta durante las primeras semanas del parto (fase ascendente), alcanzando un máximo de producción, para después decrecer progresivamente (fase descendente), hasta el secado (Rivera, 2006).



**Gráfico 7-2.** Curva de Lactación Modelo ajustada a 305 días

**Fuente:** Wood (1967).

La curva de lactación se puede caracterizar por una serie de parámetros.

- a) Duración de la lactación (D): definida por el intervalo parto-secado (gráfico 7-2).
- b) Producción inicial (PL): estimada por la media de producción de los días 4to a 6to post-parto, una vez finalizado el período calostroal (gráfico 7-2).
- c) Producción máxima (PLmax): es la producción de leche diaria en el momento del máximo de la curva. Suele presentarse hacia las 3-10 semanas después del parto (gráfico 7-2).
- d) Son los parámetros que se utilizan para la modelación matemática de ajuste de la curva de lactación, los valores de PL max y T max son considerados respectivamente como ordenada y abscisa, donde la cantidad de PL max es obtenida ya sea como un valor promedio de los tres días de producción más elevados o como el valor más elevado de las medias semanales.
- e) Producción total: obtenida acumulando las producciones lecheras diarias. Corresponde a la integral de la curva de lactación (superficie) (gráfico 7-2).
- f) Crecimiento en la fase ascendente: corresponde a la pendiente de la fase ascendente. A veces se define mediante la diferencia entre la producción máxima y producción inicial (gráfico 7-2).
- g) Coeficiente de persistencia: de la fase descendente. Se define como una medida del descenso de producción de leche diaria que se mantiene tras transcurrir un tiempo determinado. En ganado vacuno suele situarse alrededor del 10 por ciento mensual (gráfico 7-2).

La forma de la curva, para los porcentajes de grasa y proteína siguen una relación inversa a la curva de producción de leche. Así, durante los primeros días correspondientes al calostro, los componentes sólidos en la leche son altos, pero, estos, caen rápidamente en la misma proporción en que la producción de leche incrementa; hacia el último tercio de la lactación, el incremento de los sólidos vuelve a ser significativo (Silvestre, 2001).

El tiempo al cual el pico de producción ocurre es altamente variable y puede hallarse entre las dos y las ocho semanas, diferencias que están asociadas a la raza, según Macciotta *et al.* (2005).

Los estudios en bovinos realizados por Andersen y Jenseen (2011), acerca del pico de producción demostraron que las curvas con picos muy pronunciados ponen en riesgo la salud de la ubre y al mismo tiempo promueven la preñez precoz.

Igualmente, Husvéth (2011) señaló, que la disminución paulatina de la curva después de alcanzar la producción máxima, es considerada normal, como consecuencia de un proceso de involución gradual de la glándula mamaria, caracterizado en las hembras por una disminución en el número de lactocitos y tasa de apoptosis celular de la glándula lactante.

La persistencia de la producción lechera es una característica propia del proceso fisiológico de la glándula mamaria regulada por el número de lactocitos y su función secretora (Capuco *et al.*, 2001, 2003; Safayi, 2009; Dijkstra *et al.*, 2010 y Orman *et al.*, 2011) como el proceso muerte celular mamario (Zarzynska y Motyl, 2008).

## **2.2.10 Períodos de la curva de lactación**

### **2.2.10.1 Primer tercio de lactación**

Se extiende desde el momento del parto hasta los 100 días de lactancia. Es este el tramo en que la vaca entrega la mayor producción en litros/día. Paradójicamente, coincide con el período en el que, a pesar de tener sus mayores requerimientos de energía, disminuye su capacidad de consumo voluntario de materia seca (energía). Esto hace que entre en un período denominado balance energético negativo, en el que consume sus reservas grasas, perdiendo consecuentemente peso corporal. Este período también es crítico dado a que en su desarrollo se debe producir una nueva preñez que asegure, nueve meses después, un nuevo ciclo productivo. El intervalo parto-concepción (IPC) no tiene una duración fija, ya que no necesariamente la vaca queda preñada en el primer celo detectado.

Al tener el período de gestación una duración fija, es obvio que toda demora en la concepción alargamiento del IPC supone, en principio, una prolongación del ciclo productivo. Etapa donde se alcanza el pico de la lactancia y aproximadamente el 45 por ciento del total de la producción de leche (Cartier y Cartier, 2004).

#### *2.2.10.2 Segundo tercio de lactación*

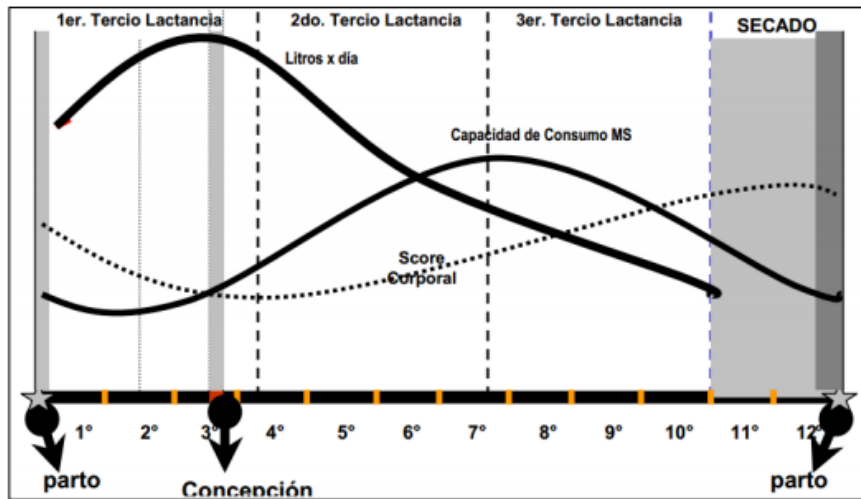
Se extiende desde los 100 días hasta los 200 días de lactancia, etapa en la cual se obtiene el 32 por ciento de producción total de leche aproximadamente. En este tercio la vaca se encuentra en estado de gestación, lo que supone que, simultáneamente, está produciendo leche y ternero. En este tercio comienza la mejora del estado corporal del animal debido a que la capacidad de consumo voluntario comienza a incrementarse junto con una disminución de los requerimientos de producción (etapa de balance energético positivo) (Cartier y Cartier, 2004; Alquina y Guamán, 2012).

#### *2.2.10.3 Tercer tercio de la lactancia*

Se extiende desde los 200 hasta los 300 días de lactancia; en esta etapa la vaca se encuentra en el segundo tercio de gestación. En este tercio se obtiene aproximadamente el 23 % de producción total de leche. Este es el tramo de menor eficiencia de producción de leche en términos de volumen. Aquí se hace evidente el problema que plantea la demora en la preñez de la vaca (alargamiento del IPC), ya que, si bien prolonga el ciclo productivo de leche, lo hace en el tramo de menor eficiencia. Finalmente, al aproximarse el período de parto, disminuye la capacidad de consumo voluntario (Cartier y Cartier, 2004; Alquina y Guamán, 2012).

#### *2.2.10.4 Período seco*

Es el período que va desde el final de la lactancia al parto siguiente, la vaca debe secarse en el séptimo mes de gestación, lo que coincide con 10 meses de lactancia. Este período tiene como objetivo recuperar la condición corporal, regeneración de tejidos nobles, preparar la glándula mamaria para la lactancia siguiente. En particular, las tres últimas semanas previas al parto, junto con el primer mes post-parto, integran el crítico período de transición (Cartier y Cartier, 2004).



**Gráfico 8-2.** Ciclo biológico productivo lácteo

Fuente: Cartier y Cartier (2004).

### 2.2.11 Métodos para estimar la curva de lactancia

Varias metodologías ya han sido presentadas para la evaluación genética de los rasgos de producción en ganado lechero basado en registros de días de prueba (Pletcher y Jaffrezic, 2002). Actualmente, se usa el ajuste de la curva de lactancia para modelar la parte aleatoria de la curva de lactancia en los modelos de regresión aleatoria, las primeras funciones aplicadas fueron Ali, Schaeffer y el modelo Wilmink (Bohmanova *et al.*, 2008).

Más recientemente, Polinomios de Legendre (Misztal, 2006) y modelos spline (Meyer, 2005) se han utilizado como los básicos en función de muchos análisis por modelos de regresión aleatoria.

Dentro de los modelos matemáticos empíricos que permiten describir una curva de lactancia, están los exponenciales negativos, Gamma Incompleto y Polinomial, los cuales permiten estimar el promedio de la producción de leche ( $y$ ) en un tiempo dado ( $t$ ). Cada uno de estos modelos matemáticos presenta sus respectivas ventajas y desventajas: los modelos exponenciales negativos fueron las primeras aproximaciones empíricas que describieron la curva de la lactancia de un animal y su énfasis descriptivo radica en la persistencia para la producción de leche; por otro lado, el Gamma Incompleto es el más usado para describir la curva de lactación en ganado lechero, y los modelos polinomiales son simplificaciones lineales de la curva de la lactancia.

La calidad de un análisis estadístico es evaluada por el modelo matemático que describe los datos que representan al evento biológico. Un modelo puede ser determinístico o probabilístico.

Un modelo determinístico describe una relación funcional entre eventos sin error. Los modelos probabilísticos son encontrados con mayor frecuencia en biología y agricultura, pero no describen exactamente las relaciones entre eventos.

Las curvas de lactancia generalmente se estiman con un gran número de registros y se caracterizan por patrones regulares (Macciotta *et al.*, 2010). Además, patrones individuales son de interés para la estimación del mérito genético de los animales (Macciotta *et al.*, 2005) a través de modelos de día de prueba de regresión aleatoria.

Se ha estudiado las propiedades de once seleccionados modelos. El más popular fue el primero propuesto por Wood (1967) para describir la curva de lactancia (WD).

Para graficar las curvas de producción de leche es importante conocer los modelos que mejor las definen; para predecir los valores esperados y estimar los coeficientes de los valores más probables de las lactancias extendidas (Rekaya, 1995).

La curva de producción de leche puede ser descrita por los diferentes coeficientes de un modelo matemático. Al respecto, diferentes modelos matemáticos han sido usados para predecir la producción de leche a diferentes estados de lactación. El estudio de la lactancia puede hacerse a través de funciones matemáticas mediante el estudio del nivel de producción a través del tiempo; el propósito es encontrar modelos matemáticos que mejoren la explicación de las curvas de lactancia.

#### 2.2.11.1 Modelos lineales

Entre los que se encuentran, cuadráticos, cuadráticos logarítmicos, polinomiales inversos, polinomios segmentados, lineal hiperbólico y regresión múltiple.

- Modelo polinomial inverso (Nelder, 1966)

$$Y_{(t)} = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3\ln(t)$$

Dónde:

$Y_{(t)}$  es la producción de leche diaria,  $t$  es tiempo en días de pesaje,  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ , son los parámetros específicos de cada función donde:  $a_0$ , = producción inicial,  $a_1$  = producción al pico, y  $a_2$  = descenso de la producción post pico hasta el secado.

El modelo polinomial inverso se ajusta en lactancias que inician con baja producción y llegan al pico en menor tiempo (Batra, 1986). De acuerdo a la comparación del  $R^2$ , este modelo se ajusta mejor que la función gamma incompleta al usar datos de producción de leche semanal.

Es importante la interpretación de los valores de  $R^2$  ajustado a través de las lactancias, porque permiten observar la dispersión y amplitud de puntos, de forma individual alrededor de la curva de lactancia promedio de la población para cada modelo.

Existe una variabilidad entre individuos genéticamente idéntica, debido a que cada registro individual de producción es influenciado por el efecto del día en lactación, efectos ambientales (mes y año de parto, manejo del rebaño, número de ordeños, etc.) que influyen en la producción de leche de un animal.

#### 2.2.11.2 Modelos no lineales

Ehrlich (2013) indica que los modelos no lineales son en muchos aspectos más difíciles de trabajar que los modelos lineales, pero puede representar la biología mejor de lo que es posible cuando los modelos se limitan a lineal o funciones polinomiales. Las técnicas para ajustar los datos observados a modelos no lineales varían en gran medida, y el rendimiento de un motor de ajuste depende a menudo de las características del conjunto de datos, así como el modelo.

Por otro lado, los diferentes modelos matemáticos permiten estimar la producción en el pico de la lactancia, definido como el tiempo en el cual se alcanza la máxima producción de leche de una hembra.

Según Fernández *et al.* (2001) los modelos matemáticos más utilizados para estimar las curvas de lactancia estándar son:

- Función Gamma incompleta (Wood)

El modelo de Wood es considerado como uno clásico muy utilizado en todo el mundo por la precisión al momento de predecir curvas de lactancia en ganado bovino, dando menores errores residuales, mayores coeficientes de determinación y altos porcentajes de convergencia, pero es necesario conocer que no solo en ésta especie se ha utilizado esta función como mecanismo para la evaluación y selección de animales, los ovinos, cabras de leche, búfalas y camélidos sudamericanos también han sido valorados en varios países con muy buenos resultados (Quintero *et al.*, 2007).

$$P_{(t)} = at^b e^{-ct}$$

Dónde:

$a$  = es un factor de escala asociado al nivel de máxima producción, excepto cuando  $c$  es próximo a cero que indica la producción inmediatamente posterior al parto.

$t$  = es la fase de la lactación.

$b$  = es un índice de crecimiento de la producción (0-1).

$t^b$  = integra la fase ascendente de la lactación.

$c$  = es un índice de descenso de la producción.

$a\left(\frac{b}{c}\right)^b e^{-ct}$  = Producción máxima (pico).

$\left(\frac{b}{c}\right)$  = Tiempo para alcanzar la producción máxima

$c^{-(b+1)}$  = representa una función adimensional de la persistencia.

Este modelo puede generar curvas de muchas formas, reflejando bien las variaciones producidas por factores biológicos y ambientales.

En general el modelo anterior linealizado adopta la siguiente forma:

$$Y_{(t)} = a_0 t^{a_1} e^{(-a_2 t)}$$

Dónde:

$\ln y_{(t)}$  = representa el logaritmo natural de la producción de leche en el día.

$t$  = parámetros a estimar.

$\ln t$  = representa el logaritmo natural del día  $t$ .

En condiciones prácticas este procedimiento no es aconsejable (Peña, 2000), ya que al linealizar el modelo las hipótesis de base quedan en escala transformada y pueden introducirse sesgos.

Este modelo ha sido ampliamente utilizado para la curva de lactancia de vacas de ganado lechero, se ajusta bien a los datos de producción de leche, predice mejor los datos reales durante la lactancia temprana y tardía, y predice con menor precisión los datos durante la lactancia media (Rowlands *et al.*, 1982).

### 2.2.11.3 Modelos mixtos no lineales

Algunos autores, como Quintero *et al.* (2007) mencionan que los modelos mixtos, brinda la posibilidad de analizar datos con estructuras de dependencia, no balanceados y en ocasiones con falta de normalidad.



Las ventajas de esta metodología, es que permiten contemplar la falta de cumplimiento de los supuestos tradicionales y modelar de la mejor forma posible complicadas estructuras de bases de datos entre otras ventajas. Estos métodos representan una rica y poderosa herramienta para analizar datos con medidas repetidas.

En el caso de las curvas de lactancias se consideran los parámetros  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , en los modelos mixtos al menos una de dichas variables se incluye como efectos aleatorios, los cuales permiten tener una relación no lineal con la variable respuesta (Davidian y Giltinan, 1995; Lindstrom y Bates, 1990; Pinheiro y Bates, 2000). Por ejemplo, la curva de Wood (1967) tiene  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  como constantes desconocidas a estimarse; y el error, asociado a la variabilidad individual de las observaciones que no se explican con el modelo.

### **2.2.12 Factores que influyen en la curva de lactación**

Son numerosos los factores que influyen en la producción de leche: raza, individuo, número de parto, estado de lactancia, época del parto, número de crías nacidas, alimentación, tipo de ordeño, manejo y estado sanitario (Martínez, 2000).

La producción y composición de la leche pueden ser modificados por factores que están relacionados con el animal como: genotipo y su prolificidad (Sánchez de la Rosa *et al.*, 2006; Togashi *et al.*, 2007) así como por el ambiente (factores no genéticos): número de lactancia, etapa de la lactancia, nivel de producción, producción láctea, la edad de la cría o el año de parto; zona, clima, suelo, alimento, época entre otros. Con la manipulación de alguno de los factores indicados, se puede mejorar la producción y composición de la leche de las cabras por ejemplo (Pesántez, 2015).

#### **2.2.12.1 Genéticos**

Varios autores, como Ribas y Gutiérrez (2001), Frau *et al.* (2010) y Bidot (2013) concluyeron que la raza es un factor determinante para el nivel de producción de leche. De igual manera, Pambu *et al.* (2011) determinaron diferencias genéticas entre individuos dentro de la misma raza. La raza determinó el potencial productivo de los animales, si bien siempre modelado por los factores ambientales que conlleva cada uno de los sistemas de producción (citado en Pesántez, 2015).

La producción de leche está influenciada por factores genéticos y ambientales en un 25 y 75 por ciento respectivamente; los primeros están determinados por la información genética con que nacen los animales, pudiendo considerarse del mismo animal (Zimin *et al.*, 2009). La aptitud lechera es una cualidad transmisible no solo por las hembras sino también por los machos, afectando a la cantidad total de leche como a su cualidad, especialmente la grasa (Torrent, citado por Alquina y Guamán, 2012).

Se cree actualmente que son varios los factores genéticos que condicionan esta aptitud. Torrent, citado por Alquina y Guamán (2012) manifiesta que en el control de la producción de los diversos cruces podemos encontrarnos con lo siguiente:

- Obtención de hijas que superan en producción a sus madres: influencia beneficiosa del toro.
- Obtención de hijas que producen menos que sus madres: influencia perjudicial del toro.
- Uniformidad en la respuesta de las hijas: fórmula genética del toro homocigótica.
- Diversidad de respuesta de las hijas: fórmula genética del toro heterocigótica.
- Diversidad de la descendencia: fórmula impura, heterocigótica de las madres.

#### 2.2.12.2 Ambientales

- Número de parto

Olivera (2001) afirma que las vacas aumentan su producción conforme avanzan en sus partos. Es así que las vacas de segundo parto producen más que las de primer parto, y las vacas de tercer parto producen más que las de segundo parto, y las adultas algo más que las de tercer parto.

Los porcentajes de incremento en la producción pueden variar de un establo a otro, de una cuenca lechera a otra, de un nivel de producción a otro, de una calidad genética a otra, pero lo que es un hecho cierto e incuestionable, es lo que se señaló al comienzo: que la producción aumenta conforme aumentan los partos.

Para, Vásquez (2017) la vaca en su primera lactancia produce alrededor del 70 al 75 por ciento, en la segunda 90 por ciento y en la tercera 95 por ciento, a partir de este parto alcanza el 100 por ciento de su rendimiento.

Así mismo, Olivera (2001) menciona que la curva de producción típica cae paulatinamente después de alcanzar el pico de producción. Esta caída en la curva de producción además varía en función al número de lactancias. Para vacas de primer, segundo y tercer parto a más presentan una caída mensual de 5.6, 8.5 y 9.8 por ciento respectivamente.

El número de parto afecta tanto al nivel de producción, como a la composición láctea. La mayoría de los estudios realizados sobre la producción diaria de leche se refieren a un incremento del nivel de producción conforme se incrementa el número de parto (Pesántez, 2015).

- Edad

Holmes (1984) sostiene que la curva de lactancia de las novillas es distinta a las correspondientes vacas de mayor edad; el punto máximo de producción es bajo y la curva es más plana. La diferencia en la producción y en la curva de lactancia puede deberse a que las vacas de mayor edad tienen más tejido secretor que las novillas, como consecuencia de los efectos a largo plazo del tejido secretor glandular mamario.

Las novillas que paren a los dos años de edad y todavía están creciendo; en vacas de mayor edad se utilizan más nutrientes para la producción de leche, posiblemente porque el consumo supera las necesidades de mantenimiento en mayor proporción que las vacas más jóvenes y de menor peso. Según, Ensminger (1977) la edad tiene un efecto preciso sobre la producción, la mayor parte de vacas llegan a la madurez y producción máxima alrededor de los seis años, después del cual ésta declina. Los registros indican que la vaca produce 25% más leche en la madurez que cuando tiene dos años de edad.

- Etapa reproductiva

Holmes (1984) menciona que no está perfectamente aclarado si la gestación frena la lactancia; así, únicamente la intención del ganadero de decidir secar las vacas antes de que inicie la nueva lactancia es lo que hace secar la lactación; es probable que muchas vacas puedan continuar produciendo hasta el parto, pero la existencia del período de seca mejora la producción de la siguiente lactancia.

