

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO Y EL NÚMERO DE PARTOS SOBRE LA CURVA DE LACTACIÓN EN VACAS HOLSTEIN EN EL FUNDO CRISTO REY (2015-2019)

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: DESARROLLO GANADERO

Presentada por:

Bachiller: VÍCTOR MAYCOL ABANTO URBINA

Asesor:

Dr. JOSÉ FERNANDO CORONADO LEÓN

Cajamarca – Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 by
VÍCTOR MAYCOL ABANTO URBINA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO Y EL NÚMERO DE PARTOS SOBRE LA CURVA DE LACTACIÓN EN VACAS HOLSTEIN EN EL FUNDO CRISTO REY (2015-2019)

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: DESARROLLO GANADERO

Presentada por:

Bachiller: VÍCTOR MAYCOL ABANTO URBINA

JURADO EVALUADOR

Dr. José Fernando Coronado León
Asesor

Dr. Luis Asunción Vallejos Fernández
Jurado Evaluador

Dr. Eduardo Alberto Tapia Acosta
Jurado Evaluador

Mg. Lincol Alberto Tafur Culqui
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2022



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



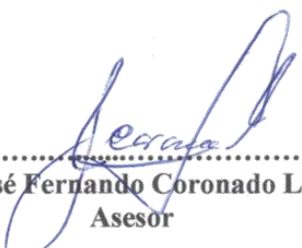
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

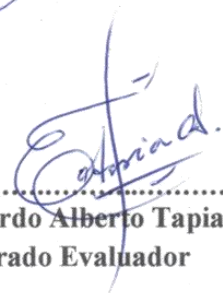
Siendo las 10:47 horas, del día 24 de mayo de dos mil veintidós, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. LUIS ASUNCIÓN VALLEJOS FERNÁNDEZ**, **Dr. EDUARDO ALBERTO TAPIA ACOSTA** **Mg. LINCOL ALBERTO TAFUR CULQUI**, y en calidad de Asesor el **Dr. JOSÉ FERNANDO CORONADO LEÓN**, Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO Y EL NÚMERO DE PARTOS SOBRE LA CURVA DE LACTACIÓN EN VACAS HOLSTEIN EN EL FUNDO CRISTO REY (2015-2019)**, presentada por el **Bachiller en Ingeniería Zootecnista, VÍCTOR MAYCOL ABANTO URBINA**.

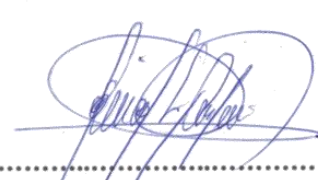
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó... APROBAR... con la calificación de DIECISEIS (16)... la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Ingeniería Zootecnista, VÍCTOR MAYCOL ABANTO URBINA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Pecuarias, con Mención en Desarrollo Ganadero.

Siendo las 11:44 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. José Fernando Coronado León
Asesor


.....
Dr. Luis Asunción Vallejos Fernández
Jurado Evaluador


.....
Dr. Eduardo Alberto Tapia Acosta
Jurado Evaluador


.....
Mg. Lincol Alberto Tafur Culqui
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada:

A mis padres, Melquiades y Benigna, quienes, con su amor, paciencia y esfuerzo, me alentaron para llegar a cumplir, hoy, un sueño más. Gracias por inculcar en mí este ejemplo, y la valentía para no temer las adversidades, porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas; Milagros, Rosario y Yolanda, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, y por estar conmigo en todo momento.

A toda mi familia, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento, hicieron de mí una mejor persona, en su manera de acompañarme en todos mis sueños y metas.

Finalmente, a mis compañeros de estudios, a mis maestros y amigos, quienes, con su ayuda hicieron posible concretar este trabajo de investigación.

El autor

AGRADECIMIENTO

“MI MÁS SINCERA GRATITUD”

A Dios Todo Poderoso:

Por haber permitido llegar a estas instancias de mi carrera profesional.

A mis amados padres:

Por todo el esfuerzo brindado, por apoyarme siempre de manera incondicional, por haberme enseñando a enfrentar la vida, y por el amor que me brindan.

A los Docentes De la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias de la Universidad Nacional de Cajamarca:

Por todos los conocimientos que me han brindado durante mi especialización. De manera especial, a mi Director de Tesis, Dr. José Fernando Coronado León, por su amistad, enseñanza, paciencia, apoyo, escucha, consejo y motivación en la culminación de este trabajo de investigación.

También, un agradecimiento especial al Ing. William Carrasco Chilón, por su apoyo en los registros productivos y reproductivos del Fundo “Cristo Rey”.

A todos mis amigos, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por su motivación y el apoyo brindado.

A todos ellos, muchas gracias.

Epígrafe

El efecto del clima en el ganado bovino es variable y complejo, ya que condiciona el medioambiente en el que los animales viven y se reproducen. El clima afecta al ganado directa e indirectamente, ya que modifica la calidad y/o cantidad de alimentos disponibles, los requerimientos de agua y energía, la cantidad de energía consumida y el uso de ésta.

(Arias, Mader y Escobar, 2008)

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Epígrafe	vii
Índice general	viii
Índice de tablas	x
Índice de Figuras	xi
Lista de abreviaturas o siglas	xii
Glosario o definición de términos	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Contextualización del problema	1
1.1.2. Descripción del problema	2
1.1.3. Formulación del problema	3
1.2. Justificación e importancia	3
1.2.1. Justificación científica	3
1.2.2. Justificación técnica – práctica	4
1.2.3. Justificación institucional y personal	5
1.3. Delimitación de la investigación	5
1.4. Limitaciones	5
1.5. Objetivos	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial	7
2.2. Bases teóricas	12
2.3. Definición de términos básicos	19
CAPÍTULO III	21
PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS Y VARIABLES	21
3.1. Hipótesis	21

3.2. Variables / Categorías -----	21
3.3. Operacionalización de las variables -----	21
CAPÍTULO IV -----	23
MARCO METODOLÓGICO -----	23
4.1. Ubicación geográfica -----	23
4.2. Diseño de la investigación -----	24
4.3. Métodos de investigación -----	24
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación----	25
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información -----	26
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información -----	26
4.7. Equipos, materiales y servicios-----	26
4.8. Matriz de consistencia metodológica -----	26
CAPÍTULO V -----	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	28
5.1. Presentación de resultados -----	28
5.1.1. Curvas de lactación vacas de primer parto -----	28
5.1.2. Curvas de lactación vacas de segundo parto. -----	30
5.1.3. Curvas de lactación vacas de tres partos a más. -----	31
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados. -----	33
Conclusiones -----	40
Recomendaciones y/o sugerencias -----	41
Referencias bibliográficas -----	42
Anexos -----	48

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.-----	22
Tabla 2. Matriz de consistencia metodológica.-----	27
Tabla 3. Valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de primer parto, según la época de parición (2015-2019) -----	29
Tabla 4. Valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de segundo parto, según la época de parición.-----	30
Tabla 5: . Valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de tres partos a más, según la época de parición.-----	32

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del Fundo "Cristo Rey".	23
Figura 2. Curvas de lactación de vacas Holstein de primer parto.	29
Figura 3. Curvas de lactación de vacas Holstein de segundo parto.....	31
Figura 4. Curvas de lactación de vacas Holstein de tres partos a más.	33

Lista de abreviaturas o siglas

PP: Producción pico en litros.

TP: Tiempo pico en días.

PLA: Producción de leche ajustada en litros.

DP: Periodo seco.

DL: Días de lactancia.

MNL: Modelos no lineales.

MMNL: Modelos mixtos no lineales.

FCM: Leche corregida en grasa.

IG: Gamma Incompleta.

Glosario o definición de términos

- Curva de lactación: Es la representación gráfica de la producción diaria de leche de una vaca, en función del tiempo (Cortes et al., 2012).
- Época: Corresponde a un periodo de tiempo en las cuales ciertas condiciones climáticas se mantienen.
- Número de lactancias: Es la cantidad de lactaciones completas que tiene una vaca en un cierto tiempo.
- Pico de lactación: Es el volumen máximo de producción de leche alcanzado en un momento dado a lo largo de una lactación (Cortes et al., 2012).
- Persistencia: Es el tiempo en que se mantiene dicha producción y la longitud de la lactancia (Cortes et al., 2012).
- Rendimientos de lactancia: Es el total de leche producido en una lactancia normal de 305 días de lactación.
- Producción de leche: Es la cantidad de leche producida en un intervalo de tiempo, puede ser expresada como la cantidad de leche por día o por campaña.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la época del año y número de partos sobre la curva de lactación de las vacas lecheras del Fundo Cristo Rey de la campiña de Cajamarca-Perú. Se obtuvieron, de 35 vacas (84 lactaciones) la producción de leche semanal de los registros de producción desde los años 2015 al 2019, clasificándolos según el número de partos (uno, dos y de tres a más partos) y la época del año: lluvia (Del 19 de setiembre al 19 de mayo) y seca (Del 19 de mayo al 19 de setiembre). Los parámetros que describen la curva de lactancia fueron estimados mediante la Función Gamma Incompleta propuesta por Wood (1967). Los resultados indican que los parámetros óptimos que describen la curva de lactación y la mayor producción láctea en 305 días de lactancia ocurrieron en vacas que parieron en la época de lluvia, tanto para vacas de primer, segundo y tercer a más partos. El efecto más notorio se encontró en vacas de tres partos a más que parieron en la época de seca las cuales mostraron comportamiento atípico de la curva de lactación. Se concluyó que no existe efecto de la época del año sobre la curva de lactación según el número de partos.

Palabras Clave: Curva de lactación, época de año, número de partos.

ABSTRACT

With the objective of evaluating the effect of the season of the year and number of calvings on the lactation curve of dairy cows from the Fundo Cristo Rey in the countryside of Cajamarca-Peru. Weekly milk production was obtained from 35 cows (84 lactations) from the production records from 2015 to 2019, classifying them according to the number of calvings (one, two and three or more calvings) and the season of the year: rainy (from September 19 to May 19) and dry (from May 19 to September 19). The parameters that describe the lactation curve were estimated using the Incomplete Gamma Function proposed by Wood (1967). The results indicate that the optimal parameters that describe the lactation curve and the highest milk production in 305 days of lactation occurred in cows that calved in the rainy season, both for cows with the first, second and third calvings. The most notorious effect was found in cows with three calvings or more that gave birth in the dry season, which showed atypical behavior of the lactation curve. It was concluded that there no an effect of the time of year on the lactation curve according to the number of births.

Key Words: Lactation curve, season of the year, number of calvings.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización del problema

Cajamarca es una región ubicada en la sierra Norte del Perú, con una diversidad ecológica que permite la instalación de centros de cría de ganado lechero, predominando razas de alta producción como la Holstein y Brown Swiss, y cruces de éstas en las zonas más altas, siendo sus niveles de producción variados (Escrura, 2001). Además, cuenta con una producción de más de 50,5 millones de toneladas de leche fresca, representando un 18,1% del total de la producción nacional (NESTLÉ, 2020)

La producción lechera en Cajamarca es al pastoreo, basado en el aprovechamiento del crecimiento de la pradera que está relacionada con la estacionalidad del crecimiento de las pasturas, que dependen básicamente de la concentración de la pluviometría (mm), determinando la formación de dos épocas: lluviosa y seca. La época lluviosa muestra mayor disponibilidad de recursos forrajeros, en calidad y cantidad, y mejores condiciones climáticas; y, la seca o estiaje, exhibe pobre calidad de pastos naturales y mayor severidad climática (Quispe, *et al.*, 2016).

Uno de los problemas que existe en la ganadería lechera de Cajamarca, es el desempeño productivo que puede estar afectada por factores relacionados con la época del parto y el número de lactancia, factores que requieren evaluaciones para fortalecer los conocimientos y mejorar la ganadería. Bajo estas condiciones, se puede mencionar que hay poco interés de parte de los ganaderos, por analizar los datos recogidos en los registros de producción y reproducción de sus hatos lecheros; además del desconocimiento de la importancia que implica el estudio del comportamiento de la curva de lactación, de manera individual o en grupo.

Por ello, surge la necesidad de conocer este comportamiento en el ganado lechero de la campiña de Cajamarca, siendo una información indispensable para la toma de decisiones a nivel de manejo y aspectos genéticos, entre otros.

1.1.2. Descripción del problema

La curva de lactancia es una representación gráfica de la evolución de un ciclo productivo de una vaca lechera, y el comportamiento de esta grafica es influenciada por diversos factores, tanto genéticos como ambientales (Quintero *et al.*, 2007).

Los factores genéticos corresponden a lo que el animal lleva en su código genético, estos difícilmente pueden ser manipulados o modificados por el hombre. Por su parte, los factores ambientales, como; la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, la precipitación pluvial, entre otros puede en cierta manera ser controlados. Debido a estas condiciones, las vacas presentan niveles de producción de leche que varía de acuerdo con el periodo de lactancia. Considerar hablar sobre la curva de lactación puede realizarse mediante la obtención de datos individuales, diarios o semanales de producción de leche (Castillo *et al.*, 2017).

La curva de lactación describe aspectos como el inicio de la lactación el pico de producción y la persistencia, además de que puede ajustar la producción de leche a 305 días. Dichos aspectos están influenciados notoriamente por los factores descritos anteriormente. Una descripción clara de las curvas de lactación es necesaria, debido a que resulta de gran utilidad para programar prácticas de manejo y de mejoramiento genético del ganado lechero en los sistemas de producción (Wood, 1969).

Diversas investigaciones mencionan que la época del parto es uno de los factores ambientales más influyentes en la producción de leche (Pérez *et al.*, 2007, Cañas *et al.*, 2011). Por ello es imprescindible estudiar este aspecto con el propósito de determinar

la mejor época en la que se realiza este acontecimiento fisiológico, el cual puede ser planificado dentro de las actividades de manejo reproductivo del hato lechero. El número de partos tiene un efecto significativo sobre la producción inicial y ciclo productivo de la vaca lechera, tiempo al que las vacas alcanzan su máxima producción, pico de producción y persistencia láctea (Osorio y Segura, 2005).

Los ganaderos de la campiña de Cajamarca prestan muy poca o ninguna atención al comportamiento de la curva de lactación, debido al desconocimiento de la importancia que representan éstas o a la falta de interés por parte del productor. Otro factor determinante es el deficiente manejo de los registros de producción, ya que la mayoría de los ganaderos cajamarquinos no cuentan con estos documentos tan esenciales y los que cuentan no saben cómo analizar los datos recogidos en ellos.

Es así que, considerando la época de parto y el número de partos, se puede demostrar la importancia de estos factores en su influencia sobre la producción de leche en las vacas de la campiña de Cajamarca mediante una curva de lactancia, haciéndose necesario esta práctica en los ganaderos para una mejor toma de decisiones.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey de la Campiña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019?

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación científica

El presente trabajo de investigación contribuye a la generación de conocimiento mediante el análisis de las curvas de lactación de las vacas lecheras, basándose en el efecto que representa el número de partos y la época de parición sobre la producción láctea. Estudio que se realizó mediante el modelo de Wood, que es el más indicado

para modelar curvas de lactación de ganado lechero (Cañas *et al.*, 2011, Dutto, 2012, Khan *et al.*, 2012, Ferreira *et al.*, 2015, Apaza *et al.*, 2016, Palacios *et al.*, 2016, Vasquez, 2017) .

Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden ser generalizados para las condiciones de la campiña de Cajamarca, y, en consecuencia, los ganaderos de esta zona pueden tomar como referencia para implementar prácticas adecuadas de manejo y producción de ganado vacuno lechero.

Si bien es cierto, la investigación solo tuvo en cuenta los registros de producción y reproducción de un solo establecimiento productivo, y solo se enmarcó en determinar aspectos del número de partos y la época de parición en la curva de lactación. Para investigaciones futuras se podría considerar otras variables, además de un mayor número de establecimientos productivos, a fin de tener caracterizado el comportamiento de la curva de producción de leche de toda la campiña de Cajamarca.