Datos experimentales indican que la gestación puede reducir la producción de leche de una lactancia aproximadamente en 1 o 2 % en vacas con intervalos entre partos de 365 días y lactancias de 310 días; la mayor parte del descenso tiene lugar en el último mes de lactancia (séptimo mes de gestación) en el que la producción diaria puede reducirse en un 20 % o más;

asimismo menciona que, al comienzo del quinto mes la producción total de leche de vacas que están gestando declina con mayor rapidez que las vacas no preñadas.

Además, los factores ambientales y genéticos influyen en el proceso productivo y reproductivo; así la herencia es partícipe de la transmisión de la fertilidad, en un 10 al 20 %; y el medio ambiente del 80 al 90 %, siendo importante la nutrición la cual influye en un 60 % de este subtotal.

Los días abiertos es un factor que influye en la persistencia de la curva de lactación. Se considera una relación contraria entre la producción de leche en los niveles más elevados y la fertilidad del animal (Muir *et al.*, 2004).

Ramírez (2005) menciona que es común la selección de las hembras en función de la producción láctea y poco se ha tomado en cuenta la fertilidad o la conducta reproductiva del hato.

- Año y época de parto

El año de parto es un importante efecto de variación en la producción láctea de vacas, debido a las variaciones ambientales (precipitación, luminosidad, alimentación y temperatura) (Peña *et al.*, 2005).

- Número de crías por parto

El efecto del tamaño de la camada sobre la producción de leche es por el incremento en los niveles de galactógeno placentario, producido por un mayor volumen total de placenta, que va influir en la morfofisiología mamaria antes del parto. Además, del incremento en la producción, el efecto del amamantamiento, modifica el tiempo en el que se presenta el pico de producción, presentándolo antes en aquellas hembras que tienen una o dos crías al pie, en comparación con las que no tienen ninguna, lo cual afecta significativamente a la producción de leche total y el número de crías nacidas vivas con posterioridad (Pesántez, 2015).

### **2.2.13 Parámetros reproductivos del ganado lechero**

Los índices productivos y reproductivos del ganado lechero son indicadores del desempeño del hato, factibles de calcularse cuando los eventos de producción y reproducción han sido registrados adecuadamente.

Estos índices nos permiten identificar las áreas que pueden ser mejoradas, establecer metas reproductivas realistas, monitorear los progresos e identificar los problemas en etapas tempranas (Olivera, 2001; Wattiaux, 2004). Los registros reproductivos y productivos son fundamentales para cualquier toma de decisiones, para la viabilidad económica y productiva de las unidades de producción animal (Galligan, 1999).

#### 2.2.13.1 *Período interparto (PIP)*

Es uno de los parámetros reproductivos más utilizados en los establos. Establece el promedio de los tiempos transcurridos entre los dos últimos partos. También se define como el período entre dos partos consecutivos. El IEP estimado está representado por la suma del IPC más la duración promedio de la gestación, aceptando un promedio de 285 días para este evento (Sienra, 2002).

Por otra parte, Barletta (2004) indica que el período interparto en la vaca es indicador importante y que debe ubicarse entre los 12 y 13 meses. Para lograrlo se necesita una involución rápida del útero para que pueda volver a gestar una cría, que se restablezca el ciclo y los celos sean fértiles. El manejo de la vaca en el periparto (3 a 4 semanas antes y después del parto) es vital para que se cumplan esos términos.

En este período se produce una disminución de la ingesta y un aumento de la demanda de nutrientes, por ello que la vaca entra en un balance energético negativo. También hay una disminución de la inmunidad y mayor predisposición a enfermedades con las consiguientes pérdidas que se producen. Para prevenir y disminuir los inconvenientes que se presentan durante el periparto hay que manejar tres puntos importantes: la condición corporal de la vaca, la dieta de transición en el periparto y los problemas metabólicos.

Este parámetro nos da una idea global de cómo marcha el aspecto reproductivo en una explotación, midiendo el número de partos habidos por año de vida. Lo ideal serían 12 meses, pero se acepta un PIP de 13 meses.

Si el PIP es menor a 13 meses puede inferirse que no existen problemas de fertilidad en el rebaño, sin embargo, cabe precisar que un buen IEP se puede lograr en base a un criterio muy estricto de reemplazos o con un exceso de descartes por infertilidad, el porcentaje de reemplazo mayor de 15% se considera poco preocupante (Ortiz, 2006).

Para, Schmidt (1975) el PIP óptimo, desde un punto de vista económico, debe ser de 13 meses entre el primer y segundo parto y de 12 meses entre los partos restantes. Es común constatar PIP que sobrepasan los 13 meses, incluso que llegan a 15 ó 16 meses (citado en Ortiz, 2006).

El intervalo parto – primer celo no suele ser un dato recabado con frecuencia en los rebaños, ya que en general los celos post partos suelen registrarse asociados al servicio por ello su importancia en la ganadería (Sienra, 2002).

Según Graves (1996), las principales causas de PIP largos son la pobre detección de celos, los largos períodos de espera voluntarios (PEV), es decir, esperar mucho después del parto para empezar a inseminar y los bajos porcentajes de concepción (citado en Ortiz, 2006).

*Se puede dividir el PIP en 4 períodos:*

- *Período de descanso*, donde no se insemina a la vaca y varía de 40 a 70 días, y se relaciona al tiempo prudencial de espera para que se produzca la involución uterina. Algunas investigaciones concluyen que, si el parto se produce sin complicaciones, este fenómeno no es mayor de 40 días.
- *Período de espera al primer servicio*, incluye el período anterior más el tiempo en que se presenta y detecta el primer celo para ser inseminada la vaca.
- *Período del primer servicio a la concepción*, representa los días que requiere la vaca para concebir después de la primera inseminación.
- *Período de gestación*, es constante e inmodificable. El promedio en vacas Holstein friesian es de 279 días (Stevenson, 1995).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Características del área de estudio

El presente trabajo experimental descriptivo se desarrolló con lo registrado y validado de los animales de raza *Holstein friesian* con certificación de pureza en los hatos lecheros del país por la Asociación Holstein Friesian del Ecuador (AHFE), ubicada en la Manuela Cañizares OE3 - 101 y San Juan de Dios, Ciudadela Hospitalaria. Valle de los Chillos Puente 7 Conocoto, provincia de Pichincha.

Se utilizó para el análisis, las últimas lactancias de las vacas que estuvieron presentes en los predios participantes, durante los años 2010 a 2017.

#### 3.2 Tipo de estudio

La presente investigación se enmarcó bajo un método de correlación, dado a que su estructura, tiene como finalidad realizar un estudio de la relación existente entre más de dos variables en una población, lo cual, se ajusta a los objetivos y formulación de hipótesis, donde el interés de la investigación será determinar una relación entre la curva de lactancia y los índices de eficiencia reproductiva (período interparto) vacas de raza *Holstein friesian* en el Ecuador.

Los datos incluyeron registros de lactancias de vacas mayor a un parto; recolectados mensualmente por inspectores de la Asociación Holstein Friesian del Ecuador que realizan el control lechero oficial, con controles de leche de manera mensual (2x), recomendado por ICAR (2018).

La información obtenida se sometió a la depuración de datos extremos y selección de las lactancias válidas para el estudio.

La investigación tuvo un enfoque cualitativo lo que permitió describir, explicar, comprobar y, predecir los fenómenos (causalidad); generar y probar teorías, lo cual se ajustó con los objetivos planteados; además, se relacionó con investigaciones previas diseñadas bajo un proceso sistemático descriptivo y cuantitativo y aplicable.

La investigación se limitó al estudio de los registros reproductivos (fecha de parto) y productivos (kg leche por día) en la población de vacas de la raza *Holstein friesian* para determinar el periodo interparto y los parámetros de la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian*.

### **3.3 Método de investigación**

#### **3.3.1 Población de estudio**

La población de estudio estuvo conformada por la población de animales de la raza *Holstein friesian* registrados como animales de raza pura y con registro que constituyeron 9 215 animales, con un registro de 132 619 datos productivos y 13 641 datos reproductivos. Los mismos que fueron tomados de los repositorios de la Asociación Holstein Friesian de Ecuador y, con certificación de validez.

#### **3.3.2 Selección de la muestra**

Se estudió a la población de la raza *Holstein friesian* de Ecuador.

#### **3.3.3 Tamaño de la muestra**

En la presente investigación se utilizará todo animal que cumpla con los siguientes criterios:

#### **3.3.4 Criterios de inclusión**

Hembras en producción de la raza *Holstein friesian*, lactancias con producciones de leche control mayores a siete pesajes por lactancia; fechas entre pesaje menores a 40 días.

#### **3.3.5 Criterios de exclusión**

Lactancias incompletas con menos de ocho producciones de leche control; fechas entre pesaje que excedan los 40 días, animales de otras razas.

#### **3.3.6 Unidad de análisis**

La unidad de análisis estuvo representada por cada vaca de la raza *Holstein friesian* manejados (3027), cuyos datos reproductivos y productivos fueron de 122 000 registros que tiene la Asociación Holstein Friesian del Ecuador.



### 3.4 Técnicas de estudio

La recolección de los datos fue de manera directa, se tomaron los datos de los repositorios de animales de la raza *Holstein friesian* registrados por la Asociación Holstein Friesian del Ecuador, los cuales, fueron depurados, analizados, evaluados e interpretados. En las variables de producción de leche y reproducción (período interparto) calcularon las medidas de tendencia central y de dispersión.

Para la comparación de medias mínimo cuadráticas se utilizó la dócima de Tukey-Kramer (1956); además, se analizaron contrastes ortogonales para detectar efectos lineales, cuadráticos y cúbicos en las variables analizadas.

### 3.5 Análisis de datos

#### 3.5.1 Procedimientos para estimar la producción de leche

Se estimó la producción de leche total hasta los 305 días, a partir de las producciones de día de control (PDC), por el método de Fleischman (1945), metodología recomendada por ICAR (2008).

$$\sum \frac{(p_i + p_{i+1})}{2} * (d_{i+1} + d_i) \text{ (Fleischmann, 1945).}$$

A las PDC se determinaron los estadígrafos a través del PROC MEANS en el SAS, vw, 9.4 (2014).

#### 3.5.2 Procedimientos para el análisis de efectos genéticos y ambientales en la producción de leche

Los modelos matemáticos a utilizar fueron tres:

$$\text{Modelo I: } Y_{ijklmnov} = \mu + H_i + C_j (H_i) + AP_{ek} + EP_{el} + EP_m + O_n + L_o + e_{ijklmnov}$$

Dónde:

$Y_{ijklmnov} = f(\mu)$  valor fenotípico esperado de PDC según, la función de enlace específica;  $\mu$  = media o intercepto;  $H_i$  = efecto fijo del  $i$ -ésimo rebaño ( $i=1, \dots$  y 6);  $C_j (H_i)$  = efecto aleatorio de la  $j$ -ésima vaca dentro del  $i$ -ésimo hato;  $AP_{ek}$  = efecto fijo de  $k$ -ésimo año del pesaje de leche

(k=2000, ... y 2017);  $EP_{el}$  = efecto fijo de *l*-ésima época del pesaje de leche (l=lluviosa y poco lluviosa);  $EP_m$  = efecto fijo de *m*-ésima época de parto (m=lluviosa y poco lluviosa);  $O_n$ =efecto fijo del *n*-ésimo orden del pesaje de leche (n=1,... y 10);  $L_o$ = efecto fijo de *o*-ésima lactancia (o=1,... y 5);  $e_{ijklmnov}$  = error aleatorio debido a cada observación ( $NID \sim (0, s^2 e)$ ).

$$\text{Modelo II: } Y_{ijklmnov} = \mu + H_i + C_j (H_i) + AP_{ek} + EP_{el} + EM_{om} + O_n + L_o + R_v + e_{ijklmnov}$$

Donde:

$Y_{ijklmnov} = f(\mu)$  valor fenotípico esperado de PDC según, la función de enlace específica;  $EM_{om}$ = efecto fijo de la *m*-ésima época de monta (m= $EM_{o1}, \dots$  y  $EM_{o5}$ ).

$$\text{Modelo III: } Y_{ijkmov} = \mu + H_i + C_j (H_i) + AP_k + EP_m + L_o + R_v + e_{ijkmov}$$

Dónde:

$Y_{ijkmov} = f(\mu)$  valor fenotípico esperado de L300 según, la función de enlace específica;  $AP_k$ = efecto fijo de la *k*-ésimo año de parto (k=2011... y 2017);  $EP_m$ = efecto fijo de la *m*-ésima época de parto (m=lluviosa y poco lluviosa).

Los datos fueron analizados en modelos lineales mixtos y general a través de PROC GLIMMIX y GLM de SAS vw., 9.4 (2014).

### 3.5.3 Procedimiento para determinación de curva de lactación

Se evaluó mediante la función lineal Polinomial inversa (PInv) y, no lineal, Gamma incompleta (GI), para determinar el mejor ajuste de las curvas de lactancia de los animales analizados.

Sus ecuaciones son las siguientes:

$$\text{Polinomial Inversa (Nelder, 1966): } Y_{(t)} = t / (a_0 + a_1 t + a_2 t^2)$$

$$\text{Gamma Incompleta (Wood, 1967): } Y_{(t)} = a_0 t^a {}_1 e^{(-a_2 t)}$$

Dónde:

$Y(t)$  es la producción de leche diaria;  $t$ , es tiempo en días de pesaje;  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ , son los parámetros específicos de cada función;  $a_0$  = producción inicial;  $a_1$  = producción al pico, y  $a_2$  = descenso de la producción post máxima producción hasta el secado del animal.

La estimación de los parámetros de la curva de lactancia se realizó por medio de regresión no lineal con el método modificado de Gauss Newton, del PROC NLIM. Se eligieron las funciones Polinomial inverso y Gamma Incompleta por los buenos ajustes alcanzados en estudios de curva de lactancia, en vacas de razas de leche.

#### **3.5.4 Procedimiento para determinación del período Inter- parto**

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$PIP = \text{días abiertos (puerperio + servicio)} + \text{días de gestación}$$

#### **3.5.5 Procedimiento para correlación entre período entre parto y parámetros de la curva de lactación**

Se determinó las correlaciones fenotípicas entre las medidas de la curva de lactancia y el período interparto y, fueron evaluadas mediante la siguiente función:

$$Y_{fjkl} = \mu + a_f + b_j + c_k + PI_l + e_{fjkl}$$

Dónde:

$Y_{fjkl} = f(\mu)$  efecto esperado según, la función de enlace específica;  $\mu$  = media o intercepto;  $a_f$  = efecto aleatorio pico producción;  $b_j$  = efecto aleatorio del índice de crecimiento de la producción;  $c_k$  = efecto aleatorio del descenso de la producción;  $PI_l$  = efecto fijo del período entre partos (excelente, bueno, regular);  $e_{fjkl}$  = error aleatorio debido a cada observación ( $NID \sim (0, s^2 e)$ ).

#### **3.5.6 Metodología para la Selección de Vacas Holstein friesian en Ecuador**

Los valores de los índices fueron obtenidos a partir de los Mejores Predictores Lineales Insesgados (MPLI) conocidos en inglés como BLUP (Best Linear Unbiased Predictors). Estos valores conllevan una información ya ajustada a los efectos ambientales tomados en consideración en el modelo matemático, y por tanto representaron un valor de interés para la selección.

Para el cálculo de los BLUP individuales se toma en cuenta el uso de los Modelos Mixtos. Estos modelos conllevan la consideración de los efectos fijos que representan a aquellos efectos de origen ambiental (época de parto, rebaño, grupos contemporáneos, número de lactancia, etc).

Así como de los efectos aleatorios vinculados al animal propio que se desea evaluar. Los efectos fijos resultarían como BLUE (Best Linear Unbiased Estimators) y los aleatorios como BLUP, en este caso de cada vaca contemplada en el estudio.

Las DEP, se pueden obtener, a partir de dividir por dos los valores del BLUP, éste último es considerado, como un estimado del valor genético, mientras que el primero es lo transmitido a la progenie. Las madres aportan la otra mitad.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 Variable Relacionada a la Eficiencia Reproductiva

##### 4.1.1 *Periodo/ Intervalo entre-parto (PIP)*

El parámetro intervalo entre partos calculado en la presente investigación entre los años 2010 y 2017 fue de  $440.16 \pm 16.33$  días, con un coeficiente de variación (CV) de 28.25 %, siendo un valor superior a los 365 días que es el valor óptimo para alcanzar una buena producción y un parto al año (tabla 6-4).

Lo observado es inferior a  $481 \pm 141$  días, de Sánchez (2010) estudiado en México; pero siendo superior a  $436 \pm 39$  días, reportado por Bulnes y Medina (2018); a  $418.25 \pm 7.1$  días según Guerra y Erazo (2015) en Honduras y a  $438 \pm 24$  días, estudiado por Elizondro (2014) en Panamá y a  $403 \pm 86$  días según, Ansari *et al.* (2010) en Irán y, a Ramírez *et al.* (2008) en México, de  $12.9 \pm 0.4$  meses equivalente a  $387 \pm 12$  días con una duración promedio de la lactancia de  $326 \pm 18.1$  días y el periodo seco de  $67.0 \pm 5.1$  días.

Como resultado de diferentes investigaciones el PIP varía principalmente por la duración del periodo seco, que suele ser entre 45 a 70 días lo que afecta la productividad de la siguiente lactancia en forma negativa; pues, al ser muy corto no existe la formación de nuevo tejido secretor y por el contrario si es muy largo causa involución del tejido excretor y acumulación de tejido adiposo en la glándula mamaria y en el cuerpo del animal, provocando disminuciones en la producción de leche y alteraciones metabólicas al momento del parto, lo que repercute en la siguiente reproducción del animal (Rivas 2005).

Debido a la alta correlación y nivel de significancia entre el periodo seco y los aspectos reproductivos de la vaca, los cuales relacionan la duración del Intervalo entre partos, Intervalo parto- concepción e Intervalo parto al primer Celos (Rivas 2005).

Valores altos (ver tabla 6-4) pudieron deberse a problemas en la fertilidad, gestación o a tratamientos hormonales para prolongar la producción de leche, dada, la productividad y valor genético de las vacas.

Cabe mencionar que las bajas concentraciones de insulina, en la sangre, provocan una disminución en la producción de IGF-I en el hígado, mecanismo que provoca una falta de respuesta desde los folículos de los ovarios hacia las gonadotropinas, extendiendo el tiempo para la producción de óvulos viables y afectando la eficiencia reproductiva de la vaca (Butler, 2012), incrementando en el tiempo en el que el animal puede preñarse, causando largos periodos en el PIP del animal.

**Tabla 6-4:** Estadística descriptiva del periodo Interparto

| Media  | DE     | EE    | CV    | Mín    | Máx    |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 440,15 | 124,38 | 16,33 | 28,26 | 314,00 | 899,00 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Mín= valor mínimo; Máx= valor máximo

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).

## 4.2 Variables relacionadas con la producción de leche

La producción de leche máxima o pico de producción se alcanzó a los 33 días postparto en promedio, independiente del número de lactancias (tabla 7-4).

Las medias de producción de leche variaron, de acuerdo, con la fase de lactancia que se incrementaron hasta el segundo pesaje ( $20.20 \pm 0.31$ kg de leche/día). A partir de éste, disminuyeron hasta el final de la lactancia ( $15.55 \pm 0.38$ kg de leche /día) (gráfico 9-4).

La producción total por lactancia ( $L_{TOTAL}$ ) fue de 5203.2 kg, valores inferiores a lo notificado por Guerra *et al.* (2018) de 6425 kg (real) y 6852 kg (estimada) en Panamá; de igual manera, a los valores calculados por Baouallegue *et al.* (2012) en el norte de África, 5842 kg en verano y 5990 kg en invierno; siendo muy inferiores a las producciones notificadas en Irán (Farhangfar y Rowlinson (2007); Atashi *et al.* (2009) de 7448 kg y 8057 kg, respectivamente; por otro lado, los valores encontrados son superiores a los reportados por Rodríguez *et al.* (2019) de 1437 kg en Venezuela y, a los 3588.31 kg de Seangjun (2009) en Tailandia.