1.2.2. Justificación técnica – práctica

Conocer el comportamiento de las curvas de lactancia es fundamental para la toma de decisiones en una granja lechera. El conocimiento del modelo de progreso de la producción de leche a lo largo de cada lactancia es necesario no solo a nivel de población promedio (granja lechera), sino también a nivel individual (Piccardi *et al.* 2017). Este conocimiento dentro de las explotaciones de ganado lechero permite realizar un mejor manejo productivo y reproductivo.

Por otro lado, la disponibilidad de datos de producción facilitó la ejecución de la investigación con el propósito de analizar dichas producciones y, por ende, determinar el efecto de los factores que se estudiaron, para dar mayores luces al productor ganadero del cómo afectan dichos factores ambientales.

1.2.3. Justificación institucional y personal

La Universidad Nacional de Cajamarca, tiene contemplado en la visión de la institución, la realización de investigación científica y tecnológica multidisciplinaria, que contribuya a mejorar y dar respuesta a situaciones que afectan a la población. Así mismo tiene como propósito, ser una institución involucrada en los procesos de desarrollo social, regional y nacional; en ese sentido el presente trabajo de investigación se orienta a brindar mayores alcances a fin de mejorar las condiciones de manejo y producción de ganado vacuno lechero en la campiña de Cajamarca.

Por parte del investigador, se contó con el conocimiento y preparación para el estudio realizado además se tuvo la suficiente motivación, para la realización de la presente investigación, ya que es necesario analizar los registros de producción láctea y determinar de qué manera es el comportamiento de la curva de lactación, además de determinar el grado de influencia de las condiciones medioambientales en esta. Dicho análisis permitió tener recomendaciones para el manejo óptimo de ganado vacuno lechero.

1.3. Delimitación de la investigación

El estudio se llevó a cabo en el Fundo "Cristo Rey", ubicado en el distrito de Baños del Inca, provincia y región Cajamarca, a una altitud de 2667 m.s.n.m. Esta investigación se delimitó temporalmente en el año 2020, y para su ejecución, se recolectaron datos de producción de leche desde el año 2015 hasta el año 2019, realizándose un estudio aplicativo, el cual pretendió dar cuenta de los aspectos que rigieron el comportamiento de la curva de lactación de los semovientes que se encontraban en dicho fundo.

1.4. Limitaciones

Debido a las características y el tema de investigación, la bibliografía es un tanto escasa a nivel de la campiña de Cajamarca.

1.5. Objetivos

Evaluar el efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey de la campiña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

Existen diversas investigaciones del ámbito internacional, nacional y local que han expresado resultados respecto al comportamiento de la curva de lactación en vacas lecheras, las cuales se comparten a continuación:

Kopec *et al.* (2020) estimaron los parámetros del modelo de Wood y la descripción de la curva de lactancia de vacas Simmental, durante 24 meses en la primera lactancia. Se determinó que el valor más bajo de un parámetro (15,2317) del modelo de Wood se encontró en lactancias de hasta 305 días, contrario a los parámetros b y c que fueron mayores en esas lactancias (0,1029 y 0,0015, respectivamente). El valor máximo de un parámetro (17,4329) se encontró en lactancias de hasta 640 días, a diferencia de los parámetros b y c que fueron mínimos en esas lactancias (0,0603 y 0,0010, respectivamente). Concluyeron que los parámetros del modelo de Wood y la forma de la curva de lactancia están cambiando con el creciente número de registros de producción de leche. Además, los parámetros evaluados revelaron un potencial significativo de producción de leche después de 305 días de lactancia.

En Canadá, se ejecutó un estudio, con el propósito de realizar una predicción genómica de curvas de lactancia para leche, grasa, proteína y puntaje de células somáticas en ganado Holstein. La conclusión general es que la selección de animales jóvenes según el patrón de las curvas de lactancia pueden ser una alternativa factible en la selección genómica del ganado Holstein para los rasgos de producción de leche (Oliveira *et al.*, 2019).

En un estudio realizado en Costa Rica en ganado Holstein y Jersey, se determinó que el efecto de los factores del animal no modificables, como la raza, presentan efectos significativos sobre la producción de la primera lactancia (PPL). Existe una tendencia a incrementar los niveles de producción conforme se aumenta la edad al primer parto hasta los veintiséis

meses, después de lo cual se mantiene estable. La variable modificable de manejo tiene un efecto significativo; fincas con protocolos de alta calidad de crianza de terneras producen 213,9 kg más de leche en su primera lactancia, que las novillas con una crianza media, y 1133,7 kg más que las de sistemas de baja calidad de manejo (Castillo *et al.*, 2019).

En el 2018 en Túnez, se estimaron los parámetros de la curva de lactación de acuerdo a la temporada de parto en vacas Holstein bajo condiciones ambientales del Norte de África, en el cual se determinó que el promedio diario de leche por temporada de parto osciló entre 15 ± 7 kg/d a $20,33 \pm 8$ kg/d en la temporada 1 (septiembre a enero), 15 ± 7 kg/d a $20,26 \pm 8$ kg/d en la temporada 2 (febrero a mayo) y entre 15 ± 7 kg/d a $19,74 \pm 8$ kg/d en la temporada 3 (junio a agosto). Los parámetros de la curva de lactancia estimados por la función Gamma Incompleta de Wood para la producción de lactancia temprana (a), fase ascendente (b), fase descendente (c), pico de producción, fecha pico y persistencia fueron 9,72kg; 0,291; 0,00382; 23,31kg; 84 días y 7.36, respectivamente en la primera temporada (otoño-invierno), 10,06kg; 0,281; 0,00377; 23,15kg; 82 días y 7,31, respectivamente en la temporada 2 (febrero a mayo), 9,59kg; 0,287; 0,00368; 23,01kg; 87 días y 7,40, respectivamente para la temporada 3 (junio a agosto) (Khalifa *et al.*, 2018).

Las vacas Holstein Panameñas estudiadas por Guerra *et al.* (2018) tuvieron una producción media inicial de 24,47 kg/día, el pico de producción se alcanzó entre el segundo y tercer pesaje y el valor mínimo (16,37 kg/día) en el décimo que coincidió con la terminación de la lactancia. La producción de leche total estimada por la curva de lactancia (6852 kg) fue próxima al valor observado (6425 kg). El PP estimado para las diferentes funciones se mantuvo entre los 28,1 y los 29,6 kg/día y el TP varió entre los 16 y 41 días de lactancia.

En México se investigó el impacto del estrés por calor sobre los parámetros de la curva de lactancia y la Producción de Leche Ajustada a 305 días (PLA305) en vacas Holstein con diferentes paridades, mediante la función Gamma incompleta, indica que la evolución de la curva de lactancia en

vacas Holstein es influenciada por el número de partos y el estrés calórico sin embargo, este último influyo más en multíparas que en primíparas (Zamorano *et al.* 2018).

En rebaños colombianos se ajustaron las curvas de lactación con modelos no lineales, el mejor ajuste para cada curva de lactancia se alcanzó con el modelo en dos fases para el ajuste de curvas de lactancia de Grossman y Koops, ideal para fines técnicos y de investigación, mientras que el modelo de Wood sería mejor para uso ganadero (Duque *et al.* 2018).

Según Biswal *et al.* (2017), en su trabajo de investigación sobre los “Factores que influyen en los parámetros de la curva de lactancia en granjas lecheras”, encontraron que la paridad tiene una influencia significativa en el aumento de la pendiente de la curva de lactancia, lo que indica que las vacas en tercera paridad producen más leche que otras vacas. El período (año) no tuvo un efecto significativo en ninguno de los parámetros, lo que indica que hubo un manejo uniforme de las vacas durante todo el período de estudio. El efecto no significativo de la temporada de partos implicaba que la influencia de las condiciones climáticas era insignificante en condiciones óptimas de alimentación y manejo y también los animales tenían más adaptabilidad a las variaciones climáticas. La raza tuvo una influencia significativa en la creciente pendiente de la curva de lactancia, mientras que la edad del primer parto no tuvo una influencia significativa en ninguno de los parámetros.

Vargas *et al.* (2016), modelaron curvas de lactancia de ganado Holstein en Colombia, comparando los modelos no lineales de Wood, Wilmink, Papajcsik & Bordero y Brody, determinaron que los resultados con el modelo de Wood demostraron un mayor pico de producción en la tercera lactancia, alcanzado en la sexta semana de producción, aunque con una menor persistencia. Con lo cual concluyeron, que el modelo de Wood presentó un mejor ajuste de la curva y se demostró un aumento en la producción en los tres primeros partos y como consecuencia un descenso en la persistencia.

En Holanda se ejecutó una investigación sobre el efecto del periodo seco, en la cual se determinó que, las vacas Holstein-Friesian de primera lactancia con periodo seco (DP) de 0 o 30 días tienen un rendimiento pico más bajo, un tiempo de rendimiento pico más tardío y un porcentaje de leche corregida con grasa y proteína más baja que las vacas con un DP de 60 días. En la segunda lactancia después de los tratamientos de duración de DP, las vacas con un DP de 0 o 30 días tienen un rendimiento máximo más bajo que las vacas con un DP de 60 días. En ambas lactancias, la persistencia de la lactancia no se ve afectada por la longitud de DP (Chen *et al.* 2016).

Apaza *et al.* (2016), Calcularon los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas mestizas (cruza de Holstein con Criollo), en la Provincia Omasuyos – Bolivia. Los parámetros obtenidos en promedio fueron ($a=4,248$, $b=0,348$ y $c=0,006$). La producción promedio de leche a 305 días de lactancia (DL-305) en vacas con establo, fue de 3242,68 kg con 10,6 kg en promedio/día; mientras que para vacas sin establo fue de (DL-305) 2621,87 kg, con 8,6 kg en promedio/día

En una investigación realizada en el trópico alto de Nariño, Colombia, indica que en la primera lactancia del ganado Holstein el modelo que mejor define la curva es el de Papajcsik y Bordero; en la segunda el de Wiltmink; en la tercera la función parabólica exponencial y en la cuarta la función gamma incompleta, mientras que la función de Wiltmink describe con mayor ajuste la producción de leche en la quinta y sexta lactancia (Cortes *et al.* 2012).

En la estimación de curvas de lactancia en vacas Holando, en Argentina, el uso de los polinomios de Legendre de tercer orden y de regression splines con dos nodos variables para cada vaca son los recomendados. El modelo de Wood también es adecuado, salvo para estimar las curvas de las vacas que paren entre febrero y abril (Dutto, 2012).

Otra investigación realizada en el trópico alto colombiano se estimó curvas de lactancia en ganado Holstein y Holstein x BON por medio del modelo Gamma Incompleto, además se explicó el efecto del grupo genético y

algunos factores ambientales sobre los coeficientes de la curva de lactancia. Se determinó que los coeficientes estimados a partir del modelo Gamma Incompleto están altamente influenciados por el grupo genético, por el número de partos, y en menor medida por la época climática (Cañas *et al.* 2009).

En el establo Granados – Huaura – Lima – Perú, se modelaron curvas de lactación con modelos no lineales (MNL) y modelos mixtos no lineales (MMNL), se analizaron datos de controles lecheros quincenalmente correspondiente al primer, segundo y tercer a más partos de vacas Holstein. Se concluyó que los MMNL tuvieron mejor ajuste para la curva de lactancia a 305 días. (Vásquez, 2017).

En el trópico peruano se modelaron curvas de lactación de vacas Gir y cruces Gir por Holstein (F1), Las vacas cruzadas F1 fueron criadas bajo un sistema intensivo recibiendo una ración alimenticia compuesta por forraje de corte y suplemento concentrado, el ordeño se realizó dos veces/día, mientras que las vacas Gir lechero fueron criadas extensivamente alimentadas al pastoreo con suplemento de concentrado y ordeñadas una vez/día. Los resultados muestran los siguientes valores que describen la curva de lactación: 4 031,15 y 1 031,10 kg de leche por campaña; 85 y 55 días de duración del periodo parto-pico de producción y 17,22 y 4,28 kg de leche/día como nivel de producción en el pico para las vacas cruzadas F1 y Gir lechero respectivamente; la persistencia fue de 8,4 por ciento después del pico de producción para ambos grupos (Huamán *et al.* 2018).

En una investigación realizada en Lima - Perú sobre modelos de ajuste para curvas de lactación de vacas en crianza intensiva, se determinó que el número de lactaciones y la estación de parto tienen efecto sobre la mayoría de los parámetros básicos y derivados de los modelos de la curva de lactación. Los factores ambientales como el fenómeno del niño afectan la producción máxima en el modelo gamma incompleto. En general, el número de lactaciones, la estación de parto y el fenómeno del niño tienen efecto significativo sobre la producción total pronosticada por campaña (305 días) (Rodríguez *et al.* 2005).

En un estudio investigativo realizado por Piedra *et al.* (2012), en el valle de Cajamarca - Perú, indica que la persistencia de la lactancia en las vacas Holstein es menor que la de la raza Brown Swiss. El Promedio de duración de lactancia es de 414 días. Las vacas Brown Swiss muestran en la época seca, un pico de lactancia superior, mientras que en la época lluviosa es superior en las vacas Holstein. En general, la raza Brown Swiss presenta una mayor adaptabilidad a las condiciones de producción en el valle de Cajamarca que la raza Holstein.

2.2. Bases teóricas

1. Curva de lactación

La curva de lactancia es una representación gráfica de la producción de leche de un animal durante un período de tiempo definido. La forma de la curva de lactancia proporciona información relevante sobre las prácticas de manejo diario de la granja. Es una herramienta adecuada en el diseño de estrategias de cría y manejo del ganado. La curva de lactancia en el ganado lechero alcanza el rendimiento máximo después del parto en un plazo de 2 a 8 semanas y luego disminuye gradualmente hasta el período de secado. Las vacas con las curvas de lactancia más planas se consideran más persistentes, lo que implica una menor incidencia de trastornos metabólicos y reproductivos (Mohanty *et al.* 2017)

Una curva de lactación describe la producción de leche de una vaca desde el fin de la fase calostrál (2 a 3 días) hasta el momento del secado. Su duración aproximada es de 300 días. Una curva de lactación graficada, muestra el pico de producción, la persistencia y los efectos de eventos específicos en la producción láctea debido a que la forma de la curva de lactación es regularmente constante, la producción de leche en la parte inicial de la curva puede ser utilizada para predecir la producción en la lactación completa (Gasque, 2008).

El ajuste de las curvas de lactancia es una herramienta común para obtener el rendimiento total de la leche, así como para estimar la

característica de la curva principal (como el día del rendimiento máximo de leche) para una lactancia. Estos modelos están diseñados principalmente para ganado lechero, pero se han aplicado a razas de ganado no lechero y también a otras especies (Melzer *et al.* 2017).

El estudio de la curva de lactancia ayuda a predecir la producción de leche en un momento determinado y proporciona información útil para adoptar decisiones deseables sobre la evaluación preliminar de los progenitores, la eliminación temprana de los productores pobres, la gestión de la cría y la alimentación y la comparación de los registros de lactancia de duración desigual (Arya *et al.* 2020). La curva de lactación constituye una herramienta de gran utilidad, tanto para determinar la eficiencia de los sistemas de producción de leche, como para la toma de decisiones, en la selección de reemplazos, la toma de decisiones sobre el sacrificio de vacas, los sistemas de simulación de producción de leche, y en el diseño de los programas de nutrición y alimentación (Cortes *et al.* 2012, Nanda *et al.* 2019).

2. Cómo se calcula la curva de lactancia

La representación matemática de la curva de lactación se realiza a partir de la producción diaria de leche de una vaca, en función del tiempo. La producción de leche puede explicarse por medio de una ecuación matemática, esta ayuda a conocer la producción de leche en cualquier período, partiendo de muestras de controles de leche. La forma de la curva está definida por parámetros tales como el nivel de producción inicial de leche, pico de lactancia y la persistencia (Cortes *et al.* 2012).

La curva de lactancia permite estimar la producción de leche parcial y/o total (Ruiz *et al.* 2000), a partir de $\Sigma=f(t)$, o mediante el área bajo esta curva dada por la integral definida:

$$\text{Producción de leche} = \int_b^a f(t) dt$$

Dónde:

$f(t)$ = función asociada al modelo matemático.

a y b = son los límites de integración, que se corresponden con los extremos del intervalo deseado.