La cantidad de  $L_{TOTAL}$  producida en el primer tercio de la lactancia fue de 1916.10 litros que corresponde al 36.83%, en el segundo tercio fue 1707.4 litros que representa el 32.81% del total de la producción y para el último tercio fue de 1579.7 litros lo que corresponde al 30.36% de la producción total; siendo en el primer tercio la máxima producción de la lactancia, evidenciándose una disminución a partir del segundo tercio hasta el tercer y último tercio (gráfico 9-4); característica de apreciación similar a lo expresado Alquina y Guamán (2012) los cuales

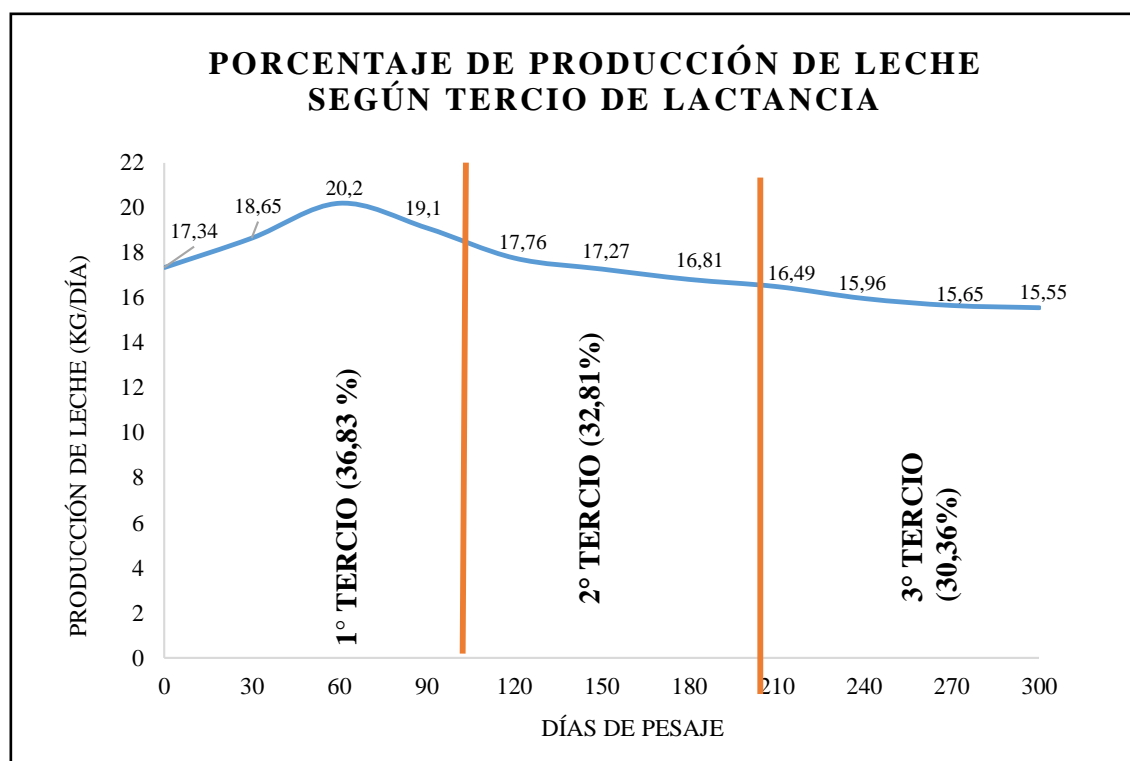
determinaron que la producción fue de 43.9%, 32.6% y 23.5%, en el primero, segundo y tercer tercio de la lactancia, respectivamente.

**Tabla 7-4:** Estadígrafos de pesaje de la producción de leche

| OBS | N   | Y     | X   | DE   | EE   | CV    | GI    | PInv  |
|-----|-----|-------|-----|------|------|-------|-------|-------|
| 1   | 296 | 18,65 | 30  | 5,30 | 0,31 | 27,60 | 19,25 | 18,88 |
| 2   | 268 | 20,20 | 60  | 5,03 | 0,31 | 25,43 | 19,08 | 19,18 |
| 3   | 254 | 19,10 | 90  | 5,06 | 0,32 | 26,69 | 18,69 | 18,82 |
| 4   | 247 | 17,76 | 120 | 4,52 | 0,29 | 25,44 | 18,21 | 18,31 |
| 5   | 231 | 17,27 | 150 | 4,54 | 0,30 | 26,30 | 17,69 | 17,76 |
| 6   | 219 | 16,81 | 180 | 4,84 | 0,33 | 28,80 | 17,16 | 17,21 |
| 7   | 215 | 16,49 | 210 | 4,47 | 0,30 | 26,61 | 16,63 | 16,65 |
| 8   | 197 | 15,96 | 240 | 4,13 | 0,29 | 25,86 | 16,1  | 16,10 |
| 9   | 187 | 15,65 | 270 | 4,44 | 0,32 | 28,40 | 15,57 | 15,54 |
| 10  | 179 | 15,55 | 300 | 5,09 | 0,38 | 31,72 | 15,06 | 14,99 |

**Leyenda:** N=Número de mediciones; Y= Valor de la curva observada; X= Número de días; DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; GI= Gamma Incompleta; PInv= Polinomial Inversa

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).



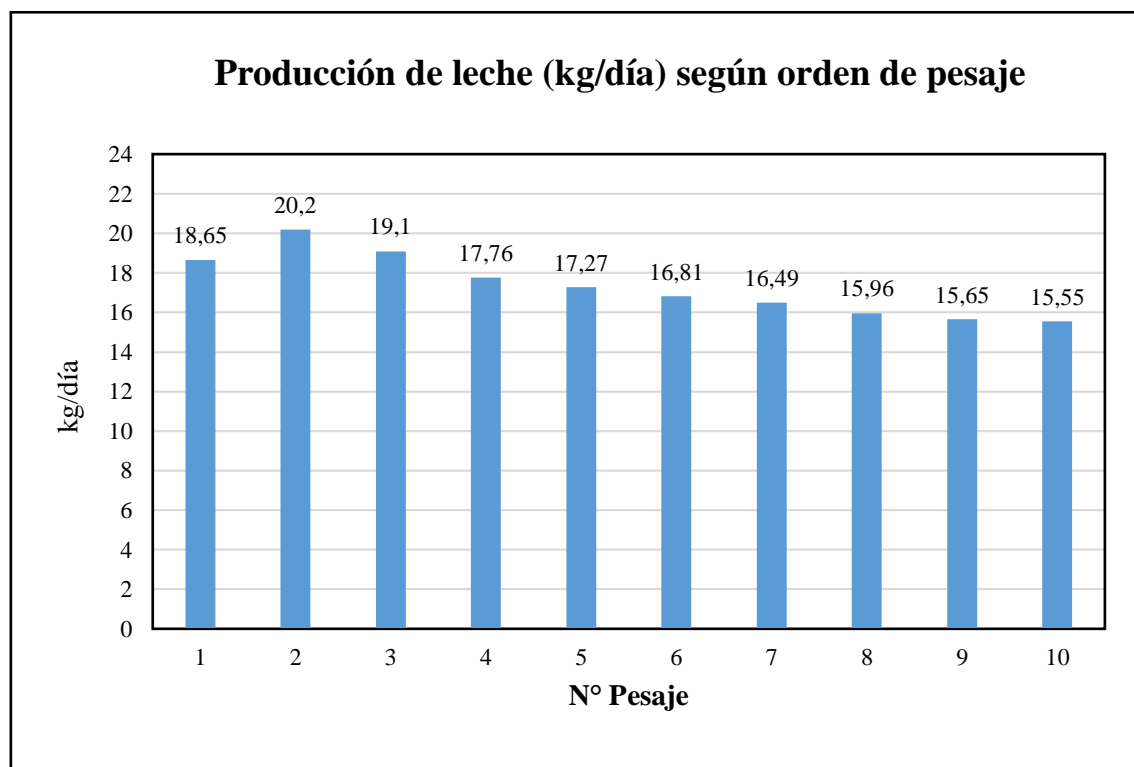
**Gráfico 9-4.** Porcentaje de la producción de leche en cada tercio de la lactancia de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador.

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).

Con respecto al orden de pesaje realizado la producción en el primer pesaje fue de  $18.65 \pm 0.31$  kg; en el segundo de  $20.20 \pm 0.31$  kg; en el tercero de  $19.10 \pm 0.32$  kg; y  $17.76 \pm 0.29$  kg;  $17.27 \pm 0.30$  kg;  $16.81 \pm 0.33$  kg;  $16.49 \pm 0.30$  kg;  $15.96 \pm 0.29$  kg;  $15.65 \pm 0.32$  kg y  $15.55 \pm 0.38$  kg en el cuarto hasta décimo pesaje, respectivamente (gráfico 10-4).

Las producciones ajustadas por orden de pesaje, de la población en estudio (gráfico 9-4) expresan una variación depende de manera significativa de la fase de lactancia. La producción media fue de 17.34 kg; el pico de producción se alcanzó entre el primer y segundo pesaje (correspondiente con los días 30 y 60 de realizado el pesaje) con un valor de  $20.20 \pm 0.31$  kg y el valor mínimo ( $15.55 \pm 0.38$  kg) en el décimo pesaje que coincidió con la culminación de la lactancia. Una característica interesante de la curva formada es que después del segundo pesaje, se observó una depresión continua en la producción hasta el décimo pesaje.

Los valores de la presente investigación son aparentemente inferiores a lo reportado por Toca *et al.* (2016), quienes mencionan que los promedios de producción diaria según el orden de la lactancia fueron de 19.9 kg; 20.6 kg; 22.2 kg y 20.1 kg en la primera, segunda, tercera y cuarta lactancia, respectivamente.



**Gráfico 10-4.** Producción de leche (kg/día) en promedio según orden de pesaje mensual de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador.

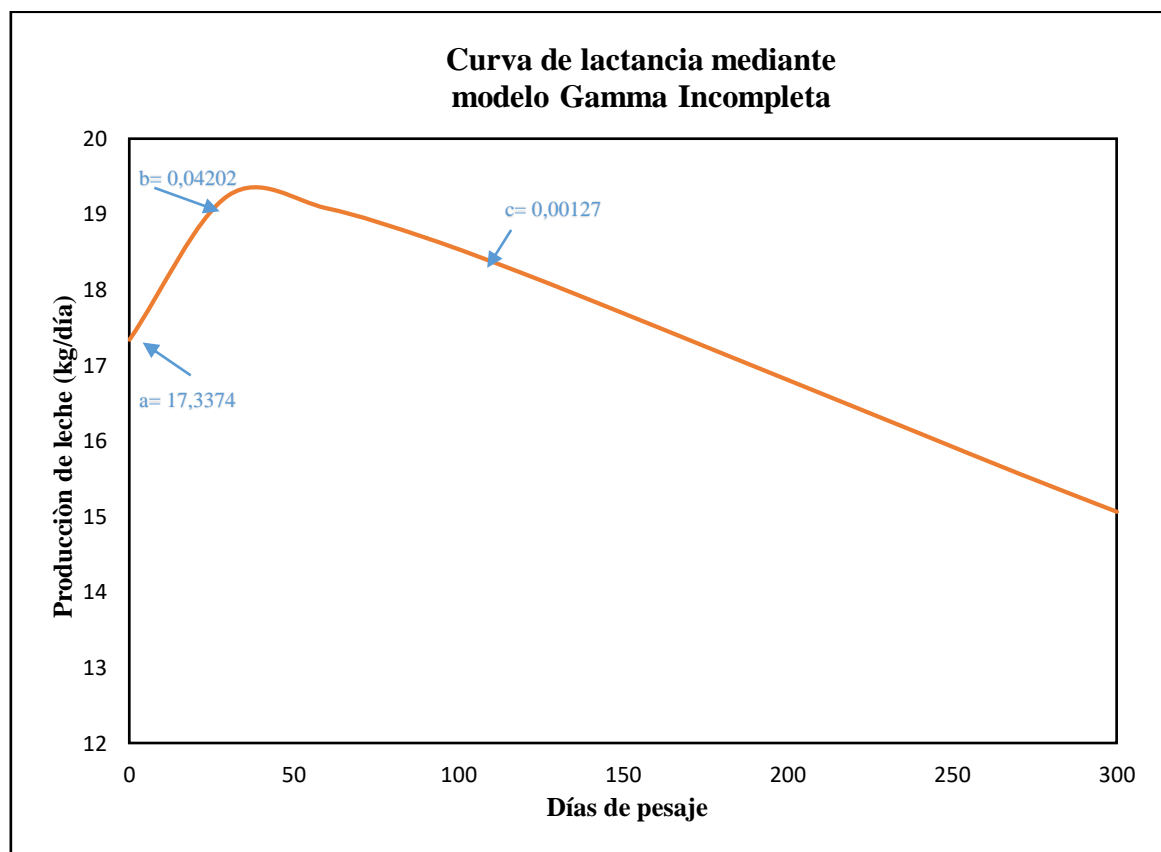
**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).



#### 4.2.1 Curva de lactancia y parámetros de estimación

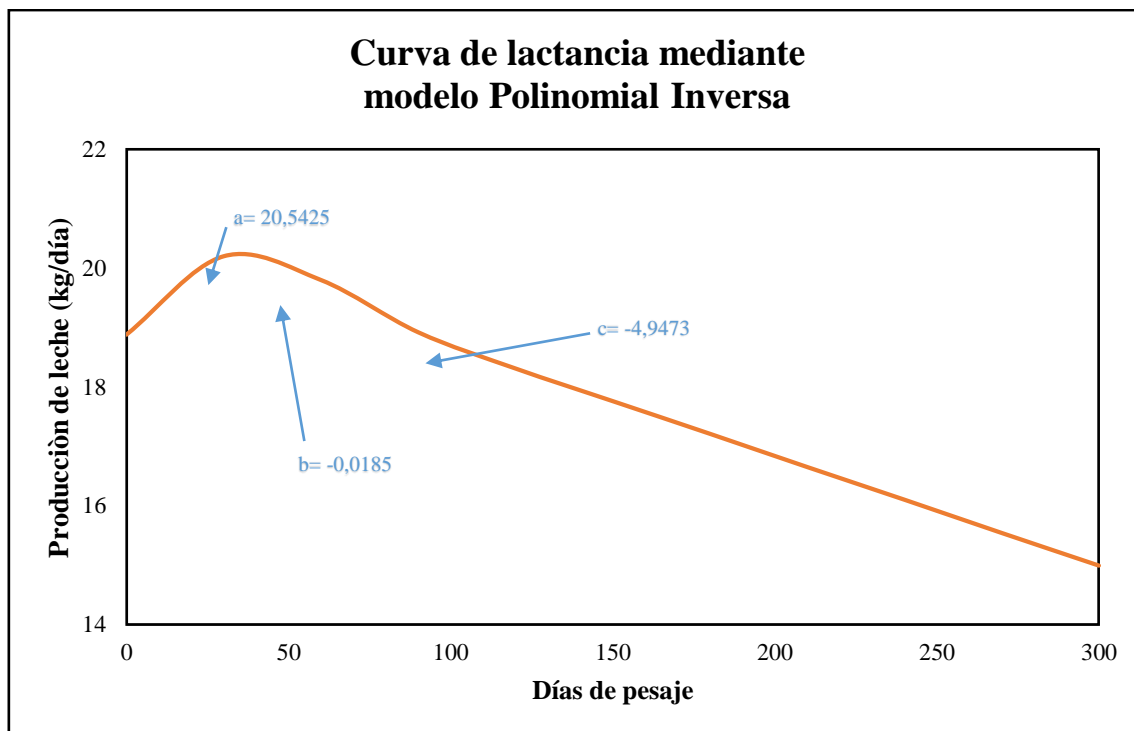
La producción láctea en el presente estudio se modeló usando la función gama incompleta (Wood, 1967) al igual, que con la función Polinomial Inversa (Nelder, 1966) ya que sus parámetros se basan en una interpretación biológica para estudios de comportamiento de la lactancia.

En base a 3027 lactancias completas, el presente estudio describió, la curva de lactancia mediante el modelo de Wood o función Gama Incompleta (GI), obteniéndose valores de **a**, **b** y **c** positivos, representadas en el gráfico 11-4; reflejando una curva en forma estándar (típica) como lo mencionan en los estudios realizados Boujenane y Hilal (2012) en el norte de África y Atashi *et al.*, (2009) en Irán; y a través de la función Polinomial Inversa (PInv) se determinó que los valores **a** son positivos, pero **b** y **c** fueron negativos representadas en el Gráfico 12-4, que mostró la curva una forma estándar invertida (atípica), lo que indica que la curva decrece continuamente, tal como lo indican Botero y Vertel (2006); Quintero (2007) en Colombia y Cajas (2009) en la hacienda Santa Catalina del INIAP en Ecuador.



**Gráfico 11-4.** Caracterización de la curva de lactancia de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador mediante modelo Wood o Gamma Incompleta.

Elaborado por: Calderón, J. (2021).



**Gráfico 12-4.** Caracterización de la curva de lactancia de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador mediante modelo Polinomial Inversa.

Elaborado por: Calderón, J. (2021).

#### 4.2.1.1. Descripción de parámetros a b c

Según la tabla 8-4, las vacas *Holstein friesian*, mediante el modelo GI se destacaron por presentar valores de 17.34 kg/leche en (a) como parámetro asociado a la producción inicial, que representa la escala del animal a través del periodo de lactancia, el valor (b) de 0.042 que denota el incremento de la producción desde el inicio de la lactancia hasta el pico de producción y el valor de (c), que es la pendiente de la curva en la fase de recuperación o última fase de lactancia, es 0.0012.

Por otro lado, mediante el modelo PInv las vacas *Holstein friesian* presentaron valores de 20.54 kg/leche; -0.0185 y, -4.9473 para los parámetros a, b y c, respectivamente (tabla 8-4).

Los valores de a encontrados, son superiores a 6.7 y 7.5 kg/leche, estudiados por Osorio y Segura (2004) en México en vacas de cruce genético *Holstein* x *Cebú*, a 14.9 kg/leche reportados por Seangjun (2009) en Tailandia en vacas *Holstein*, a 16.13 kg/leche según lo menciona Cajas (2009) y 13.15 kg/leche por Alquina y Guamán (2012) de estudios efectuados en Ecuador, como a 7 11 kg/leche según Rodríguez *et al.* (2019) en Venezuela; considerando que el parámetro ha obtenido en mencionados estudios son a través del modelo Wood y Ali y Schaerffer.

Por el contrario, valores de **a** encontrados, son inferiores a lo que reporta Farhangfar y Rowlinson (2007) en Irán de 25.47 kg/leche, determinado mediante modelo Wilkmink, a lo estudiado por Baouallegue *et al.* (2013) en África (28.6 kg/leche) y a lo mencionado por Guerra *et al.* (2018) en Panamá de 28.45 kg/leche, notando una evidente diferencia en los valores encontrados en relación con los mencionados en otros estudios por las condiciones medio ambientales existentes en dichos países, pues el invierno y verano son estaciones claramente identificadas, haciendo así referencia a la importancia de una buena alimentación para la óptima producción y reproducción, ya que la cantidad de leche aumenta o disminuye según la capacidad de absorción de nutrientes que posea.

Los valores de **b** reportados en las vacas estudiadas tanto por el modelo GI o PInv, indican que alcanzan más lento el pico de producción, en comparación con lo reportado por Osorio y Segura (2004) de 0.17; a 0.14 reflejado en el estudio de Cajas (2008) y a 0.18 según Alquina y Guamán (2012); lo cual, indica que el tiempo para llegar al pico de lactancia se alarga y esto depende del nivel productivo; es decir mientras menor sea el nivel productivo del animal más rápido se alcanzará el pico y viceversa.

Los valores de **c** obtenidos, reflejan un coeficiente de persistencia apropiado en el Ecuador, ya que la pendiente de la curva declina de manera progresiva o paulatina, es decir que el nivel de mantenimiento y descenso de la producción láctea es constante a través de su lactancia, manifiesto que se corrobora con los estudios de Osorio y Segura (2004); Cajas (2008); Atashi *et al.* (2009); Boujenane y Hilal (2012) y Darfour *et al.* (2014); quienes reportan valores del parámetro **c** de 0.0037; -0.029; 0.00404; 0.0029 y -0.041; respectivamente.