La curva de producción láctea puede ser descrita por los distintos modelos matemáticos. En consecuencia, diferentes modelos matemáticos han sido usados para predecir la producción de leche a diferentes estados de lactación (Vasquez 2017)

3. Modelo Wood

Diversas investigaciones indican que el modelo matemático más adecuado para analizar las curvas de producción es el propuesto por Wood, seguido por el modelo Wilmink. El modelo de Wood es el de mejor ajuste para el primer parto y el modelo Wilmink para segundo y tercer a más partos (Cañas *et al.* 2011, Dutto, 2012, Khan *et al.* 2012, Ferreira *et al.*, 2015, Apaza *et al.* 2016, Palacios *et al.* 2016, Barreto, Vasquez, 2017). La función de tipo gamma puede proporcionar la mejor curva de lactancia en vacas cruzadas normales e infectadas por mastitis (Jingar *et al.* 2014). Adicional a esto se tiene que la curva de Wood es la más ajustada para describir la lactancia en ganado vacuno en pastoreo (Espasandin *et al.* 2016). Para vacas alimentadas con una ración alimenticia compuesta por forraje de corte con suplemento concentrado, también el método no lineal de Wood es el más confiable para explicar e interpretar el modelamiento y las características de la curva de lactación (Quispe *et al.* 2018). El modelo Wood se puede utilizar para predecir el rendimiento de leche de 305 días para decisiones de manejo en granjas y para la evaluación genética del ganado Holstein (Kong *et al.* 2018).

Según Golebiewski *et al.* (2011) el modelo de Wood mostró la mayor precisión cuando se investigó el rendimiento de leche y el contenido de proteínas; aunque observó un mal ajuste del contenido de grasa.

El modelo de Wood trajo una mejor precisión para las vacas Holstein-frisonas polacas en comparación con vacas de raza Montbéliard.

Según Oliveira *et al.* (2020), el modelo Wood fue la mejor opción para imitar los registros de lactancia en su trabajo de investigación. Se dedujeron algunos atributos geométricos del modelo de Wood, principalmente la tasa específica ascendente desde el parto hasta el pico de producción de leche y la tasa específica descendente como medida de la persistencia de la lactancia de la producción de leche en el pico de producción. Encontrando así, que las vacas de paridad de primer orden tuvieron mayor persistencia que sus contrapartes mayores, y cuanto mayor fue la tasa ascendente de producción de leche desde el parto hasta el pico, más aguda fue la disminución en la producción de leche después del pico. La ecuación de Wood fue lo suficientemente flexible como para imitar los perfiles de lactancia de forma cóncava y convexa. Las correlaciones entre la producción máxima de leche y las estimaciones aleatorias de β con la producción total de leche por lactancia fueron positivas. Sin embargo, la producción máxima de leche podría no ser la única variable utilizada para clasificar a las vacas; la producción total de leche integra toda la información del perfil de lactancia a través de los parámetros estimados de la ecuación de Wood.

4. Otros modelos para cálculos

Existen otros modelos para estimar la producción de leche en vacas lecheras, tal es el caso de los modelos de regresión, métodos apropiados para la predicción de la producción de leche de PPC (Jeretina *et al.* 2015). El modelo de regresión aleatoria con Spline Linear (SPL6) (6,6), Spline Cúbico (SPC6) (6.6) y Polinomios de Legendre (LEG) (3,5) para producción de leche, SPL6 (6.6), Spline Cuadrático (SPQ6) (6.6), LEG (3,5) para rendimiento graso y SPL5 (5,5), SPQ4 (4,4) y LEG (3,4) para rendimiento proteico, fueron seleccionados como mejor modelo para describir las curvas de lactancia (Naderi 2018).

Los modelos más utilizados para la estimación de curvas de lactancia son: Modelos lineales: en este rubro se enmarcan los modelos cuadráticos, cuadráticos-logarítmicos, polinomiales inversos, polinomios segmentados, lineal hiperbólico y regresión múltiple. Modelos no lineales: Entre los que destaca el modelo Wood o la función gamma incompleta, la parabólica exponencial y el modelo de Wilmink, Brody, Cobby, y demás (Vasquez 2017).

Modelos lineales:

Los modelos lineales son expresados de forma general como:

$$Y_i = X_{1i} \beta_1 + X_{2i} \beta_{2i} + \dots + X_{ji} \beta_j + e_{ij}$$

Dónde:

Y_i = valor que toma la variable dependiente en estudio para la i -ésima unidad experimental.

X_{ji} = valores correspondientes a constantes conocidas en el problema en cuestión ($j = 1, \dots, p$).

β_j = son constantes desconocidas o parámetros definidos en el problema.

e_{ij} = errores aleatorios ($e_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$).

Modelos no lineales:

Los modelos no lineales son herramientas eficaces para el análisis de datos longitudinales. Estos modelos proporcionan un medio flexible para describir datos que siguen formas complejas de cambio. Las funciones exponenciales y logísticas que incluyen un parámetro para representar una asíntota, por ejemplo, son útiles para describir respuestas que tienden a estabilizarse con el tiempo (Blozis y Harring 2016). Las funciones paramétricas no lineales han representado las herramientas preferidas para modelar curvas promedio de grupos

homogéneos de animales, con el objetivo principal de predecir rendimientos con fines de manejo (Macciotta *et al.* 2011).

Los modelos no lineales son considerados como más difíciles de trabajar pero expresan mejor el comportamiento de la curva de lactación (Ehrlich 2013). Entre los modelos no lineales más destacados se encuentran:

✓ *Brody (1924)*

$$y(t) = \beta_0 e^{(-\beta_1 * t)} - \beta_0 e^{(-\beta_2 * t)}$$

Dónde:

$y(t)$ = producción de leche en el día t .

t = representa días o semanas de lactancia.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parámetros a estimar.

✓ *Modelo Wilmink*

Es un modelo no lineal de tres covariables que describe la producción de leche $y(t)$ en función del tiempo t .

$$y(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 \exp(-0.05 t)$$

✓ *Cobby (1978)*

$$y(t) = \beta_0 - \beta_1 t - \beta_0 (\exp(-\beta_2 * t))$$

Dónde:

$y(t)$ = producción de leche en el día (t) de la lactación (Kg).

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parámetros a estimar de la curva.

\exp = es la base de los logaritmos neperianos (para el caso de los modelos no lineales).

t = tiempo periodos semanales.

5. Época de parto

La época de parto sólo tiene efecto sobre el pico de producción, aunque se observa una tendencia a que las vacas paridas en los meses lluviosos iniciarán lactancias con niveles de producción de leche mayores que las vacas paridas en las épocas seca (Osorio 2005). Las vacas con parto de otoño produjeron más FCM, grasa y proteína ($P < 0,05$) (Sabbioni *et al.* 2003).

La curva de lactación de ganado bovino puede ser afectada por el genotipo y por la época del año. Tal es así que en la época de lluvia obviamente existe mayor disponibilidad de forraje la cual contribuye a mejorar los parámetros de la curva (Villalobos *et al.* 2016). Estos investigadores también determinaron el efecto del número de lactancias sobre el comportamiento de la curva, en la que no se encontró diferencia significativa ($P > 0,05$) a excepción de el parámetro b reportado en el modelo Wood, que si mostró efectos diferentes.

Otwinowska y Ptak, (2016) observaron que existe efecto de la temporada y la paridad en la aparición de curvas atípicas en la población polaca de Holstein-Friesian. El efecto de la temporada fue especialmente notable para las vacas que parieron entre abril y septiembre con un solo rendimiento registrado.

6. El número de partos:

La influencia del número de partos sobre el inicio y pico de producción de leche se atribuye a que las vacas de primer parto no han terminado su desarrollo corporal, por lo que primero satisfacen sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento y luego los de producción, razón por la cual tienen una menor producción de leche. (Mario M. Osorio-Arcea 2005).

Sabbioni *et al.* (2003) mencionan que las vacas primíparas muestran una menor producción de leche corregida con 4% de grasa y proteínas que las múltiparas, tanto al principio como en el pico, y una mayor

persistencia ($P < 0,05$). Las vacas de paridad de primer orden tienen mayor persistencia que sus contrapartes mayores, y cuanto mayor es la tasa ascendente de producción de leche desde el parto hasta el pico, más aguda es la disminución en la producción de leche después del pico; por lo tanto, las tasas (valores absolutos) de las fases ascendente y descendente se correlacionaron positivamente (Oliveira *et al.* 2020).

Según Biswal *et al.* (2017) indican que la paridad tiene una influencia significativa en el aumento de la pendiente de la curva de lactancia, lo que indica que las vacas en tercera paridad producen más leche que otras vacas.

7. Pico de lactancia.

El pico de lactancia está definido como el tiempo en el cual se alcanza la máxima producción de leche de una hembra (Quintero *et al.* 2007).

2.3. Definición de términos básicos

- Ambiente: Conjunto de circunstancias o factores físicos, químicos y biológicos que rodean a un ser vivo e influyen en su desarrollo y comportamiento.
- Clima: Conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, etc., y cuya acción compleja influye en la existencia de los seres sometidos a ella.
- Época: Corresponde a un periodo de tiempo en las cuales ciertas condiciones climáticas se mantienen.
- Lactación: Secreción y excreción de leche por las glándulas mamarias.
- Leche: Sustancia líquida y blanca que segregan las mamas de las hembras de los mamíferos para alimentar a sus crías y que está constituida por caseína, lactosa, sales inorgánicas, glóbulos de grasa suspendidos y otras sustancias; especialmente la que producen las

vacas, que sirve como alimento y de la cual se obtiene, además, queso, yogur, mantequilla y otros derivados.

- Modelo matemático: Es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables.
- Parto: Proceso por el que la hembra de una especie vivípara expulsa el feto y la placenta al final de la gestación; consta de tres fases: la fase de dilatación, la de expulsión y la placentaria o de alumbramiento.
- Número de lactancias: Es la cantidad de lactaciones completas que tiene una vaca en un cierto tiempo.
- Persistencia: Es el tiempo en que se mantiene dicha producción y la longitud de la lactancia (Cortes et al. 2012).
- Rendimientos de lactancia: Es el total de leche producido en una lactancia normal de 305 días de lactación.
- Producción de leche: Es la cantidad de leche producida en un intervalo de tiempo, puede ser expresada como la cantidad de leche por día o por campaña.
- Semoviente: Que se mueve por sí mismo; se aplica especialmente al ganado.
- Sequía: Falta de lluvias durante un período prolongado de tiempo que produce sequedad en los campos y escasez de agua.
- Vaca: Mamífero rumiante bóvido, hembra, de unos 150 cm de altura y 250 cm de longitud, cuerpo muy robusto, pelo corto, cabeza gruesa provista de dos cuernos curvos y puntiagudos, hocico ancho, papada en el pecho, y cola larga con un mechón en el extremo; de él se aprovechan la leche, la carne y la piel.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Existe efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey en la campiña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019.

3.2. Variables / Categorías

- Época del año.
- Número de partos.
- Curva de lactación.

3.3. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables se detalla en la Tabla 1, la cual permite tener una idea precisa de los componentes de la hipótesis de la presente investigación. Esta herramienta constituye un aspecto clave para el buen direccionamiento y control del estudio.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.

Título: Efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el fundo Cristo Rey (2015-2019)					
Hipótesis	Definición conceptual de las variables	Definición operacional de las variables			
		Variable	Dimensión	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos
Existe efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey en la campaña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019.	Periodo de tiempo con condiciones climáticas comunes	Época de año	Época de sequía Época de lluvia	Niveles de precipitación pluvial	Registros meteorológicos
	Capacidad de partos de una hembra	Número de partos	Primer parto Segundo parto Tercer parto a más	Número de pariciones	Registros reproductivos
	Representación gráfica de la producción de leche	Curva de lactación	Curvas de lactación en épocas de sequía y lluvia tanto de vacas de primer, segundo y tercer parto a más	Campaña, corregida a los 305 días en 2 ordeños Periodos de lactación Número de lactaciones	Registros de producción de leche

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

Los datos obtenidos para la presente investigación fueron del Fundo Cristo Rey, ubicado en el Centro Poblado Menor de Otuzco, distrito de Baños del Inca, provincia y región de Cajamarca, en las Coordenadas UTM: 9210946N, 0779552E a una altitud de 2735 m.s.n.m., en la región Quechua.

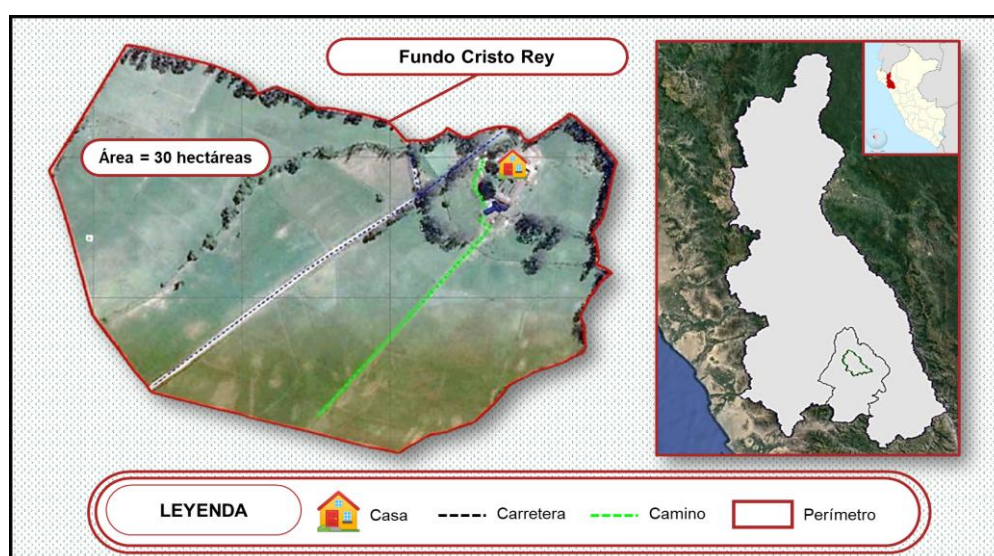


Figura 1. Mapa de ubicación del Fundo "Cristo Rey".

Las condiciones meteorológicas del lugar en donde se realizó el presente estudio son las siguientes: El clima es templado seco, y presenta dos épocas bien definidas; una de lluvias comprendida entre el 19 de setiembre al 19 de mayo, con temperaturas que fluctúan entre los 7 y 22° C, y la otra de sequía, comprendida entre el 19 de mayo al 19 de setiembre, con temperaturas entre los 3° y 22° C, presentándose un clima templado durante el día, y frío durante la noche. La temperatura máxima media anual es de 22° C, y la temperatura mínima anual es de 3°C. Su temperatura media anual es de 15,6 °C. La humedad relativa varía entre 58 y 78% aproximadamente, con un promedio anual de 65%. Los meses de menor humedad son julio, agosto y setiembre. La precipitación pluvial promedio anual varía entre

los 6 mm y 720 mm (Weather Spark, 2021).

4.2. Diseño de la investigación

La presente investigación, se encuentra dentro del diseño retrospectivo, longitudinal, analítico no experimental. Para su ejecución, primero se recopiló datos de producción de leche semanal de cuatro años seguidos, comprendidos desde el año 2015 hasta el año 2019, de vacas primíparas y múltiparas de la raza Holstein criadas bajo las mismas condiciones de manejo, alimentación (pastoreo de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*, más alimento balanceado), y reproducción. Para ello se elaboró una base de datos en una plantilla Excel, datos de producción que posteriormente fueron modelados mediante la función Gamma Incompleta (IG) propuesto por Wood, (1967).

4.3. Métodos de investigación

En el presente trabajo de investigación con el propósito de determinar el efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación de vacas de la raza Holstein, se empleó el modelo no lineal de Wood (1967), modelo que ha servido extensivamente para describir curvas de la lactancia de bovinos, ovinos, cabras, búfalos y camélidos sudamericanos. Este modelo matemático también permite estimar la producción en el pico de la lactancia (Quintero *et al.* 2007).