**Tabla 8-4:** Parámetros estimados de la curva de lactancia mediante modelo Gamma Incompleta y Polinomial Inversa

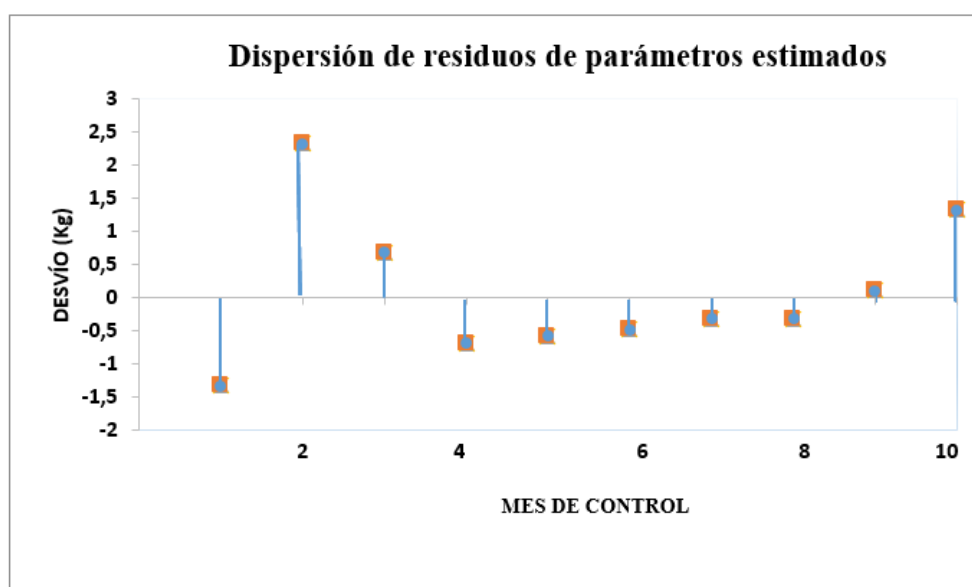
| <b>FUNCIÓN</b> | <b>GI</b>  | <b>PInv</b> |
|----------------|------------|-------------|
| <b>A</b>       | 17,3374    | 20,5425     |
| <b>B</b>       | 0,042024   | -0,0185     |
| <b>C</b>       | 0,00126912 | -4,9473     |
| <b>TP</b>      | 33,1125    |             |
| <b>PP</b>      | 19,2579    |             |
| <b>S</b>       | 6,9497     |             |

**Leyenda:** GI= Gamma Incompleta; PInv= Polinomial Inversa; TP= Tipo al pico; PP= Producción al pico; S= Persistencia

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).

#### 4.2.1.2. Descripción de los parámetros Pico de producción (PP); Tiempo al pico (TP) y Persistencia (S)

En el presente estudio se evidencia, que el TP estimado por  $(a_1/a_2)$  se alcanzó en el día 33.11; el PP a través de  $PP=a_0(a_1/a_2)e^{-a_1}$ , un valor de 19.25 kg; y una persistencia estimada por  $S=-(a_1+1)\ln(a_2)$  fue de 6.95 (tabla 9-4), los residuos fueron pequeños y variaron entre -0.7 kg a 1.3 kg, la disposición de los parámetros en relación a la línea media se mostraron dispersos en forma de valores positivos y negativos, alternándose, o que sugiere autocorrelación residual positiva, tanto en la función GI y PI (gráfico 13-4).



**Gráfico 13-4.** Dispersión de residuos de parámetros estimados de la curva de lactancia de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador.

Elaborado por: Calderón, J. (2021).

En comparación con estudios realizados por Farhangfar y Rowlinson (2004) en Irán, se observa que el TP estimado fue de 25.47 días post parto, el PP fue de 29.02 kg y la S fue de 3.25; parámetros estimados mediante la función Wood.

Por otro lado, en el año (2004) los autores Osorio y Segura en México, estiman el TP de 51.9 y 61.3 días; el PP de  $11.89\pm 0.25$  y  $11.01\pm 0.36$  kg; y una S de 6.76 y 6.93; parámetros estimados mediante la función Wood en animales de raza *Holstein X Cebú* y *Holstein x Sahiwal*; por lo cual se considera que al ser los cruces genéticos con razas cárnicas la producción máxima observada es menor a lo identificado en el presente estudio.

Seangjun (2009), en lo estudiado en vacas *Holstein* en Tailandia menciona que el TP fue de 40.75 días; el PP fue de 18.58 kg y la S fue de 6.62; valores similares a los estimados en Ecuador.

Según, Guerra *et al.* (2018) en vacas *Holstein* en Panamá se determina que el TP oscila entre 37.74 y 41.15 días; y el PP estimado fue entre 24.38 a 24.43 kg, parámetros estimados mediante las funciones Wilkmink y Wood, respectivamente.

Por los resultados obtenidos, se puede apreciar una clara diferencia entre los valores observados en el presente estudio, en relación con los promedios obtenidos por diferentes trabajos desarrollados en la misma raza en otros países, dichas diferencias, probablemente, están dadas por el nivel productivo de los animales, tipo de manejo, el tipo de cruzamiento, estado de salud y condiciones medio ambientales de donde se ha realizado los estudios.

#### **4.2.2 Formas de curva de lactancia**

Los parámetros b y c, determinan la forma de la curva de lactancia, considerando una curva atípica si el parámetro b y/o c son negativos, las curvas atípicas fueron divididas en estándar invertido en continuo aumento y en curvas continuamente decrecientes.

En relación a que no se realizan grabaciones regulares y con precisión en días posteriores al parto, la lactancia estándar a partir del quinto día se divide en intervalos de diez días (ICAR, 2011).

Según, Jeretina, *et al.* (2013) si b es positivo y c negativo son curvas de incremento continuo; si b y c son positivos son curvas estándar; si b y c son negativos con curvas estándar inverso y si b es negativo y c positivo son consideradas curvas de continua disminución.

Al considerar que la forma de la curva de lactancia es un reflejo de procesos fisiológicos en las células epiteliales de la glándula mamaria (Knight y Wilde, 1987), influenciada por factores ambientales (Stanton *et al.*, 1992; Knight, 2000; Pollott, 2000; Grossman y Koops, 2003, en la presente investigación se refleja que la forma de la curva según el modelo GI es estándar (típica), y según el modelo PInv es estándar inverso (atípica), en ambos casos se muestran curvas de lactancia encontradas en base a los modelos GI y PInv; es decir, aquellas que se acercan a la tendencia de la curva de lactancia real, cabe destacar que los picos de lactancia para ambos se presentan muy cercanos al parto y muestran una persistencia inferior.

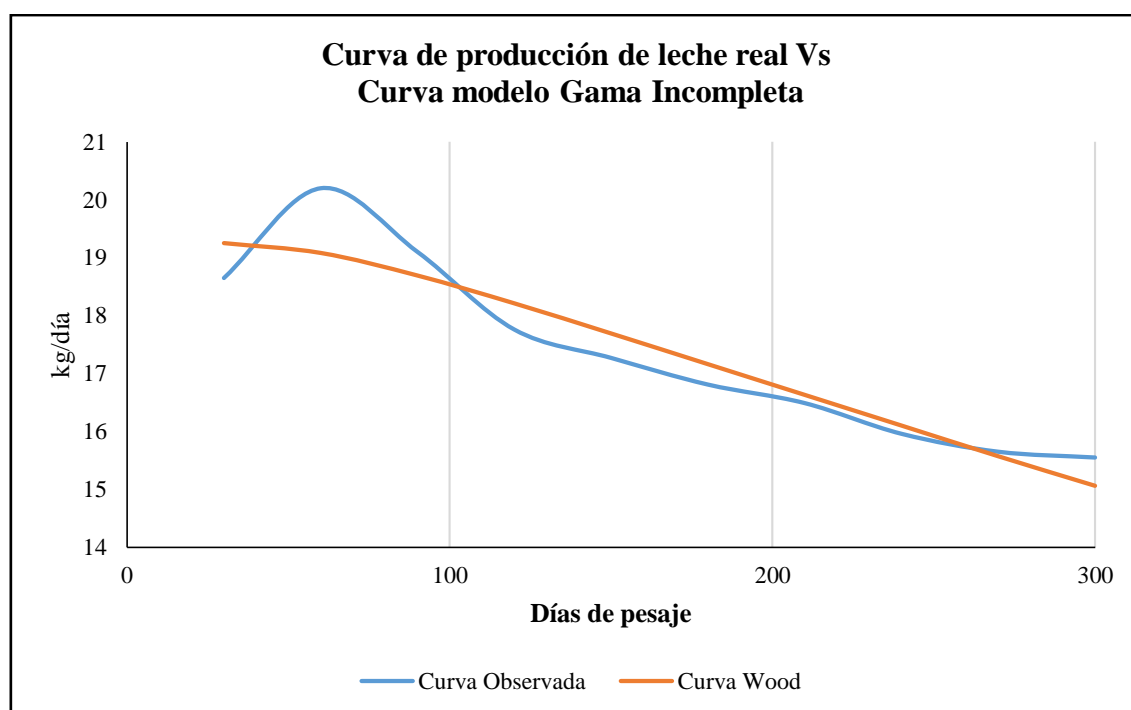
La producción se acerca considerablemente a la línea de ecuación de Wood por tanto las consideramos curvas de lactancia normales, como sucede en la investigación de Flores *et al.* (2012).

El determinar la forma de la curva de lactancia adecuada permite rastrear las necesidades de los animales diariamente o por periodos importantes dentro de la lactancia, basado en la utilización del sistema de gestión de rebaño apropiado.

#### 4.2.3 Criterios de selección del modelo de mejor ajuste

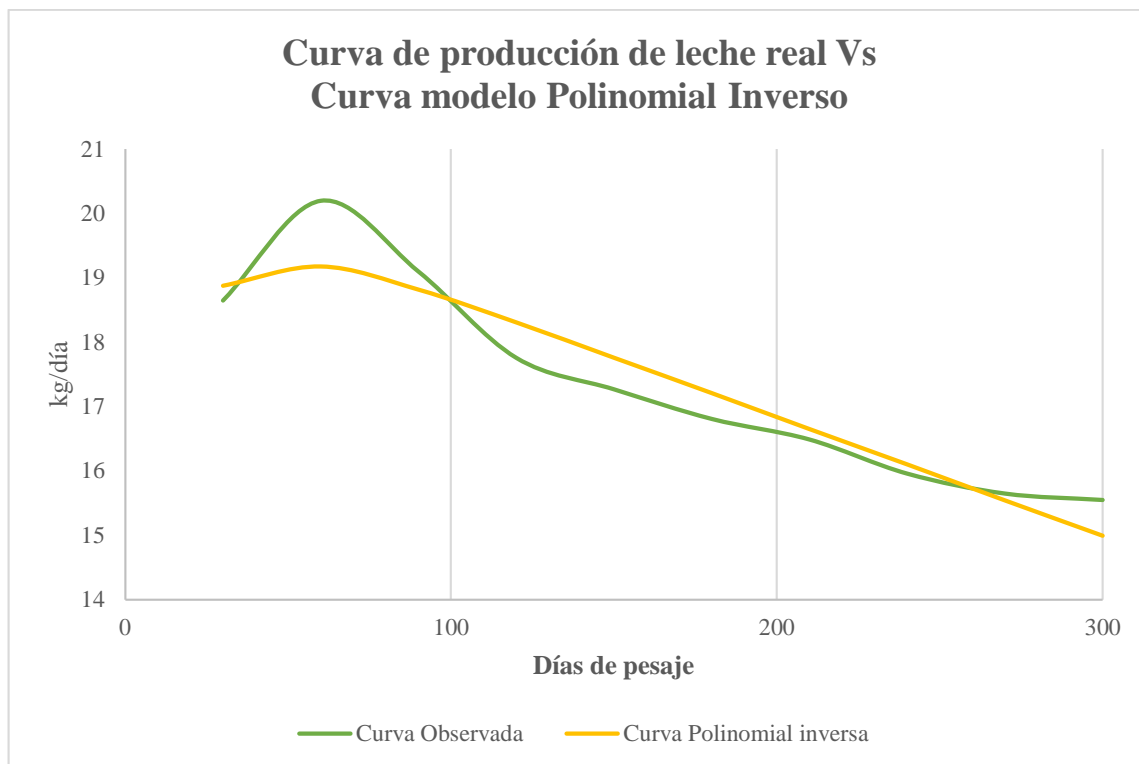
La producción láctea en el presente estudio se modeló usando la función gama incompleta (Wood, 1967), debido a que sus parámetros tienen una interpretación biológica para estudios de la evolución de la lactancia, como lo han desarrollado Macciotta *et al.* (2005); al igual que con la función Polinomial Inversa.

Los resultados obtenidos (gráfico 14-4,15-4) nos indican que los modelos Wood y Polinomial Inverso son los que muestran el mejor ajuste de la producción de leche en las distintas zonas y en medio de aspectos medioambientales del país.



**Gráfico 14-4.** Caracterización de la curva de lactancia de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador mediante modelo Gamma Incompleta.

Elaborado por: Calderón, J. (2021).



**Gráfico 15-4.** Caracterización de la curva de lactancia de las vacas *Holstein friesian* en Ecuador mediante modelo Polinomial Inversa.

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).

La prueba analítica de Durbin Watson (DW) reflejado por el modelo GI es de 1.74 y a través del modelo PInv un valor de 1.65 (tabla 9-4). Resultados superiores a 0.95 reportados por Guerra *et al.* (2018) en Panamá en curvas de lactancia de vacas Holstein mediante modelo PInv, a 0.34 obtenidos por Fernández, *et al.* (2011) en Cuba en vacas *Holstein*, quienes analizan la curva de lactancia mediante modelos de Ali y Schaerffer y a 1.40 reportado por Botero y Vertel (2006) en estudios efectuados en Colombia en bovinos doble propósito mediante la función PInv.

Por el contrario, son inferiores a los estudiados por Rodríguez *et al.* (2019) de 2.06 y 2.14 mediante la función de regresión múltiple y logaritmo cuadrático, respectivamente, aunque la raza estudiada fue la Criollo Limonero, adaptada en condiciones medioambientales de Venezuela, y a la de Guerra *et al.* (2018) que mediante las funciones de Wilmink, Wood y Cuadrado logarítmico obtuvo valores de 2.57; 2.39 y 2.88; respectivamente.

Resultados que al compararlos entre funciones aplicadas en cada estudio presentan variación, lo que significa que en el estudio recurrente el estadístico DW examina los residuos indicando que existe una correlación significativa en relación al archivo de datos utilizados para el análisis.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el modelo de Wood reportó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) más alto (88.39%) que el modelo Polinomial Inverso (79.51%) (Tabla 9-4), medida estadística que representa la dispersión alrededor de la línea de regresión, y que la bondad de la misma, depende de la relación existente entre las variables estudiadas, tomando en cuenta también que al medir la capacidad explicativa del modelo estimado, el  $R^2$  permite elegir entre los modelos estudiados cuál es el más adecuado, en el caso de que los modelos tengan la misma variable dependiente y el mismo número de variables explicativas, será más adecuado el que tenga un coeficiente de determinación mayor (Pérez y Soto, 2014).

Los resultados encontrados en el presente estudio, son similares a los reportados en las investigaciones de Ossa et al (1997) Quintero (2007); y de Alquina y Guamán (2012), valores de (79%; 80% y 82%) respectivamente, valores de  $R^2$  alcanzados del modelo Wood aplicado en el estudio de la curva de lactancia de vacas Holstein.

Por otro lado, los resultados de  $R^2$  hallados son inferiores a los citados por Rodríguez et al (2019) en Venezuela de 97,50%; Guerra et al (2018) en Panamá de 99,99%; Baouallegue et al (2013) en África de 98% y Fernández et al (2011) en Cuba de 99,91%; estudios de la curva de lactancia de vacas Holstein, a través de los modelos Ali y Schaerffer y Wilkmink.

**Tabla 9-4:** Criterios de comparación para escoger el mejor modelo que ajuste la curva de producción de leche de vacas *Holstein friesian* en Ecuador.

| CRITERIOS | GI       | PInv     |
|-----------|----------|----------|
| SSE       | 2,5713   | 2,2379   |
| AIC       | 18,79689 | 17,40815 |
| MSE       | 0,32141  | 0,27973  |
| MAE       | 0,41893  | 0,39366  |
| MAPE      | 2,32624  | 2,19906  |
| DW        | 1,7372   | 1,6482   |
| $R^2$     | 0,8839   | 0,7951   |

**Leyenda:** GI= Gamma Incompleta; PInv= Polinomial Inversa; SSE= Suma de cuadrados de los residuos o errores; AIC= criterio de información de Akaike; MSE= Error cuadrático medio; MAE=Error medio absoluto; MAPE= Error medio de porcentaje absoluto; DW= Durbin Watson;  $R^2$ = Coeficiente de determinación

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).

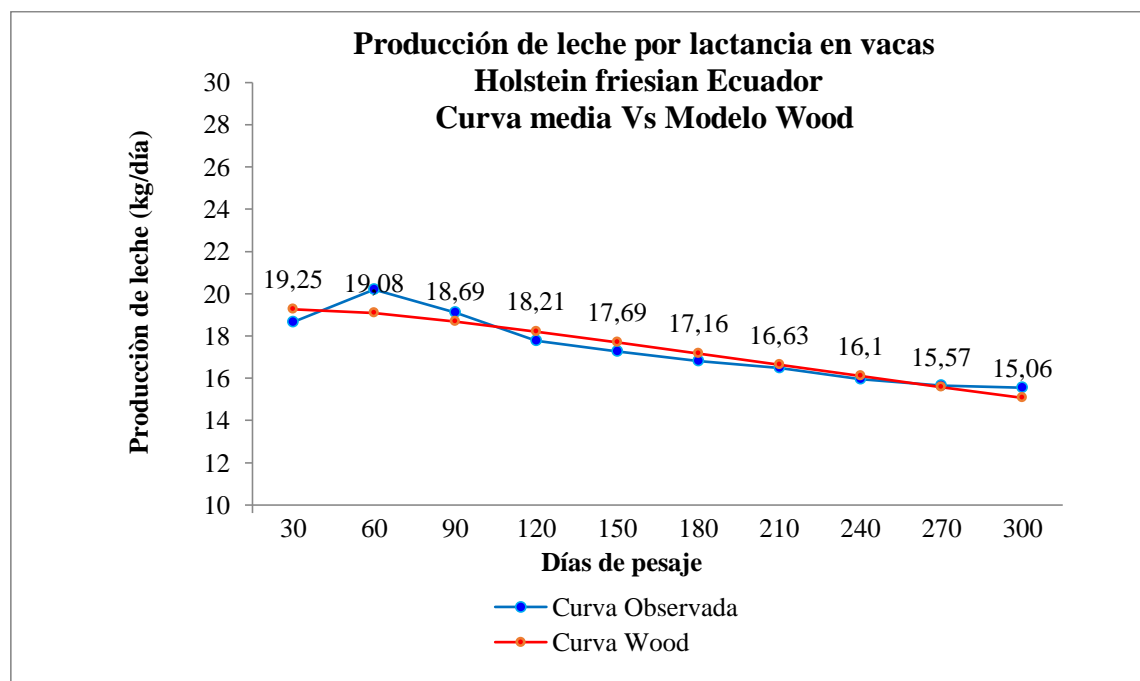


**Tabla 10-4:** Producción de leche y parámetros de la Curva de lactancia calculados

| Obs. | PDC   | DL  | a      | b       | c    |
|------|-------|-----|--------|---------|------|
| 1    | 19,25 | 30  | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 2    | 26,15 | 60  | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 3    | 23,37 | 90  | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 4    | 22,04 | 120 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 5    | 20,52 | 150 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 6    | 19,15 | 180 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 7    | 17,12 | 210 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 8    | 15,35 | 240 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 9    | 14,10 | 270 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |
| 10   | 13,75 | 300 | 77,484 | 23,7795 | 7,42 |

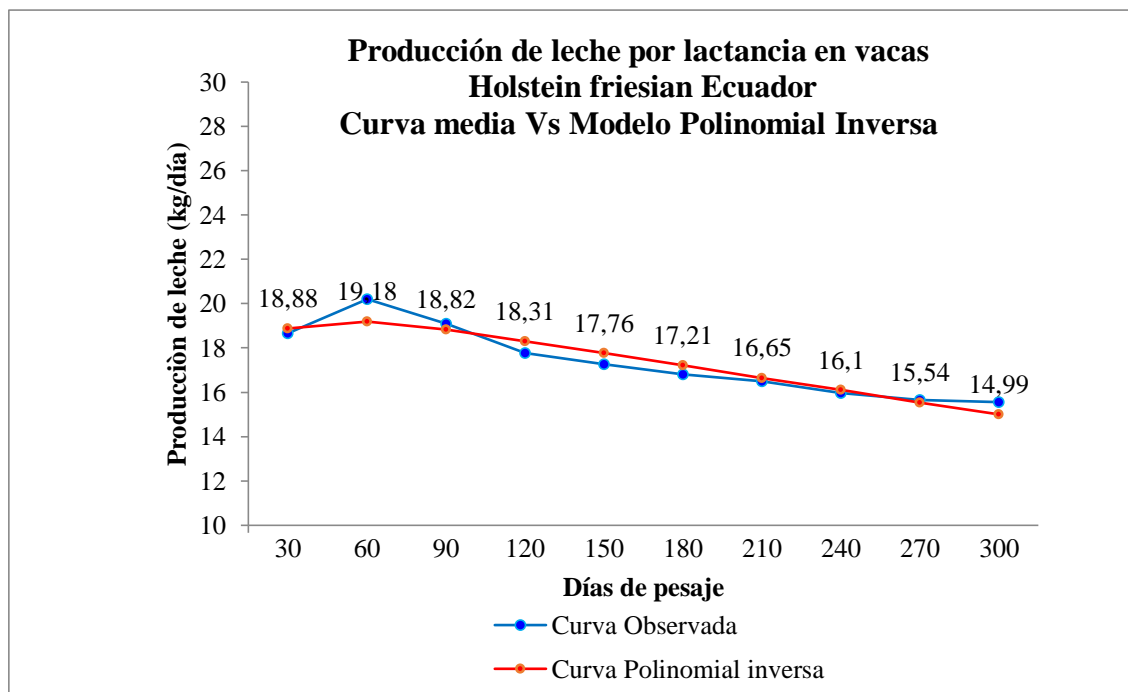
**Leyenda:** PDC= Producción día control; Días en producción de leche; a= Parámetro de la curva asociada al pico de producción; b= Parámetro de la curva asociada al índice de crecimiento de la producción; c= Parámetro de la curva asociada al descenso de la producción.

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).



**Gráfico 16-4.** Curva de lactancia mediante función Gamma Incompleta o Wood

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).



**Gráfico 17-4.** Curva de lactancia mediante función Polinomial Inversa

Elaborado por: Calderón, J. (2021).

#### 4.3 Correlación fenotípica entre Período/Intervalo entre parto, Pico de Producción y Ambiente

En el efecto de la producción de leche relacionado con la longitud del intervalo entre partos, no se observaron diferencias significativas (ANEXO CC). Las vacas con el PIP más largo ( $\leq 440$  días) tienden a presentar un PP de 21.21 kg, y las vacas de IEP ( $\geq 441$  días) un PP de 21.86 kg. Por otro lado, en el efecto de la producción de leche relacionado con la época de producción, se observaron diferencias significativas (ANEXO DD), ya que se evidencia que en la época lluviosa la PP fue de 23.79 kg y en la época poco lluviosa fue de 19.21 kg.

La lactancia tuvo un aumento más lento de producción de leche en la época poco lluviosa ( $P < 0.01$ ) alcanzando los rendimientos lecheros más lentos. En un estudio realizado por Andersen *et al.* (2011) el pico del rendimiento lechero, así como el día pico, no difirió significativamente en relación al PIP. Las estimaciones de las correlaciones fenotípicas entre la reproducción (intervalo interparto y la producción (producción pico) presentado en el ANEXO CC, fue de 0.06 ( $P = 0.6093$ ), lo que indica que las vacas de alto rendimiento lechero tienden a presentar intervalos más prolongados de tiempo entre partos.

Siendo, las correlaciones fenotípicas entre la PP y la época lluviosa de 0.013; y con la época poco lluviosa de (-0.514); recalando que, en condiciones ambientales favorables para la producción de leche se obtendrá mejores rendimientos productivos; por lo que, se pueden considerar que los factores no genéticos son de especial consideración en caracteres de heredabilidades bajas.

Con base en los resultados obtenidos, es evidente que una alta producción de leche diaria y hasta los 305 días condicionan a una baja fertilidad, pues, al ser el intervalo interparto más largo, esto hará que se manifiesten concepciones con mayor número de servicios; esto podría darse, por la correlación con un mayor tiempo en reanudación fisiológica de la actividad ovárica (Stadnik y Louda, 1999; Lucy, 2001; López-Villalobos *et al.*, 2005) ligado a menor producción de progesterona (Stadnik *et al.*, 2009), o ciclos estrales irregulares en vacas con rendimientos de leche altos (Stadnik *et al.*, 2002; Walsh *et al.*, 2011).

Estimaciones similares de esta correlación fenotípica se ha estimado en otras poblaciones de ganado lechero, como las que menciona Albarran y Pollott (2013) en Reino Unido de 0.04; considerando que el PIP en promedio fue de 399 días  $\pm$ 59 días, con un PP de 28 kg de leche, alcanzado al día 34.3 el TP.

Sin embargo, Grosshans (1997) informó que no eran significativos las correlaciones fenotípicas entre el nivel de producción y la fertilidad asociado al IEP en vacas pastando en Nueva Zelanda, por otro lado, se han informado sistemáticamente en otros estudios que existe altas correlaciones fenotípicas (Sölkner y Fuchs, 1987; Tekerli *et al.*, 2000; Muir, 2004).

Las correlaciones genéticas entre el intervalo de parto y los parámetros de la curva de lactancia (TP, PP y PE) fueron desfavorables en el sentido de que los aumentos en la producción se asociaron con un mayor intervalo de parto, equivalente a una deficiente fertilidad. En forma general, los intervalos de parto se han visto afectados de manera desfavorable por el aumento del potencial genético de las vacas lecheras para la producción de leche (Pryce *et al.*, 2000; Olori *et al.*, 2002; Kadarmideen *et al.*, 2003; Banos *et al.*, 2005).

Los parámetros reproductivos que reflejan el estado reproductivo de las vacas lecheras, se ven afectadas en vacas de alto mérito genético, originando como resultado un período de días abiertos más largo (99 días) que el de las vacas con bajo mérito genético (91 días; Fulkerson *et al.*, 2001).

#### 4.4 Metodología para Seleccionar Vacas *Holstein friesian* en Ecuador

Para poder utilizar la presente metodología de selección de vacas *Holstein friesian*, se requiere contar con la siguiente información mínima.

- Contar con registros individuales de parto y de la producción de leche mensual con sus respectivas fechas de realización, y de otros aspectos ambientales de interés en la especie, y;
- Contar con equipo de computación en el cual se encuentra instalado el SAS, v.w. 2014.
- El objetivo de la siguiente metodología es desarrollar un índice de la Capacidad de Producción Más Probable (CPMP) para la selección de vacas de la raza *Holstein friesian* en producción en base del periodo entre partos y la producción de leche.

Este método es de interés para los productores por cuanto los valores de los índices serían obtenidos a partir de los Mejores Predictores Lineales Inssegados (MPLI) conocidos en inglés como BLUP (Best Linear Unbiased Predictors). Estos valores conllevan una información ya ajustada a los efectos ambientales.

Para el cálculo de los BLUP individuales se toma en cuenta el uso de los Modelos Mixtos. Estos modelos conllevan la consideración de los efectos fijos que representan a aquellos efectos de origen ambiental (época de parto, rebaño, grupos contemporáneos, número de lactancia, etc. Así como de los efectos aleatorios vinculados al animal propio que se desea evaluar. Los efectos fijos resultarían como BLUE (Best Linear Unbiased Estimators) y los aleatorios como BLUP, en este caso de cada vaca contemplada en el estudio.

Realizar la toma y registro de datos relacionados a la producción de leche mensual y partos bien codificados, a través de sistemas que permitan seguir la identificación individual de la vaca en el tiempo.

Los valores de producción de leche deben ser obtenidos a partir de la fórmula propuesta por Fleishmann (1945).

$$\text{Producción leche} = \sum \frac{(p_i + p_{i+1})}{2} * (d_{i+1} - d_i)$$

Esta información debe ser asentada en una hoja de cálculo de Microsoft Excell u otro sistema (Foxpro) deberá contener el máximo posible de información (efectos) de interés para ser considerados en el modelo final a utilizar.

Se deberá analizar el cumplimiento de la normalidad de los datos correspondiente a la variable objeto de interés, así como el tipo de distribución asociada a dicha variable para su procesamiento en el Proc Glimmix del SAS v.w. 9.4 (2014) donde será necesario indicar la distribución y el link asociado a dicha distribución.

En el Modelo Lineal Generalizado Mixto (Proc Glimmix) se incluyen los efectos fijos y aleatorios de interés. El efecto vaca debe estar anidado dentro de rebaño como efecto aleatorio. En las salidas del programa se obtienen: El BLUE de cada rebaño, el BLUP de cada vaca, las covarianzas entre y dentro de cada objeto (vaca) para el cálculo de la repetibilidad.

A partir de estas informaciones las CPMP son calculadas, a través de la siguiente fórmula:

$$CPMP = \frac{BLUP * r + \bar{X}R}{\bar{X}R} * 100$$

Dónde:

CPMP = Capacidad de producción más probable.

r = Repetibilidad de la producción de leche.

$\bar{X}R$  = Estimador promedio de la producción de leche del rebaño (BLUE).

Como los valores se encuentran expresados en por ciento, se obtienen valores superiores a 100 e inferiores (ver tabla 11-4) así como los equivalentes o similares a 100. los valores iguales o similares a cien (100) representan a los animales estabilizadores, mientras que los superiores representarían a los mejoradores y los menores a los empeoradores.

**Tabla 11-4:** Índice de CPMP, para producción de leche L305, en un rebaño de vacas

| TATUAJE | FINCA | BLUP   | EE ±Sig  | CPMP   |
|---------|-------|--------|----------|--------|
| 96      | 1     | 0,3182 | 0,045*** | 101,20 |
| 25      | 1     | 0,2378 | 0,044*** | 101,19 |
| 38      | 1     | 0,2971 | 0,044*** | 100,00 |
| 268     | 6     | 0,1418 | 0,045**  | 101,01 |
| 573     | 1     | 0,1992 | 0,057**  | 101,11 |
| 19      | 1     | 0,2734 | 0,044*** | 100,92 |

**Leyenda:** BLUP= Best Linear Unbiased Predictors; EE= Error Estándar; CPMP= Capacidad de producción más probable

**Elaborado por:** Calderón, J. (2021).

Los valores de significación asociados a los BLUP pueden servir de guía en el reconocimiento de los verdaderos mejoradores o empeoradores o simplemente estabilizadores. Los no significativos se consideran como estabilizadores en referencia al promedio del rebaño en cuestión.

## CONCLUSIONES

- Se determinó el período entre parto en  $440.16 \pm 16.33$  días y el coeficiente de variación, 28.25% de vacas de la raza *Holstein friesian* en Ecuador.
- Se calculó la producción de leche total ( $Y_{\max}$  305 días) en 5203.2 kg; la producción diaria en 17.34 kg de vacas de la raza *Holstein friesian* en Ecuador.
- Los parámetros de estimados con la función Gama Incompleta (GI) fueron:  $a = 17.34$ ,  $b = 0.042$  y  $c = 0.0012$  positivos; en tanto, con la función Polinomial Inversa (PInv) se determinaron, para  $a = 20.54$  positivo,  $b = -0.0185$  y  $c = -4.9473$ ; el tiempo al pico (TP) se estimó en 33 días; producción al pico (PP), 19.25 kg; y persistencia, 6.95%.
- El modelo matemático que mejor ajustó la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein Friesian* en Ecuador fue Gamma Incompleta con un valor del estadístico Durbin Watson, 1.74 y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), 88.39%.
- Se determinó que las vacas valores de IEP más largo ( $\leq 440$  días) presentaron un PP de 21.21 kg, y las vacas con IEP ( $\geq 441$  días) el PP de 21.86 kg ( $P > 0.05$ ). De acuerdo, a la época de parto, se determinó para época lluviosa, 23.79 kg y, para la época poco lluviosa, 19.21 kg ( $P < 0.05$ ). Las correlaciones fenotípicas entre IEP y PP fue de 0.06 ( $P = 0.6$ ).

## RECOMENDACIONES

- Establecer otros parámetros reproductivos en la raza *Holstein friesian* en Ecuador, con la información que posee la AHFE.
- Seleccionar vacas que se ajusten a los parámetros analizados como el IEP y producción de leche (leche total, leche por día).
- Realizar los cruces genéticos y empadres de acuerdo a la época de parto, considerando la época lluviosa como la ideal, para mejorar los niveles de producción tanto diaria como total.
- Realizar estudios para determinar heredabilidad y repetibilidad de la producción de leche para contar con parámetros genéticos productivos de vacas de la raza *Holstein friesian* en Ecuador.
- Realizar investigaciones sobre la caracterización de la curva de lactancia en otras razas productoras de leche, carne o doble propósito en Ecuador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alocilla, O. (2009). Evaluación del desempeño reproductivo de predios lecheros del sur de Chile, asociado a algunas características prediales e individuales. *Universidad Austral De Chile, 1*. <https://doi.org/10.2174/138920312803582960>.
- Alquinga, B. y Guamán, N. (2012). Análisis de las curvas de lactancia de las vacas del Centro Académico docente experimental La Tola, calculadas mediante la utilización de la ecuación de Wood. Quito-Ecuador, 31-33.
- Analuisa, I. (2004). Evaluación de la eficiencia productiva y reproductiva de diez hatos lecheros de Aloag, Aloasí, Machachi y Tambillo en la provincia de Pichincha. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Zootecnista. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Facultad de Ciencias Pecuarias.
- Andersen, F. y Jenssen, M. (2011). Use of the lactation curve in the production management of *Norwegian* dairy cattle. Norwegian School of Veterinary Science. Disponible en: <http://www.nvh.no/en/Home/News/News-stories/Use-of-the-lactation-curve-in-the-production-management-of-Norwegian-dairy-cattle/le>
- Angulo, J. y Olivera, M. (2010). Fisiología de la producción láctea en bovinos: involución de la glándula mamaria, lactogénesis, galactopoyesis y eyección de la leche. *Biogénesis*, 143-151.
- Ansari-Lari, M., Kafi, M., Sokhtanlo, M., & Ahmadi, H. N. (2010). Reproductive performance of Holstein dairy cows in Iran. *Tropical Animal Health and Production*, 42(6), 1277-1283.
- Apaza-Huallpa, Y.; Loza-Murguía, M. G.; Rojas-Pardo, A. y Achu-Nina, C. (2016). Determinación del comportamiento de la curva de lactancia y producción lechera del ganado Mestizo del Altiplano de la Provincia Omasuyos Departamento de La Paz. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 3(2), 77-86. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S231125812016000200003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S231125812016000200003&script=sci_arttext)
- Apaza, E. y Quispe, J. (2014). Indices of genetic selection for birth, weaning and weight gain traits in llamas (*Lama glama*, Linnaeus, 1.758) Rev. Investig. Altoandín. 16 (1): 21-32.
- Atashi, H.; Moradi, M. y Moradi, H. (2009). Environmental factors affecting the shape components of the lactation curves in Holstein dairy cattle of Iran. *Livestock Research for Rural Development*. 21(60). Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd21/5/atas21060.htm>



- Ayadi, M. (2003). Evaluación de la estructura interna de la ubre mediante ecografía y efectos de la frecuencia de ordeño en vacas lecheras. Tesis Doctoral. *Universidad Autónoma de Barcelona*, 89.
- Balarezo, L. R.; García-Díaz, J. R.; Hernández-Barreto, M. A. y García López, R. (2016). Metabolic and reproductive state of Holstein cattle in the Carchi region, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 50(3), 381-392. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193049037006.pdf>
- Barletta, L. (2004). Manejo de la vaca en el periparto. Recuperado de: <http://www.PortalVeterinaria.com>.
- Batra, T. R. (1986). Comparison of two mathematical models in fitting lactation curves for pureline and crossline dairy cows. *Journal of Animal Science*, 66:405-410.
- Bohmanova, J.; Miglior, F. y Jamrozik, J. (2008). Estimates of the effect of pregnancy on production traits of Canadian dairy breeds. *Dairy Cattle Breeding and Genetics Committee Meeting*, 1-17.
- Botero, L., y Vertel, M. (2006). Modelo matemático aplicado a la curva de lactancia en ganado vacuno doble propósito. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 759-765.
- Bouallegue, M.; Haddad, B.; Aschi, M. y Hamouda, M. (2013). Effect of environmental factors on lactation curves of milk production traits in Holstein-Friesian cows reared under North African conditions. *Livestock Research for Rural Development*. 25 (75). Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd25/5/boua25075.htm>.
- Boujenane, I. y Hilal, B. (2012). Genetic and non genetic effects for lactation curve traits in Holstein-Friesian cows. *Arch. Tier*, 55: 450-457.
- Bulnes, M., y Medina, A. (2018). Análisis de parámetros productivos y reproductivos de seis hatos ganaderos de Honduras. Trabajo de investigación. Universidad Zamorano. Honduras: 23-25.
- Calvinho, L. F. (2013). Cambios fisiológicos de la glándula mamaria. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, (170), 4-5.
- Cameron, N.D. (1997). Selection Indices and Prediction of Genetic Merit in Animal Breeding. CAB International, Willingford, U.K., 203.
- Cañas, J., Cerón-Muñoz, M., y Corrales, J. (2011). Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína en bovinos Holstein en Antioquia, Colombia. *Revista*

MVZ Córdoba, 2514-2520. Recuperado de:  
<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/revistamvz/article/view/1015/1242>

Cañas, J., Cerón-Muñoz, M., y Corrales, J. (2012). Modelación y parámetros genéticos de curvas de lactancia en bovinos Holstein en Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 2998-3003. Recuperado de:

<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/revistamvz/article/view/234/303>

Capuco, A.; Ellis, S.; Hale, S.; Long, E.; Erdman, R.; Zhao, X. y Paape, M. (2003). Lactation persistency: Insights from mammary cell proliferation studies. Sixth international workshop on the biology of lactation in Farm Animals. *Journal of Animal Science*. 81(3): 18-31.

Capuco, A. C.; Wood, D. L.; Baldwin, R.; Mcleod, K. y Paape, M. J. (2001). Mammary cell number, proliferation, and apoptosis during a bovine lactation: relation to milk production and effect of bST1. *American Dairy Science Association Journal of Animal Science*, 84: 2177–2187.

Capuco, A. y Akers, R. M. (1999). Mammary involution in dairy animals. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 4(2), 137-144.

Cartier, E.; Cartier, J. (2004). Tambos - Análisis de sus procesos de producción con fines de costeo. *XXVII Congreso Argentino de profesores universitarios de costos*. 5-7.

Chaparro Henríquez, L. C. (2011). Evaluación de parámetros de fertilidad y su relación con la producción de leche en un predio de la provincia de Ñuble entre los años 2000-2006. Tesis Doctoral. *Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Veterinarias*. Chile.

Cruz, J. N.; Hernández D.; Fresno M. R.; Michiego J. M. y Falagán A. (1995). Controles de producción. *Ovis*, 38: 31-36.

Darfour-Oduro, K., Hagan, B. A., y Asafu-Adjaye, A. (2014). Lactation curves of Friesian-Sanga and Sanga cows in Ghana. *Livestock Res. for Rural Dev*, 26(10).

Davidian M. y Giltinan D. (1995). Hierarchical Non-linear models. In; *Non-linear models for repeated measurement data*. 2nd ed. London: *Chapman y hall/CRC*, 63-95.

De Queiroz S; Pelicioni L; Silva B; Sesana B; Martins M y Sanches. A. (2005). Índices de Seleção para um Rebanho Caracu de Duplo Propósito. *R Bras Zootec*. 34(3):827-837.