El modelo de Wood (1967), describe la siguiente función:

$$Y(t) = a t^b e^{-ct}$$

Donde:

Y(t) : Rendimiento diario promedio de leche en la semana t, kg.

t : Semana en la que se estima el rendimiento de leche.

e : Base del logaritmo natural igual a 2.718182.

a : Constante que representa la escala de producción de la vaca.

b : Tasa de incremento al pico de la curva.

c : Tasa de disminución después del pico de la curva.

La fecha pico (DIMP) está definido como b/c y el pico se calcula de la siguiente manera:

$$a (b/c)^b e^{-b}$$

Según Tekerli *et al.* (2000), la persistencia de la lactancia se evalúa utilizando la siguiente expresión derivada de la función Gamma de Wood:

$$S = - (b + 1) \ln (c)$$

La función gamma se ve influenciada por el número de lactaciones (los coeficientes aumentan con el número de lactaciones), y por la estación del año en que tiene lugar el parto, así como por el nivel de producción del rebaño. “a” y “b” aumentan y “c” disminuye con el nivel de producción total medio (Tekerli *et al.* 2000).

El modelo de Wood puede ajustar los parámetros de las curvas en cuatro formas diferentes, principalmente en función del valor de los parámetros (b) y (c), ya que (a) siempre es positivo e influye en el nivel medio de producción (Wood, 1969, Macciotta *et al.* 2005, Gołebiewski *et al.* 2011).

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación

- ❖ Población: La presente investigación tuvo una población de 42 vacas de la raza Holstein pertenecientes al fundo Cristo Rey.
- ❖ Muestra: Para el presente estudio, la muestra estuvo conformada por 35 vacas de la raza Holstein pertenecientes al fundo Cristo Rey. La selección de esta muestra se basó principalmente en la raza (Holstein) y en que dichas vacas cuenten con al menos una lactación completa (305 días).
- ❖ Unidad de análisis: La unidad de análisis estuvo constituida por una lactancia completa (305 días), de una vaca de la raza Holstein.
- ❖ Unidad de observación: Constituida por una lactación completa.

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

La recopilación de información, se ha realizado, mediante la obtención de los datos de registros de producción de leche y reproducción del Fundo Cristo Rey comprendidos entre los años 2015 y 2019. Para el ordenamiento, clasificación y organización de la información, se utilizó el programa Excel.

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Los datos de producción de leche fueron analizados y modelados mediante la Función Gamma Incompleta propuesta por Wood (1967).

El análisis de los datos de producción de leche se realizó haciendo uso del Software IBM SPS Statics versión 19, y el Software MINITAB® 19.

4.7. Equipos, materiales y servicios

Los equipos utilizados en el estudio fueron los siguientes: computadora, GPS y cámara fotográfica. En cuanto a Los Materiales se utilizó; papel bond, lapiceros, tinta para impresora. También se requirió de servicios tales como: internet, fotocopias, impresión y asesoría.

4.8. Matriz de consistencia metodológica

La matriz de consistencia metodológica de la presente investigación se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Matriz de consistencia metodológica.

TITULO: Efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el fundo Cristo Rey (2015-2019)								
Formulación de problema	Objetivo	Hipótesis	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cuál es la relación que existe entre la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey de la Campiña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019?	Evaluar el efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey de la campiña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019	Existe efecto de la época del año y el número de partos sobre la curva de lactación en vacas Holstein en el Fundo Cristo Rey en la campiña de Cajamarca desde los años 2015 al 2019	Época del año	Época de sequía Época de lluvia	Niveles de precipitación pluvial	Registros meteorológicos	Modelo Wood	Población: 42 Muestra: 35
			Número de partos	Primer parto Segundo parto Tercer parto a más	Número de pariciones	Registros reproductivos		
			Curva de lactación	Curvas de lactación en épocas de sequía y lluvia tanto de vacas de primer, segundo y tercer parto a más	Campaña, corregida a los 305 días en 2 ordeños Periodos de lactación Número de lactaciones	Registros de producción de leche		

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

5.1.1. Curvas de lactación vacas de primer parto

La tabla 3 muestra los valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de primer parto, según la época de parición (lluvia y seca). El parámetro (a) asociado con el valor de la producción inicial presentó un valor promedio de 18,11 litros en la época de lluvia y 17,03 litros en la época de sequía, con un intervalo de confianza del 95%. El parámetro (b) relacionado con la fase ascendente de la curva de producción tuvo un valor promedio de 0,0852 para vacas que parieron en la época de lluvia y de 0,0680 para vacas que parieron en la época seca. El parámetro (c) relacionado con la fase descendente de la curva de producción tuvo un valor promedio de 0,0034 para vacas que parieron en la época de lluvia y de 0,0026 para vacas que parieron en la época seca. El pico de producción de leche de las vacas primíparas que parieron en época de lluvia fue de 21,89 litros, el cual se registró en el día 25 de producción, mientras que para las vacas que parieron en la época seca fue de 19,86 litros, registrándose este dato el día 26 de producción. La producción total de leche en una campaña de 305 días muestra que las vacas que parieron en la época de lluvia tuvieron una producción total promedio de 5043,4 litros con un registro de producción de 10,45 litros en el día 305, y de 4885,20 litros para las vacas que parieron en la época de sequía, con un promedio de 11,37 litros en el día 305.

En la figura 2 se muestra la representación gráfica de las curvas de lactación de las vacas de primer parto tanto en la época de lluvia como en la de sequía, la cual describe el comportamiento productivo típico del ganado vacuno lechero, mostrando el inicio de la lactación, el pico de producción y la fase descendente de la producción.

Tabla 3. Valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de primer parto, según la época de parición (2015-2019)

Parámetro	Época de Lluvia (n:12)			Época de Seca (n:11)		
	\bar{X}	IC AL 95%		\bar{X}	IC AL 95%	
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.
a	18,11	16,49	19,78	17,03	15,49	18,60
b	0,0852	0,0570	0,1149	0,0680	0,04000	0,0974
c	0,0034	0,003	0,0039	0,0026	0,0022	0,0030
Pico de producción (L)		21,89			19,86	
Día de máxima producción		25			26	
Total de producción (L)		5043,4			4885,20	
Producción de leche en el día 305 (L)		10,45			11,37	
Ecuación	$Y=18,11 * t^{0,0852} * e^{-0,0034*t}$			$Y=17,03 * t^{0,0680} * e^{-0,0026*t}$		

Dónde: \bar{X} . Promedio, Mín. Mínimo, Máx. Máximo, L: Litros, IC. Intervalo de Confianza

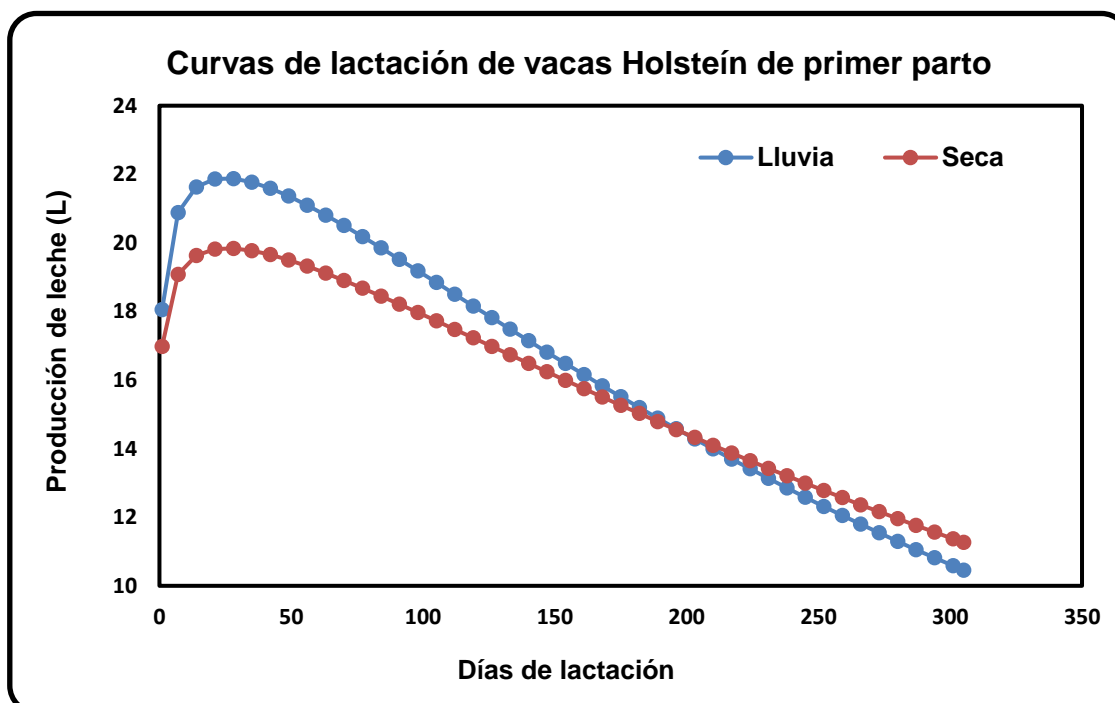


Figura 2. Curvas de lactación de vacas Holstein de primer parto.