Dijkstra, J.; López, S.; Bannink, A.; Dhanoa, M.S.; Kebreab, E.; Odongo, N. E.; Fathi, H.; Behera, U.K.; Hernández-Ferrer, D. y France, J. (2010). Modelling animal systems paper

- evaluation of a mechanistic lactation model using cow, goat and sheep data. *J. Agri. Sci.*, 148: 249–262.
- Dohoo I.; S. Martin; A. Meek; W Sandals. (1983). Disease, reproduction and culling in Holstein Friesian cows. I. *The data. Prev. Vet. Med* 1, 321-334.
- Duran, J. (2012). Análisis de correlación y regresión entre los caracteres fenotípicos del tipo lechero, con la producción lechera alcanzada, de vacas *Holstein Friesian*, en la cuenca lechera de Machachi. Trabajo de grado. *Universidad Central del Ecuador*, 18-81.
- Ehrlich, J. (2013). Quantifying inter-group variability in lactation curve shape and magnitude with the MilkBot® lactation model. *PeerJ*, 1 (54). doi: 10.7717/peerj.54
- Elizondro, C., y Manuel, F. (2014). Análisis de parámetros reproductivos y productivos de hatos lecheros en Chiriquí en Panamá. *Trabajo de titulación. Universidad Zamorano*. Honduras: 3-15.
- Ensminger, M. (1977). Producción bovina para leche. Ed. *El Ateneo*. Buenos Aires, Argentina, 567.
- Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C. (2006). Introducción a la Genética Cuantitativa. Ed. Cuarta. Editorial, Acribia. Zaragoza-España. p. 469.
- FAO, E. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical yearbook. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019, de <http://www.fao.org/statistics/es/>.
- Fernández, L., Tonhati, H., Albuquerque, L. G., Aspilcueta-Borquis, R. R., & Buxadera, A. M. (2011). Modelos de regresiones aleatorias para la estimación de parámetros genéticos y estudios de curvas de lactancia del Holstein en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 1-6.
- Fernández, L.; Menéndez, A.; Guerra, W. y Suárez, M. (2001). Estimación de curvas de lactancias estándar de la raza Siboney para su utilización en extensiones de lactancia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(2), 99-104. Recuperado el 24 de septiembre de 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193018220002.pdf>
- Fleischmann, W. (1945). Tratado de Lechería. Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona, España, 740.
- Flores, J.; E Tapia E. y López Natalia. (2012). Determinación del comportamiento de la curva de lactancia y producción lechera de ganado Holstein y Brown Swiss en el valle de Cajamarca. Perú. *Sistema de Revisiones en Investigación Veterinaria de San Marcos*, 9-22.

- Fraga, L. M.; Gutiérrez M.; Fernández L.; Fundadora O. y González ME. (2003). Estudio preliminar de las curvas de lactancia en las búfalas mestizas de Murrah. *Rev Cubana Cienc Agríc*; 37(2), 151-55.
- Galligan, D.T. (1999). The economics of optimal health and productivity in the commercial dairy. *Rev. Sci. of Technology*, 18(2):512-519
- Glauber, C. E. (2007). Fisiología de la lactación en la vaca lechera. *Veterinaria Argentina*, 24(234), 274-281. Recuperado de: <http://www.veterinariargentina.com/revista/>
- Gonçalves, T. D. M.; Oliveira, A. I. G. D.; Freitas, R. T. F. D. y Pereira, I. G. (2002). Curvas de Lactação em Rebanhos da Raça holandesa no Estado de Minas Gerais: Escolha do Modelo de Melhor Ajuste. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(4), 1689-1694.
- Grossman, M., y Koops, W. J. (1988). Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 71(6), 1598-1608.
- Guerra, D., Noé, C., Erazo, M., y Lian, M. (2015). Efecto de la duración del periodo seco sobre el comportamiento reproductivo pos parto en vacas lecheras. *Trabajo de titulación. Universidad Zamorano*. Honduras: 13.
- Guerra, R.; Hernández, A. y Menéndez, A. (2018). Análisis de curvas de lactancia en vacas Holstein de la cuenca lechera de Chiriquí, República de Panamá. *Livestock Research for Rural Development*. 30 (65). Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd30/4/rgue30065.html>
- Farhangfar, H. y Rowlinson, P. (2007). Genetic analysis of Wood's lactation curve for Iranian Holstein heifers. *J. Biolo. Sci*, 7: 127-135. <https://scialert.net/fulltextmobile/?doi=jbs.2007.127.135>.
- Hazel, L.N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 28: 476.
- Hartmann, P.; Owens, R.; David, B. y Kent, J. (1996). Breast development and control of milk synthesis. *Food and nutrition bulletin*, 17 (4). Recuperado de: <http://www.unu.edu/unupress/food/8F174e/8F174E02.htm>.
- Henaó, K.; Blandón, Y.; González-Herrera, L.; Cardona-Cadavid, H.; Corrales, J. y Calvo, S. (2017). Efectos genéticos y ambientales sobre la curva de lactancia en cabras lecheras del trópico. *Livestock Research for Rural Development*, 29. Recuperado el 24 de septiembre de 2019, de <http://www.lrrd.org/lrrd29/5/hena29097.html>
- Hernández, D.; Jurado J. J.; Bravo, M. C.; Muñoz, A. y Serradilla, J. M. (1992). Simplificación de controles de producción en ganado caprino. *V Reunión Nacional de Mejora Genética Animal*. Sevilla, 149-153.

- Holmes, C. (1984). Producción de leche en praderas. Ed. Acribia. Zaragoza, España: 446.
- Holstein Asociation USA Inc. (2005). Sistem of animal clasification. EEUU, Departamento U.S. *Livestock Genetic Export*:104.
- Hossein-Zadeh, N. G. (2014). Comparison of non-linear models to describe the lactation curves of milk yield and composition in Iranian Holsteins. *The Journal of Agricultural Science*, 152(2), 309-324.
- Husvéth, F. (2011). Physiological and reproductional aspects of animal production Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem. Recuperado de: <[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010\\_1A\\_Book\\_angol\\_05\\_termelesel ettan/ch14.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_angol_05_termelesel ettan/ch14.html)>.
- INEC, I. N. (2014). Encuesta de Producción Agropecuaria Continua. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- ICAR. (2008). International Committee for animal recording. International Agreement of recording practices, Guidelines approved by the General Assembly held in Niagara Falls. USA. Recuperado de: [http://www.icar.org/Documents/Rules%20and%20regulations/Guidelines/Guidelines\\_2009.pdf](http://www.icar.org/Documents/Rules%20and%20regulations/Guidelines/Guidelines_2009.pdf).
- ICAR. (2011). International agreement of recording practices. [http://www.icar.org/Documents/Rules%20and%20regulations/Guidelines/Guidelines\\_2011.pdf](http://www.icar.org/Documents/Rules%20and%20regulations/Guidelines/Guidelines_2011.pdf).
- Jeretina, J.; Babnik, D. y Škorjanc, D. (2013). Modeling lactation curve standards for test-day milk yield in Holstein, Brown Swiss and Simmental cows. *The J Anim and Plant Sci*, 233, 754-62. Recuperado de: <http://thejaps.org.pk/docs/v-23-3/13.pdf>
- Landete-Castillejos, T. y Gallego, L. (2000). Technical Note: The ability of mathematical models to describe the shape of lactation curves. *J Anim Sci*;78(12):3010-3013.
- Lindstrom, M. J. y Bates, D. M. (1990). Nonlinear mixed effects models for repeated measures data. *Biometrics*; 46, 673-687.
- Llewellyn, S.; Fitzpatrick, R.; Kenny, D. A.; Murphy, J. J.; Scaramuzzi, R. J. y Wathes, D. C. (2007). Effect of negative energy balance on the insulin-like growth factor system in pre-recruitment ovarian follicles of post partum dairy cows. *Reproduction*, 133(3): 627–639, ISSN: 1470-1626, 1741-7899, DOI: 10.1530/REP-06-0122.

- Macciotta, N. P.; Miglior, F.; Dimauro, C. y Schaeffer, L. R. (2010). Comparison of parametric, orthogonal, and spline functions to model individual lactation curves for milk yield in Canadian Holsteins. *Italian Journal of Animal Science*, 9(4), 87.
- Macciotta, N.; Fresi, P.; Usai, G. y Cappio, A. (2005). Lactation curves of Sarda breed goats estimated with test day models. *J Dairy Res.* 72(4): 470-475.
- Macciotta, N.; Vicario, D. y Cappio-Barlino, A. (2005). Detection of different shapes of lactation curve for milk yields in dairy cattle by empirical mathematical models. *J Dairy Sci*; 88(3), 1178-1191.
- Macrae, A.; Whitaker, D.; Burrough, E.; Dowell, A. y Kelly, J. (2006). Use of metabolic profiles for the assessment of dietary adequacy in UK dairy herds. *Veterinary Record*, 159(20): 655–661, ISSN: 0042-4900, 2042-7670, DOI: 10.1136/vr.159.20.655.
- Martín, L.; Fariña, J.; Rodríguez, P.; Rota, A.; Rojas A. y Tovar, J. (1989). Exactitud de diferentes métodos de control lechero caprino. *Arch. Zootec.* 38: 79-91.
- Martínez, G. (2000). Edad al primer parto e intervalo entre parto en ganado pardo suizo criado en el Trópico subhúmedo. Recuperado de: <http://ecologia.uat.mx/biotam/v4n2/art3.html>
- McGill, D.; Thomson, P.; Mulder, H. and Lievaart, J. (2014). Strategic test-day recording regimes to estimate lactation yield in tropical dairy animals. *Genetics Selection Evolution*. 46:78
- Mejía, L. J. y Ortiz M. J. C. (1990). Factores que afectan los parámetros de un modelo para caracterizar la curva de lactancia en vacas Holstein en el hato Paysandú. Trabajo de pregrado. *Universidad Nacional de Colombia*, Sede Medellín: 120.
- Meyer, K. (2005). Random regression analysis using B-splines to model growth of Australian Angus cattle. *Genet. Sel. Evol.* 37, 473–500
- Misztal, I. (2006). Properties of random regression models using linear splines. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 123(2): 74-80.
- Montes, D.; Yergara, O. Prieto, E. (2008). Determinación de un índice de selección para el peso al nacer y al destete en ganado bovino de la raza *Brahman*. *Rev. MVZ Córdoba*. 13(2):1365-1368.
- Muir, B.; Fatehi, J. y Schaeffer, L. (2004). Genetic relationships between persistency and reproductive performance in first-lactation Canadian Holsteins. *Journal of Animal Science*. 87, 3029-3037.
- Mustafa, A. (2001). Lactogenesis. *Biology of lactation. McGill University*: 1-4.

- Němečková, D.; Stádník, L. y Čítek, J. (2015). Associations between milk production level, calving interval length, lactation curve parameters and economic results in Holstein cows. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 65(4), 243-250.
- Olivares, M.; Moreira, V. y Muñoz, C. (2012). Estudio: Identificación de factores relevantes para el crecimiento del rebaño lechero nacional. *Consortio Lechero*. La cadena Láctea de Chile. Valdivia. Chile: 35.
- Olivera, S. (2001). Índices de producción y su repercusión económica para un establo lechero. *Rev. Inv. Vet. Perú*, 12(2), 49-54.
- Orman, A.; Günay, A.; Balci, F. y Koyuncu, M. (2011). Monitoring of somatic cell count variations during lactation in primiparous and multiparous Turkish *Saanen* goats (*Capra hircus*) Turk. *J. Vet. Anim. Sci.* 35(3), 169-175.
- Ortíz, D. F. (2006). Índices reproductivos del ganado vacuno en la cuenca lechera de Lima. Tesis de grado. *Universidad Nacional Mayor San Marcos*. Lima-Perú.
- Ossa, G., Torregroza, L., & Alvarado, L. (1997). Determinación de la curva de lactancia en vacas mestizas de un hato de doble propósito en la Región Caribe de Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2(1), 54-57.
- Ossa, G. A.; Pérez, J. E. y Suárez, M. A. (2008). Valores genéticos de caracteres productivos y reproductivos en bovinos Romosinuano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 93-101. Recuperado de: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol9\\_num1\\_art:109](https://doi.org/10.21930/rcta.vol9_num1_art:109)
- Ossa, G. A. y Suárez, M. A. (2008). Factores ambientales y genéticos que influyen la edad al primer parto y el período inter-parto en hembras de la raza criolla Romosinuano. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 8(2): 74-80. Recuperado de: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol8\\_num2\\_art:97](https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num2_art:97)
- Osorio-Arce, M. y Segura-Correa, J. (2005). Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Tabasco, México. *Técnica Pecuaria en México*, 43(1), 127-137.
- Otwinowska-Mindur, A.; Ptak, E.; Jagusiak, W. y Satoła, A. (2013). Modeling lactation curves of Polish Holstein-Friesian cows. Part I: The accuracy of five lactation curve models. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 22(1), 19-25.
- Palacios, A.; González, D.; Guerra, D.; Espinoza, J.; Ortega, R.; Guillén, A. y Ávila, N. (2016). Curvas de lactancia individuales en vacas Siboney de Cuba. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(1), 15-28.

- Peña, D. (2000). Estadística modelos y métodos. *Alianza Editorial*. Madrid. 4ª. Ed.
- Peña F.; García A. y Martos J. (2005). Revisión bibliográfica sobre producción de leche, control lechero y curvas de lactación. Dpto. Producción Animal. *Universidad de Córdoba*. ISSN:1698-4226, 4 (2), 10-25.
- Pérez, Á. y Soto, R. (2014). 2000 soluciones contables: *PGC PYMES: 2014*. Edición contable CISS. Recuperado de: <http://www.distribucionesjuridicas.es/files/2000-SOLUCIONES-CONTABLES-PGC-PYMES-2014.pdf>
- Pesántez, M. y Hernández, A. (2013). F-031. *Influencia del ambiente en la producción de leche de cabras Criollas y Anglo Nubia en Ecuador*. Memorias del XXIII reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. pp. 2655-2658.
- Pesántez, M. T. (2015). Producción lechera de cabras Criollas y Anglo-Nubian en Loja, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(2), 105-108.
- Pesántez, M. (2015). Caracterización de la producción lechera de cabras F<sub>1</sub> *Anglo Nubia* x *Criolla* en la provincia de Loja, República de Ecuador. Tesis presentada con opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias, Cuba. pp. 150.
- Pinheiro, J.C. y Bates, D. (2000). Linear Mixed-effects Models. In: *Mixed effects models in S and S-PLUS*. Springer-Verlag. 1st ed. Berlin, 3-52.
- Pletcher, S. y Jaffrézic, F. (2002). Generalized character process models: Estimating the genetic basis of traits that cannot be observed and that change with age or environmental conditions. *Biometrics*, 58(1), 157-162.
- Quintero, J.; Serna, J.; Hurtado, N.; Rosero, R. y Cerón-Muñoz, M. (2007). Mathematical models for lactation curves of dairy cattle. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 149–156.
- Ramírez, V. R.; García, J. G.; Núñez, D. R.; Ruiz, F. A. y Meraz, A. M. R. (2004). Comparación de ecuaciones para estimar curvas de lactancia con diferentes estrategias de muestreo en bovinos Angus, Suizo y sus cruza. *Vet Mex*; 35(3),187-201.
- Ramírez, L. (2005). Índice lechero: Técnicas para asociar la producción con la reproducción en el ganado lechero y de doble propósito. *Mundo Pecuario*. 1(3), 60-61.
- Ramírez, L. (2008). Curva de Lactancia y cambio en el peso corporal de vacas *Holstein friesian* en Pastoreo. México. *Agrociencia*, 42, 8-13.
- Rekaya, R.; Béjar, F.; Carabano, M. J. y Alenda, R. (1995). Genetic parameters for test day measurements in Spanish Holstein-Friesian. *Interbull Bulletin*, 11.



- Risco, L. F. y Archibald A, C. (2005). Eficiencia reproductiva del Ganado Lechero Volver a: Producción bovina de leche. *Universidad de Florida*:1-5. Recuperado de: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar).
- Rivas, J. (2005). Manual de ganadería doble propósito: Secado de la vaca lechera. Ed. Gonzáles, C., E. Soto. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo, Venezuela. 701.
- Rivera, R. I. (2006). Determinación de Curvas de Lactancia del Hato Bovino Criollo Saavedreño en Santa Cruz. Tesis de grado. *FCV-UAGRM*. Bolivia, 15-30
- Rowlands, G. J.; Lucey, S. y Russell, A. M. (1982). A comparison of different models of the lactation curve in dairy cattle. *Anim Prod*; 35:135-142. doi: 10.1017/S0003356100000908.
- Rodríguez, A.; Parra, A.; Arteaga, A. y Vergara, J. (2019). Comparison of mathematical models for lactation curves analysis in Criollo Limonero crossbred cattle. *Livestock Research for Rural Development*, 31 (157). Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd31/10/aroedr31157.html>.
- Safayi, S. (2009). Mammary remodelling and metabolic activity in dairy goats: Role of parity, dry period and nutrient supply. This dissertation is to fulfill the requirements for obtaining a PhD degree. *Department of Basic Animal and Veterinary Sciences, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen, Denmark*, 175.
- Salgado, R.; Cury, A.; Ruiz, R. y Álvarez, J. (2002). Evaluación del comportamiento reproductivo postparto, influido por le época del año y la raza en bovinos bajo el sistema doble propósito. *MVZ Córdoba*. Colombia. 7, 152-156. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/693/69370103.pdf>.
- Sánchez de la Rosa, I.; Martínez, R.; Torres, G.; Becerril, C.; Mastache, A.; Suárez, J. y Rubio, M. (2006). Milk production and lactation curves in three goat breeds in the dry tropic of Mexico. *Vet. Méx.*, 37(4), 493-502.
- Sánchez S, A. (2010). Parámetros Reproductivos de Bovinos en regiones tropicales de México. *Universidad Veracruzana. Tesis de Grado*. Veracruz-Mexico: 32-37
- Santellano, E.; Becerril C.; Mei-Chang, Y.; Torres, G.; Ramírez, R, Domínguez, J. y Rosendo A. (2011). Caracterización de la lactancia y evaluación genética del ganado criollo lechero tropical utilizando un modelo de regresión aleatoria. *Agrociencia*, 45(2), 165-175. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952011000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000200003&lng=es&tlng=es).

- Seangjun, A., Koonawootrittriron, S., y Elzo, M. A. (2009). Characterization of lactation patterns and milk yield in a multibreed dairy cattle population in the central Thailand. *Kasetsart J.(Nat. Sci.)*,43(1), 74-82
- Serradilla, J. M. (1996). Control Lechero y Selección de Caprino. Cap. XIII: 205- 218. En: Zootecnia. Bases de la Producción Animal. Producción Caprina. Tomo IX. Director C. Buxadé. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Serradilla, J.M. y Muñoz, M.E. (2012). Tercer catálogo de sementales y Segundo catálogo de hembras de la raza caprina *Malagueña*. Asociación Española de Criaderos de la Cabra Malagueña. Depósito Legal: MA 1039-2013, 13-15
- Sienra, R. (2002). Revisión del plan agropecuario N° 90. Grupo de trabajo de la Facultad de Veterinaria de Uruguay. Recuperado de: [www.e-campo.com2003](http://www.e-campo.com2003).
- Silvestre, A. (2000). Curvas de Lactação em Bovinos Leiteiros: 1-2
- Smith, T.H. and Graser, H.V. (1936). Estimating variance components in a class of mixed models by restricted maximum likelihood. *J. Dairy Sci.* 60:1156.
- Smidt, D. y Ellendorff, F. (1972). Endocrinología y fisiología de la reproducción de los animales zootécnicos. *Ed. Acribia*. Zaragoza España, 149-151-152.
- Statistical Analysis System. (2015). *Visual Analytics 7.3: User`s Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc. p. 666.
- Stevenson, J. (1995). Mida y entienda la eficiencia reproductiva. *Hoard`s dairyman en español*. México, 23 -29.
- Thompson, R.; Brotherstone, S. and White, I. (2005). Estimation of quantitative genetic parameters. *Phil. Trans. Royal. Soc. B.* 360, 1469–1477.
- Toca, J.; Gallegos, M.; Revelos, F.; Pinzón, C. y Saucedo, Q. (2016). Caracterización de la curva de lactancia en vacas holstein en el noreste de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Instituto de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Baja California: 1-5
- Togashi, K.; Lin, C.; Atagi, Y.; Hagiya, K.; Sato, J. y Nakanishi, T. (2007). Genetic characteristics of japanese *Holstein* cows based on multiple-lactation random regression test-day animal models. *Livest. Sci.* doi: 10.1016/j. livsci. 2007.04/23.
- Vargas, F. y Quintero, D. (2014). Evaluación técnica de la mejora genética en la producción lechera en hatos ganaderos. Tesis presentada con opción al grado de Licenciado en Agronomía. Zamorano- Honduras: 57.

- Vásquez, R, A. G. (2017). Curva de lactación en ganado bovino lechero con modelos no lineales en un establo del valle de Huaura. Tesis de grado magister. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. Lima- Perú.
- Vizcarra, R., Lasso, R., y Tapia, D. (2015). LA LECHE DEL ECUADOR-Historia de la lechería ecuatoriana. *Centro de la Industria Láctea del Ecuador. Effect Studio*. Quito-Ecuador:130-137. Recuperado de: [http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/diseno\\_paginas/archivos/La%20Leche%20del%20Ecuador.pdf](http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/diseno_paginas/archivos/La%20Leche%20del%20Ecuador.pdf)
- Wachtel, B. E. (1995). Evaluación de la producción de leche de un hato de raza holandesa y otro de raza criolla, 4-11.
- Wattiaux, M. (2004). Manejo de la eficiencia reproductiva. En: Esenciales lecheras, Cap. 13. Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera, *Universidad de Wisconsin*, Madison, USA. Recuperado de: <http://babcock.cals.wisc.edu>.
- Wilde, C. J., Knight, C., & Flint, D. J. (1999). Control of Milk Secretion and Apoptosis During Mammary Involution. *Journal of mammary gland biology and neoplasia*, 4(2), 129-136.
- Wilmink, J. B. M. (1987). Adjustment of test day milk fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livest. Prod. Sci.* 16, 335–348
- Wilmink, J.B. M. (1987). Comparison of different methods of predicting 305 – day milk yield using means calculated from within herd lactation curves. *Livest Prod Sci*, 1(17), 1-17.
- Wood, P. (1967). Algebraic Model of the lactation curve cattle. *Nature Lond.* 216, 164-165.
- Wood, P. D. P. (1972). A note on seasonal fluctuations in milk production. *Animal Production*, 15(1), 89–92. doi:10.1017/s0003356100011260
- Zarzynska, J. y T. Motyl, T. (2008). Apoptosis and autophagy in involuting bovine mammary gland. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 59, 275- 288.

## ANEXOS

**ANEXO A:** Estadígrafos de pesaje de leche 1, media de producción 18.65 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L1 L1</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| <b>296</b>                         | 18,65        | 0,3082349 | 5,3030730 | 27,5968639 | 6,0000000  | 35,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO B:** Estadígrafos de pesaje de leche 2, media de producción 20.20 kg/leche/día

---

**Procedimiento MEANS**

---

**Variable de análisis: L2 L2**

---

| N°         | Media | EE        | DE        | CV         | Mín       | Máx        |
|------------|-------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| <b>268</b> | 20,20 | 0,3074465 | 5,0331161 | 25,4264864 | 7,0000000 | 35,0000000 |

---

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO C:** Estadígrafos de pesaje de leche 3, media de producción 19.10 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L3 L3</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 254                                | 19,10        | 0,3174513 | 5,0593410 | 26,6889432 | 6,0000000  | 39,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO D:** Estadígrafos de pesaje de leche 4, media de producción 17.76 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L4 L4</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 247                                | 17,76        | 0,2874590 | 4,5177721 | 25,4420818 | 6,0000000  | 31,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO E:** Estadígrafos de pesaje de leche 5, media de producción 17.27 kg/leche/día

| Procedimiento MEANS         |       |           |           |            |           |            |
|-----------------------------|-------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| Variable de análisis: L5 L5 |       |           |           |            |           |            |
| N°                          | Media | EE        | DE        | CV         | Mín       | Máx        |
| 231                         | 17,27 | 0,2988421 | 4,5420065 | 26,3024192 | 5,0000000 | 29,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo



**ANEXO F:** Estadígrafos de pesaje de leche 6, media de producción 16.81 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L6 L6</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 219                                | 16,81        | 0,3272163 | 4,8423591 | 28,7977364 | 5,0000000  | 32,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO G:** Estadígrafos de pesaje de leche 7, media de producción 16.49 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L7 L7</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 215                                | 16,49        | 0,3046271 | 4,4667102 | 26,6059755 | 4,0000000  | 30,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO H:** Estadígrafos de pesaje de leche 8, media de producción 15.96 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L8 L8</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 197                                | 15,96        | 0,2942796 | 4,1304106 | 25,8643006 | 4,0000000  | 31,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO I:** Estadígrafos de pesaje de leche 9, media de producción 15.65 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>         |              |           |           |            |            |            |
|------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L9 L9</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                          | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 189                                | 15,65        | 0,3232976 | 4,4446070 | 28,4034055 | 4,0000000  | 32,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO J:** Estadígrafos de pesaje de leche 10, media de producción 15.55 kg/leche/día

| <b>Procedimiento MEANS</b>           |              |           |           |            |            |            |
|--------------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>Variable de análisis: L10 L10</b> |              |           |           |            |            |            |
| <b>N°</b>                            | <b>Media</b> | <b>EE</b> | <b>DE</b> | <b>CV</b>  | <b>Mín</b> | <b>Máx</b> |
| 179                                  | 15,55        | 0,3805643 | 5,0916033 | 31,7228329 | 5,0000000  | 36,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO K:** Estadígrafos de la variable de análisis del Periodo Inter-Parto de las vacas *Holstein*  
*friesian*

| <b>Estadígrafos de la variable de análisis del Periodo Inter-Parto</b> |              |             |            |             |             |
|--|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| <b>N°</b>  | <b>Media</b> | <b>EE</b>   | <b>DE</b>  | <b>CV</b>   | <b>Mín</b>  |
| 440,1551724  | 16,3321691   | 124,3820941 | 28,2586919 | 314,0000000 | 899,0000000 |

**Leyenda:** DE= desviación estándar; EE= error estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Máx= valor máximo

**ANEXO L:** Resumen de estimación de la CL del modelo GI mediante método de Gauss-Newton

**función gama - por - mes**

Procedimiento NLIN  
Variable dependiente Y  
Método: Gauss-Newton

| Fase iterativa |         |          |          |                   |
|----------------|---------|----------|----------|-------------------|
| Iter           | a       | b        | c        | Suma de cuadrados |
| 0              | 7.8100  | 0.0700   | 0.00270  | 1036.1            |
| 1              | 17.9559 | -0.0187  | -0.00093 | 107.7             |
| 2              | 20.4087 | -0.00944 | 0.000688 | 3.6457            |
| 3              | 17.1313 | 0.0411   | 0.00126  | 3.1832            |
| 4              | 17.3389 | 0.0420   | 0.00127  | 2.5720            |
| 5              | 17.3374 | 0.0420   | 0.00127  | 2.5720            |

NOTE: Convergence criterion met.

**Resumen de la estimación**

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| Método                 | Gauss-Newton |
| Iteraciones            | 5            |
| R                      | 2.846E-6     |
| PPC(b)                 | 4.391E-6     |
| RPC(b)                 | 0.000387     |
| Objeto                 | 1.076E-6     |
| Objetivo               | 2.57199      |
| Observaciones leídas   | 10           |
| Observaciones usadas   | 10           |
| Observaciones ausentes | 0            |

**ANEXO M:** Estadígrafos de pesaje de la producción de leche mediante modelo Gamma Incompleta

**función gama - por - mes**

| Obs | Y     | X   | dr | plt   | Lpred   | ICinf   | ICsup   | res      | a       | b        | c          | plac   | lagres   | pel      | pel2    | res2    | yy      | yoyo    | TP      | PP      | s       | ple     | nda |
|-----|-------|-----|----|-------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|------------|--------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 1   | 18.65 | 30  | 30 | 559.5 | 19.2541 | 17.9319 | 20.5763 | -0.60408 | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 559.5  | .        | 0.00000  | 0.00000 | 0.36491 | 347.822 | 370.719 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 577.622 | 1   |
| 2   | 20.20 | 60  | 30 | 606.0 | 19.0826 | 18.3519 | 19.8134 | 1.11738  | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 1165.5 | -0.60408 | 1.72146  | 2.96342 | 1.24854 | 408.040 | 364.146 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 572.479 | 1   |
| 3   | 19.10 | 90  | 30 | 573.0 | 18.6854 | 17.9650 | 19.4059 | 0.41458  | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 1738.5 | 1.11738  | -0.70280 | 0.49393 | 0.17188 | 364.810 | 349.145 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 560.563 | 1   |
| 4   | 17.76 | 120 | 30 | 532.8 | 18.2062 | 17.5016 | 18.9107 | -0.44615 | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 2271.3 | 0.41458  | -0.86073 | 0.74086 | 0.19905 | 315.418 | 331.464 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 546.185 | 1   |
| 5   | 17.27 | 150 | 30 | 518.1 | 17.6911 | 17.0522 | 18.3301 | -0.42113 | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 2789.4 | -0.44615 | 0.02502  | 0.00063 | 0.17735 | 298.253 | 312.976 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 530.734 | 1   |
| 6   | 16.81 | 180 | 30 | 504.3 | 17.1612 | 16.5946 | 17.7278 | -0.35121 | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 3293.7 | -0.42113 | 0.06992  | 0.00489 | 0.12335 | 282.576 | 294.507 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 514.836 | 1   |
| 7   | 16.49 | 210 | 30 | 494.7 | 16.6275 | 16.0832 | 17.1718 | -0.13747 | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 3788.4 | -0.35121 | 0.21374  | 0.04569 | 0.01890 | 271.920 | 276.473 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 498.824 | 1   |
| 8   | 15.96 | 240 | 30 | 478.8 | 16.0964 | 15.4855 | 16.7072 | -0.13638 | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 4267.2 | -0.13747 | 0.00109  | 0.00000 | 0.01860 | 254.722 | 259.093 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 482.891 | 1   |
| 9   | 15.65 | 270 | 30 | 469.5 | 15.5719 | 14.8161 | 16.3278 | 0.07806  | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 4736.7 | -0.13638 | 0.21444  | 0.04598 | 0.00609 | 244.923 | 242.485 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 467.158 | 1   |
| 10  | 15.55 | 300 | 30 | 466.5 | 15.0567 | 14.1103 | 16.0032 | 0.49328  | 17.3374 | 0.042024 | .001269116 | 5203.2 | 0.07806  | 0.41521  | 0.17240 | 0.24332 | 241.803 | 226.705 | 33.1125 | 19.2579 | 6.94971 | 451.702 | 1   |



**ANEXO N:** Análisis de varianza (ANOVA) del modelo Gamma Incompleta

---

**Análisis de varianza (ANOVA) del modelo Gamma Incompleta**

| <b>Fuente</b>             | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Aprox. Pr&gt; F</b> |
|---------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------|
| <b>Modelo</b>             | 3         | 3027,7                   | 1009,2                      | 2746,77        | <0,0001                |
| <b>Error</b>              | 7         | 2,5720                   | 0,3674                      |                |                        |
| <b>Total no corregido</b> | 10        | 3030,3                   |                             |                |                        |

**ANEXO O: Estadígrafos de los parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta**

---

**Estadígrafos de los parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta**

---

| <b>Parámetro</b> | <b>Estimador</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Limites de confianza 95% aprox.</b> |         |
|------------------|------------------|-----------------------|--|---------|
| <b>a</b>         | 17,3374          | 3,1282                | 9,9404                                 | 24,7343 |
| <b>b</b>         | 0,0420           | 0,0497                | -0,0756                                | 0,1596  |
| <b>c</b>         | 0,00127          | 0,000418              | 0,000280                               | 0,00226 |

---

**ANEXO P:** Correlación entre parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta

---

**Matriz de correlación aproximada del modelo Gamma Incompleta**

---

| <b>Parámetro</b> | <b>a</b>   | <b>b</b>   | <b>c</b>   |
|------------------|------------|------------|------------|
| <b>a</b>         | 1,0000000  | -0,9921834 | -0,9093220 |
| <b>b</b>         | -0,9921834 | 1,0000000  | 0,9505516  |
| <b>c</b>         | -0,9093220 | 0,9505516  | 1,0000000  |

---

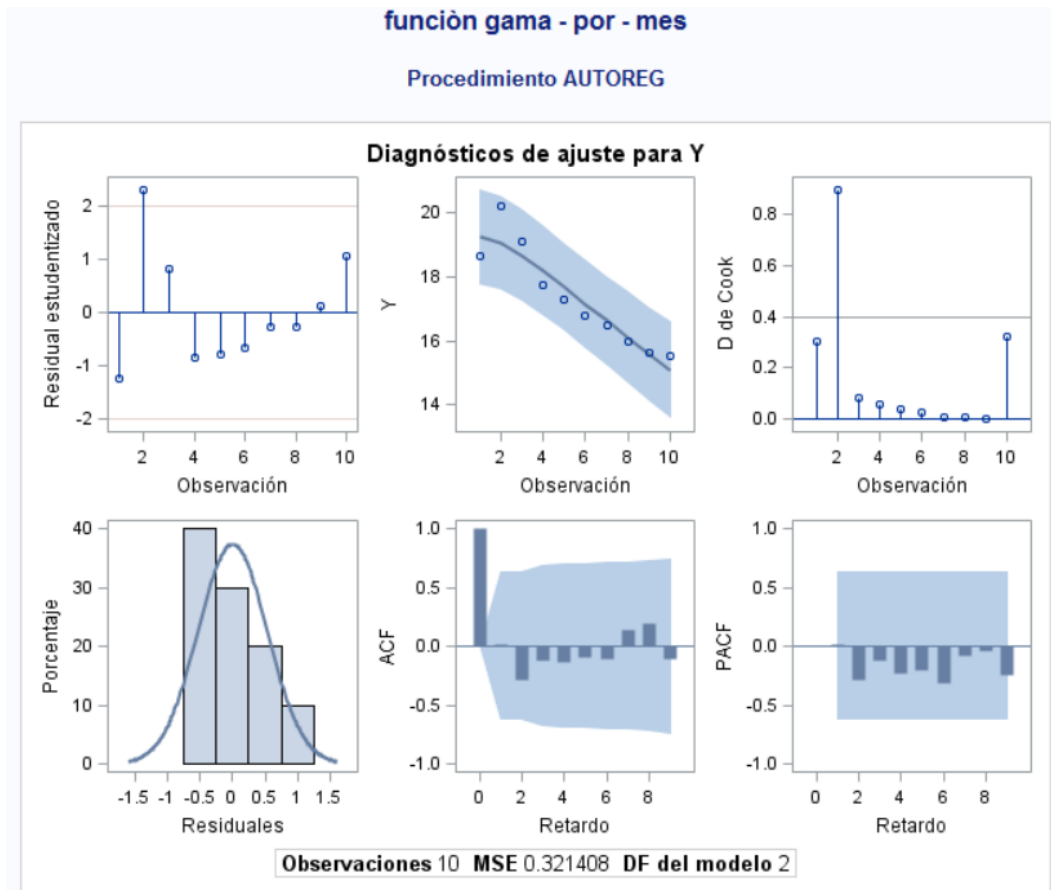
**ANEXO Q:** Estimadores de mínimos cuadrados ordinarios del modelo Gamma Incompleta

**Procedimiento AUTOREG**

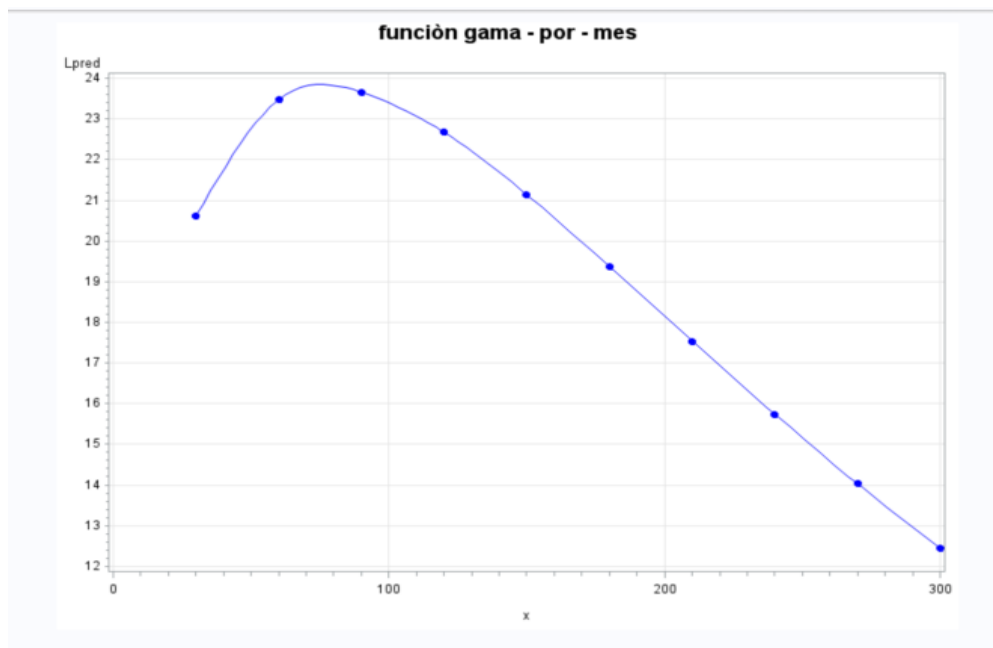
| Estimadores de mínimos cuadrados ordinarios |            |                  |            |
|---|------------|------------------|------------|
| SSE   | 2.57126351 | DFE              | 8          |
| MSE   | 0.32141    | Raíz MSE         | 0.56693    |
| SBC   | 19.4020641 | AIC              | 18.7968939 |
| MAE   | 0.41893046 | AICC             | 20.5111796 |
| MAPE  | 2.32624337 | HQC              | 18.1330237 |
| Durbin-Watson                               | 1.7372     | R-cuadrado total | 0.8839     |

| Estimadores de parámetros |    |           |                |         |               |
|---------------------------|----|-----------|----------------|---------|---------------|
| Variable                  | DF | Estimador | Error estándar | Valor t | Aprox Pr >  t |
| Intercept                 | 1  | 0.1054    | 2.2164         | 0.05    | 0.9632        |
| Lpred                     | 1  | 0.9940    | 0.1274         | 7.80    | <.0001        |

**ANEXO R:** Dispersión de residuos de parámetros estimados de la curva de lactancia a través del modelo Gamma Incompleta



**ANEXO S:** Caracterización de la curva de lactancia del modelo GI a través del procedimiento MEANS en el SAS ww.9.4.



**ANEXO T:** Resumen de estimación de la CL del modelo PInv mediante método de Gauss-Newton

Procedimiento NLIN  
Variable dependiente Y  
Método: Gauss-Newton

| Fase iterativa |         |         |         |                   |
|----------------|---------|---------|---------|-------------------|
| Iter           | a       | b       | c       | Suma de cuadrados |
| 0              | 10.5870 | 0.00790 | 0.00274 | 343.1             |
| 1              | 20.5425 | -0.0185 | -4.9473 | 2.2379            |

**Resumen de la estimación**

| Método                 | Gauss-Newton |
|------------------------|--------------|
| Iteraciones            | 1            |
| R                      | 0            |
| PPC                    | 0            |
| RPC(c)                 | 1805.909     |
| Objeto                 | 0.993477     |
| Objetivo               | 2.237867     |
| Observaciones leídas   | 10           |
| Observaciones usadas   | 10           |
| Observaciones ausentes | 0            |

**ANEXO U:** Estadígrafos de pesaje de la producción de leche mediante modelo Polinomial Inversa

**funcao Polinomial inversa**

| Obs | Y     | X   | dr | plt   | Lpred   | ICinf   | ICsup   | res      | a       | b         | c        | plac   |
|-----|-------|-----|----|-------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------|----------|--------|
| 1   | 18.65 | 30  | 30 | 559.5 | 18.8829 | 17.5661 | 20.1997 | -0.23291 | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 559.5  |
| 2   | 20.20 | 60  | 30 | 606.0 | 19.1848 | 18.4733 | 19.8963 | 1.01523  | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 1165.5 |
| 3   | 19.10 | 90  | 30 | 573.0 | 18.8204 | 18.1037 | 19.5371 | 0.27959  | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 1738.5 |
| 4   | 17.76 | 120 | 30 | 532.8 | 18.3074 | 17.6868 | 18.9280 | -0.54740 | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 2271.3 |
| 5   | 17.27 | 150 | 30 | 518.1 | 17.7612 | 17.2421 | 18.2804 | -0.49121 | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 2789.4 |
| 6   | 16.81 | 180 | 30 | 504.3 | 17.2076 | 16.7442 | 17.6711 | -0.39763 | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 3293.7 |
| 7   | 16.49 | 210 | 30 | 494.7 | 16.6524 | 16.1722 | 17.1325 | -0.16239 | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 3788.4 |
| 8   | 15.96 | 240 | 30 | 478.8 | 16.0968 | 15.5325 | 16.6611 | -0.13679 | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 4267.2 |
| 9   | 15.65 | 270 | 30 | 469.5 | 15.5411 | 14.8491 | 16.2331 | 0.10890  | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 4736.7 |
| 10  | 15.55 | 300 | 30 | 466.5 | 14.9854 | 14.1418 | 15.8290 | 0.56460  | 20.5425 | -0.018524 | -4.94726 | 5203.2 |



**ANEXO V: Análisis de varianza (ANOVA) del modelo Polinomial Inversa**

---

**Análisis de varianza (ANOVA) del modelo Polinomial Inversa**

| <b>Fuente</b>                 | <b>DF</b> | <b>Suma de<br/>cuadrados</b> | <b>Cuadrado de<br/>la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Aprox. Pr&gt;<br/>F</b> |
|-------------------------------|-----------|------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------|
| <b>Modelo</b>                 | 2         | 19,9046                      | 9,9523                          | 31,13          | 0,0003                     |
| <b>Error</b>                  | 7         | 2,2379                       | 0,3197                          |                |                            |
| <b>Total no<br/>corregido</b> | 9         | 22,1424                      |                                 |                |                            |

**ANEXO W: Estadígrafos de los parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa**

---

**Estadígrafos de los parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa**

---

| <b>Parámetro</b> | <b>Estimador</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Limites de confianza 95% aprox.</b> |         |
|------------------|------------------|-----------------------|--|---------|
| <b>a</b>         | 20,5425          | 0,5423                | 19,2602                                | 21,8248 |
| <b>b</b>         | -0,0185          | 0,00268               | -0,0249                                | -0,0122 |
| <b>c</b>         | -4,9473          | 3,4799                | -13,1759                               | 3,2814  |

---

**ANEXO X:** Correlación entre parámetros de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa

---

**Matriz de correlación aproximada del modelo Polinomial Inversa**

---

| <b>Parámetro</b> | <b>a</b>   | <b>b</b>   | <b>C</b>   |
|------------------|------------|------------|------------|
| <b>a</b>         | 1,0000000  | -0,9332629 | -0,7019267 |
| <b>b</b>         | -0,9332629 | 1,0000000  | 0,6340229  |
| <b>c</b>         | -0,7019267 | 0,6340229  | 1,0000000  |

---

**ANEXO Y:** Estimadores de mínimos cuadrados ordinarios del modelo Polinomial Inversa

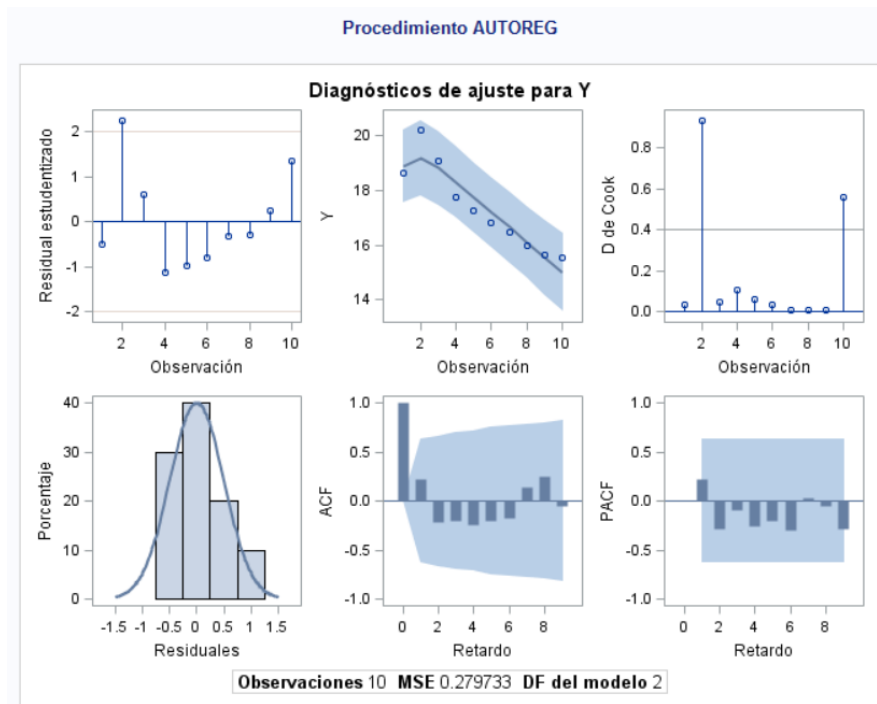
**Procedimiento AUTOREG**

| <b>Estimadores de mínimos cuadrados ordinarios</b> |            |                         |            |
|--|------------|-------------------------|------------|
| <b>SSE</b>   | 2.23786694 | <b>DFE</b>              | 8          |
| <b>MSE</b>   | 0.27973    | <b>Raiz MSE</b>         | 0.52890    |
| <b>SBC</b>   | 18.0133214 | <b>AIC</b>              | 17.4081513 |
| <b>MAE</b>   | 0.39366462 | <b>AICC</b>             | 19.122437  |
| <b>MAPE</b>  | 2.21990562 | <b>HQC</b>              | 16.744281  |
| <b>Durbin-Watson</b>                               | 1.3937     | <b>R-cuadrado total</b> | 0.8989     |

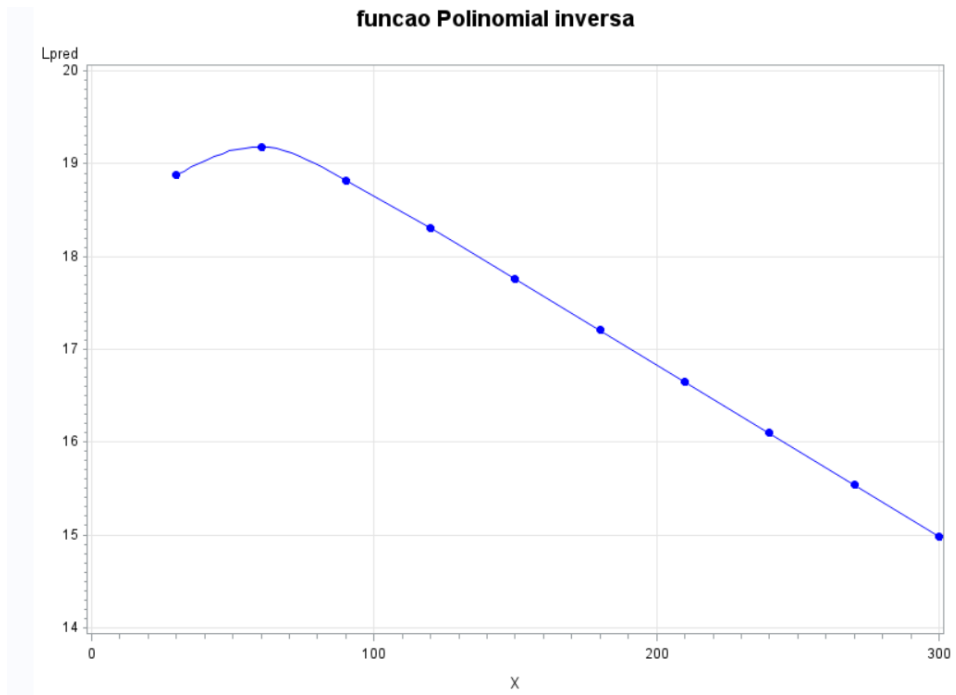
**ANEXO Z:** Estimadores de parámetros del modelo Polinomial Inversa

| Estimadores de parámetros |    |           |                |         |               |
|---------------------------|----|-----------|----------------|---------|---------------|
| Variable                  | DF | Estimador | Error estándar | Valor t | Aprox Pr >  t |
| Intercept                 | 1  | -5.9E-13  | 2.0629         | -0.00   | 1.0000        |
| Lpred                     | 1  | 1.0000    | 0.1185         | 8.44    | <.0001        |

**ANEXO AA:** Dispersión de residuos de parámetros estimados de la curva de lactancia a través del modelo Polinomial Inversa



**ANEXO BB:** Caracterización de la curva de lactancia del modelo PInv a través del procedimiento MEANS en el SAS ww.9.4.



**ANEXO CC:** Correlación fenotípica entre Periodo Inter-Parto, Pico de producción y ambiente

| <b>Coefficientes de correlación Pearson</b> |                |                |                 |
|---|----------------|----------------|-----------------|
| <b>Prob &gt;  r  suponiendo H0: Rho=0</b>   |                |                |                 |
|   | <b>PP1</b>     | <b>PPL</b>     | <b>ÉPOCA</b>    |
| <b>PP1*</b>                                 | <b>1.00000</b> | <b>0.06852</b> | <b>0.01268</b>  |
|   |                | 0.6093         | 0.9248          |
| <b>PPL**</b>                                |                | <b>1.00000</b> | <b>-0.51404</b> |
|   |                |                | <.0001          |

PP1\*= PERIODO INTERPARTO

PPL\*\*= PRODUCCIÓN DE LECHE AL PICO DE LA LACATANCIA

ÉPOCA= LLUVIOSA Y SECA



**ANEXO DD:** Efecto del período inter- parto en la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian*, para las condiciones ambientales en Ecuador

Variable dependiente: PIP vs LECHE2

| <b>R-cuadrado</b> | <b>Coef Var</b> | <b>Raíz MSE</b> | <b>LECHE2</b> | <b>Media</b> |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| 0.744558          | 18.50286        | 3.962961        |               | 21.41810     |

| <b>Fuente</b>     | <b>DF</b> | <b>Tipo I SS</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|-------------------|-----------|------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>INTERPARTO</b> | 1         | 5.4000433        | 5.4000433                   | 0.34           | 0.5604           |
| <b>ÉPOCA</b>      | 1         | 304.9835170      | 304.9835170                 | 19.42          | <.0001           |
| <b>AÑO PARTO</b>  | 7         | 85.9019626       | 12.2717089                  | 0.78           | 0.6060           |

| <b>Fuente</b>     | <b>DF</b> | <b>Tipo III SS</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|-------------------|-----------|--------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>INTERPARTO</b> | 1         | 9.8508704          | 9.8508704                   | 0.63           | 0.4323           |
| <b>ÉPOCA</b>      | 1         | 240.8270166        | 240.8270166                 | 15.33          | 0.0003           |
| <b>AÑO PARTO</b>  | 7         | 85.9019626         | 12.2717089                  | 0.78           | 0.6060           |

**ANEXO EE:** Comparación múltiple de medias de acuerdo con el criterio de Tukey

---

**Medias con la misma letra  
no son significativamente  
diferentes.**

---

| <b>Tukey Agrupamiento</b> | <b>Media</b> | <b>N</b> | <b>PP1</b> |
|---------------------------|--------------|----------|------------|
| A                         | 21.855       | 1009     | 2**        |
| A                         | 21.205       | 3009     | 1*         |

---

PP1 (1)\*: PERIODOS INTERPARTOS =< 450

PP1 (2)\*\*: PERIODOS INTERPARTOS => 451

**Medias con la misma letra  
no son significativamente  
diferentes.**

---

| <b>Tukey Agrupamiento</b> | <b>Media</b> | <b>N</b> | <b>ÉPOCA</b> |
|---------------------------|--------------|----------|--------------|
| A                         | 23.788       | 2008     | 1*           |
| B                         | 19.207       | 3110     | 2**          |

---

ÉPOCA \*1= ÉPOCA DE INVIERNO (LLUVIOSA)

ÉPOCA \*\*2= ÉPOCA DE VERANO (SECA)

**ANEXO FF:** Metodología de selección en base del período inter-parto en la curva de lactancia de vacas de la raza *Holstein friesian* en Ecuador

En la actualidad la ganadería bovina en mejora animal tiene avances significativos durante estas últimas dos décadas; los zootecnistas y genetistas, cada vez utilizan más la tecnología informática y softwares estadísticos avanzados con el objetivo de obtener valores genéticos de los animales con una precisión alta. No obstante, se debe hacer énfasis que cualquiera sea el método a utilizar, éste, estará en dependencia de la base de datos que se disponga (Pesántez, 2015). Sin embargo, las correlaciones fenotípicas entre el PIP y los parámetros de la CL fueron bajas, 0.07 ( $P > 0.6093$ ). Por lo que, revisamos la metodología de selección de animales productores de leche sin genealogía recomendada por Pesántez (2020).

La presente metodología se pone a consideración del sector ganadero y del mundo, de manera sencilla a implementarse en rebaños ganaderos que dispongan información referente al periodo interparto y la producción de leche durante la lactancia completa.

Los Modelos Mixtos se usan para el cálculo de los BLUP individuales, mismos que conllevan la consideración de los efectos fijos que representan a aquellos efectos de origen ambiental como son: año de parto o de monta, estación del año (lluviosa o seca), rebaños, grupos contemporáneos, número de lactancia, etc. Así como, de los efectos aleatorios vinculados al propio animal que se desea evaluar.

Según, esta metodología de cálculo con el uso de modelos mixtos, los efectos fijos resultarían como BLUE (Best Linear Unbased Estimators) y los aleatorios como BLUP, en este caso de cada animal contemplada en el estudio (Thompson *et al.* 2005).

En la salida del procesamiento (Proc Glimmix) se obtienen los valores retransformados de los efectos de rebaño (BLUE) donde está ubicada cada animal y de los BLUP asociados al valor genético de cada animal

En el desarrollo de esta metodología de selección se deben cumplir con algunos requisitos de interés, entre otros, los siguientes:

- Contar con registros individuales de las fechas de parto y de la producción de leche mensual de los animales, así como de las fechas de su realización y, de otros efectos ambientales de interés en la especie.

- Contar con equipo de computación en el cual se encuentra instalado el SAS v.9.4.

#### *Metodología para la obtención de las CPMP*

1. Realizar la toma y registro de datos relacionados con los valores de la producción día de control-PDC (McGill *et al.* 2014) individuales, bien codificados a través de sistemas que garanticen la identificación del animal a través del tiempo.
2. Los valores de producción de leche deben ser obtenidos a partir de la fórmula propuesta por Fleishmann (1945) utilizando los pesajes semanales o quincenales.

$$Producción\ leche = \sum \frac{(p_i + p_{i+1})}{2} * (d_{i+1} - d_i)$$

Donde:

$p_i$ , es la producción de leche en el control número  $i$ , donde  $i$  va desde uno hasta diez.

$d_i$ , son los días que la cabra lleva en lactancia cuando se le realiza el control número  $i$ .

3. Esta información asentada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel u otro sistema (Foxpro) deberá contener el máximo posible de efectos de interés para ser considerados en el modelo final a utilizar.
4. Se empleará el SAS (Statistical Analysis System), v.9.4 hacia el cual se importará la base de datos para ser analizada estadísticamente.
5. Se deberá analizar el cumplimiento de la normalidad de los datos correspondiente a la variable objeto de interés, así como el tipo de distribución asociada a dicha variable para su procesamiento en el Proc Glimmix del SAS v. 9.4 (2015), donde, será necesario indicar la distribución y el link asociado a dicha distribución.
6. El cumplimiento o no de la normalidad de la variable podrá ser conocido a través del SAS INSIGHT así como a través del procedimiento Severity en el SAS v. 9.4, donde, se considerará el ajuste más exacto a la distribución indicada cuyo link es conocido.
7. Se toma en consideración el Modelo Lineal Generalizado Mixto (Proc Glimmix) donde se incluyen los efectos fijos y aleatorios considerados. El efecto animal debe estar

anidado dentro de rebaño como efecto aleatorio. El modelo siguiente, ejemplifica un caso, aunque no siempre debe ser similar al mostrado:

$$Y_{ijklmnov} = \mu + A_j(H_i) + H_i + YP_k + EP_l + EC_m + O_n + L_o + R_v + e_{ijklmnov}$$

(Pesántez y Hernández 2013)

Donde:

$Y_{ijklmnov} = f(\mu)$  valor fenotípico esperado de la producción de leche en el día de control (PDC) atendiendo a la función de enlace específica.

$\mu$  = media o intercepto

$A_j(H_i)$  = efecto aleatorio de la  $j$ -ésimo animal anidada en el  $i$ -ésimo hato

$H_i$  = efecto fijo del  $i$ -ésimo rebaño ( $i=1, \dots, 10$ )

$YP_k$  = efecto fijo de  $k$ -ésimo año de pesaje ( $k=2010, \dots, 2018$ )

$EP_l$  = efecto fijo de  $l$ -ésima época de pesaje ( $l$ =lluviosa y seca)

$EC_m$  = efecto fijo de  $m$ -ésima época de parto ( $m$ = lluviosa y seca)

$O_n$  = efecto fijo del  $n$ -ésimo orden del pesaje ( $n=1, \dots, 10$ )

$L_o$  = efecto fijo de  $o$ -ésima lactancia ( $o=1, 2, 3$  y  $4$ )

$R_v$  = efecto fijo del  $v$ -ésimo número de crías ( $v=1$  y  $2$ )

$e_{ijklmnov}$  = error aleatorio debido a cada observación ( $NID \sim (0 = s^2 e)$ )

8. En los resultados de salida se obtienen:

- a) El BLUE de cada hato.
- b) El BLUP de cada animal.
- c) Las covarianzas entre y dentro de cada animal, para el cálculo de la repetibilidad se la determinará utilizando la fórmula siguiente:

$$r = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_B^2 + \sigma_W^2}$$

Donde:

$\sigma_B^2$  = varianza entre los animales

$\sigma_W^2$  = varianza residual dentro de cada animal.

9. A partir de estas informaciones las CPMP son calculadas así:

$$CPMP = \frac{BLUP * r + \bar{X}R}{\bar{X}R} * 100$$

Donde:

CPMP = Capacidad de producción más probable

BLUP = predictores individuales de la producción de leche.

r= Repetibilidad de la variable considerada

$\bar{X}R$  = Estimador promedio del rebaño (BLUE) de la variable.

10. Como los valores se encuentran expresados en por ciento, se obtienen valores superiores a 100, e inferiores (ver tabla 1) así como los equivalentes o similares a 100.

Índice de CPMP, para producción de leche PL305, en una población de vacas

| TATUAJE | HATO | NL | BLUP   | EE ±Sig  | CPMP   |
|---------|------|----|--------|----------|--------|
| 96      | 1    | 3  | 0,3182 | 0,045*** | 101,20 |
| 25      | 1    | 2  | 0,2378 | 0,044*** | 101,19 |
| 38      | 1    | 2  | 0,2971 | 0,044*** | 100,00 |
| 268     | 6    | 2  | 0,1418 | 0,045**  | 101,01 |
| 19      | 1    | 3  | 0,2734 | 0,044*** | 100,92 |

**Leyenda:** EE ±Sig= error estándar as menos significación; \*\*= altamente significativo; \*\*\*= extremadamente significativo.

**Fuente:** Pesántez (2020).

11. Lo anterior significa, que los valores iguales o similares a cien (100) representan a los animales estabilizadores, mientras que los superiores representarían a los mejoradores y los menores a los empeoradores.
12. Los valores de significación asociados a los BLUP pueden servir de guía en el reconocimiento de los verdaderos mejoradores o empeoradores o simplemente estabilizadores. Los no significativos se consideran como estabilizadores en referencia al promedio del hato en cuestión.
13. Las variables con bajas repetibilidades no tienen interés en el cálculo de las CPMP (valores inferiores a 0.15). Aunque, este elemento depende del interés del productor y de las características del rasgo a través de sus heredabilidades conocidas.
14. Los valores de CPMP, representan indicadores del valor genético (Vargas y Quintero, 2014), calculado en este caso, a partir de informaciones individuales y por tanto

contienen un sesgo superior al obtenido cuando se considera la genealogía, en la matriz A de los modelos mixtos más complejos.

15. A través del Proc IML del SAS vw. 9.4, se pueden obtener evaluaciones BLUE y BLUP similares, sólo que sería necesario realizar inicialmente las transformaciones de los datos del vector  $\mathbf{y}$ , de las observaciones y después las retransformaciones de los resultados.
16. La CPMP se obtiene para una variable, en caso de tomarse en consideración varias variables sería necesario aplicar la selección multirasgos a través de índices que ponderen esos valores (Apaza y Quispe, 2014).
17. Las diferencias esperadas predichas (DEP) (Apaza y Quispe, 2014), se pueden obtener, a partir de dividir por dos los valores del BLUP, éste último es considerado como un estimado del valor genético (McGill *et al.*, 2014), mientras que el primero es lo transmitido a la progenie. Las madres aportan la otra mitad (Pesántez, 2015).
18. La metodología para el cálculo de las CPMP de animales sin genealogía, es para ser implementada, tanto en la selección positiva como negativa de un rebaño. Su precisión y posible uso específico, depende principalmente de la cantidad total de animales evaluados, así como, por el número de registros existentes por cada animal.
19. La metodología puede aplicarse a otras especies de interés zootécnico en inicios de programas de mejora animal, sin perder el rigor científico de la selección.