5.1.2. Curvas de lactación vacas de segundo parto.

La tabla 4 muestra los valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de segundo parto, según la época de parición. Se tiene que, las que parieron en la época de lluvia presentan valores promedio de 19,5207, 0,1021 y 0,0032, para los parámetros a, b y c respectivamente, con un IC de 95%, el pico de producción fue de 25,10 litros de leche, alcanzándose esta máxima producción el día 32, el total de producción de leche en 305 días, fue de 6000 litros de leche y el promedio de producción en el día 305 fue de 13,19 litros. Por su parte las vacas que parieron en la época seca presentan valores promedio de 18,0899, 0,1142 y 0,0029, para los parámetros a, b y c respectivamente, con un IC de 95%, el pico de producción fue de 24,55 litros de leche, registrándose este dato el día 39 de producción, estas vacas registraron un total de producción de 6161 litros de leche, y un registro de 14,55 litros en el día 305.

Tabla 4. Valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de segundo parto, según la época de parición.

Parámetro	Época de Lluvia (n:15)			Época de Seca (n:5)		
	\bar{X}	IC AL 95%		\bar{X}	IC AL 95%	
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.
a	19,5207	17,1370	22,1387	18,0899	14,9049	21,7433
b	0,1021	0,0640	0,1413	0,1142	0,0595	0,1710
c	0,0032	0,0028	0,0037	0,0029	0,0023	0,0035
Pico de producción (L)	25,10			24,55		
Día de máxima producción	32			39		
Total de producción (L)	6000			6161		
Producción de leche en el día 305 (L)	13,19			14,55		
Ecuación	$Y=19,52 * t^{0,1021} * e^{-0,0032*t}$			$Y=18,09 * t^{0,1142} * e^{-0,0029*t}$		

Dónde: \bar{X} . Promedio, Mín. Mínimo, Máx. Máximo, L: Litros, IC. Intervalo de Confianza

En la figura 3 se muestra la representación gráfica de las curvas de lactación de las vacas de segundo parto que parieron tanto en época de lluvia como en la época de sequía, describiendo el comportamiento productivo típico del ganado vacuno lechero, y mostrando el inicio de la lactación el pico de producción y la fase descendente de la producción.

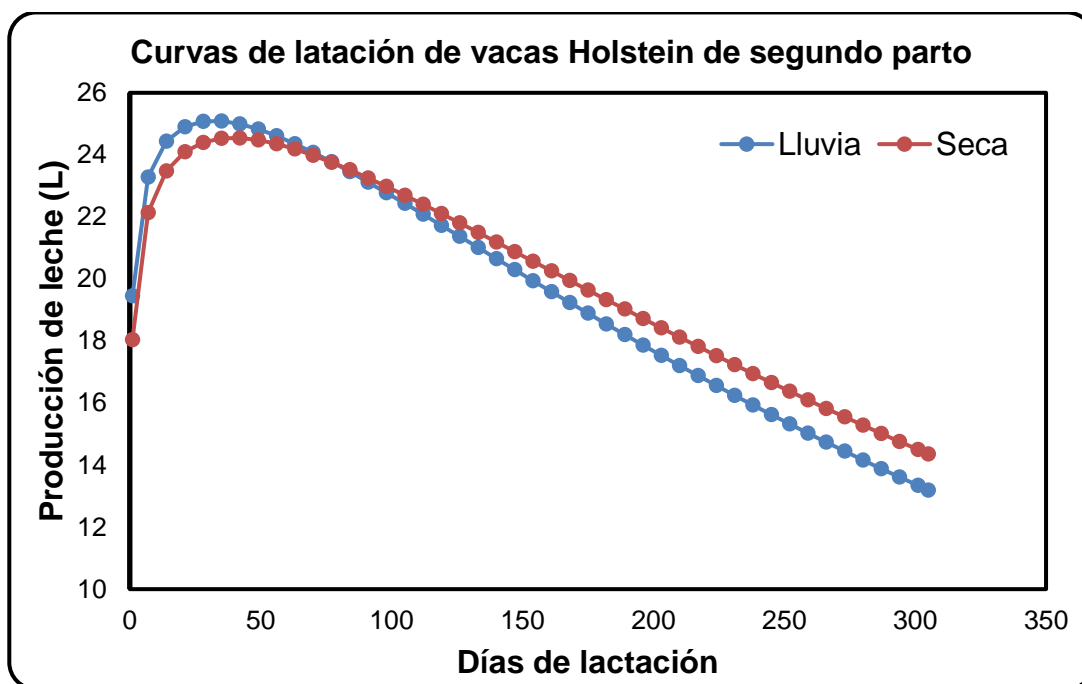


Figura 3. Curvas de lactación de vacas Holstein de segundo parto.

5.1.3. Curvas de lactación vacas de tres partos a más.

La tabla 5 muestra los valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de tres partos a más, según la época de parición. Se tiene que, las vacas que parieron en la época de lluvia presentan valores promedio de 22,3272, 0,0902 y 0,0035, para los parámetros a, b y c respectivamente, con un IC de 95%, el pico de producción fue de 27,35 litros de leche, alcanzándose esta máxima producción el día 26, el total de producción de leche en 305 días, fue de 6275,4 litros de leche y el promedio de producción en el día 305 fue de 12,86 litros. Por su parte las vacas que parieron en la época seca presentan valores promedio de 25,3419, 0,0068 y 0,0020, para los parámetros a, b y c

respectivamente, con un IC de 95%, el pico de producción fue de 25,38 litros de leche, registrándose este dato el día 3 de producción, estas vacas registraron un total de producción de 5933,2 litros de leche y el promedio de producción en el día 305 fue de 15,15 litros.

Tabla 5. Valores de los parámetros que describen la curva de lactancia en vacas de tres partos a más, según la época de parición.

Parámetro	Época de Lluvia (n:27)			Época de Seca (n:14)		
	\bar{X}	IC AL 95%		\bar{X}	IC AL 95%	
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.
a	22,3272	20,1512	24,6707	25,3419	21,9019	29,1593
b	0,0902	0,0597	0,1213	0,0068	-0,0361	0,0510
c	0,0035	0,0032	0,0039	0,0020	0,0015	0,0025
Pico de producción (L)		27,35			25,38	
Día de máxima producción		26			3	
Total de producción (L)		6275,4			5933,2	
Producción de leche en el día 305 (L)		12,86			14,15	
Ecuación		$Y=22,32 * t^{0,0902} * e^{-0,0035*t}$			$Y=25,34 * t^{0,0068} * e^{-0,0020*t}$	

Dónde: \bar{X} . Promedio, Mín. Mínimo, Máx. Máximo, L: Litros, IC. Intervalo de Confianza

En la figura 4 se muestra la representación gráfica de las curvas de lactación de las vacas de tres partos a más, que parieron tanto en época de lluvia como en la época de sequía, la cual describe el comportamiento productivo del ganado vacuno lechero en una campaña de producción de leche de 305 días, mostrando el inicio de la lactación el pico de producción y la fase descendente de la producción.

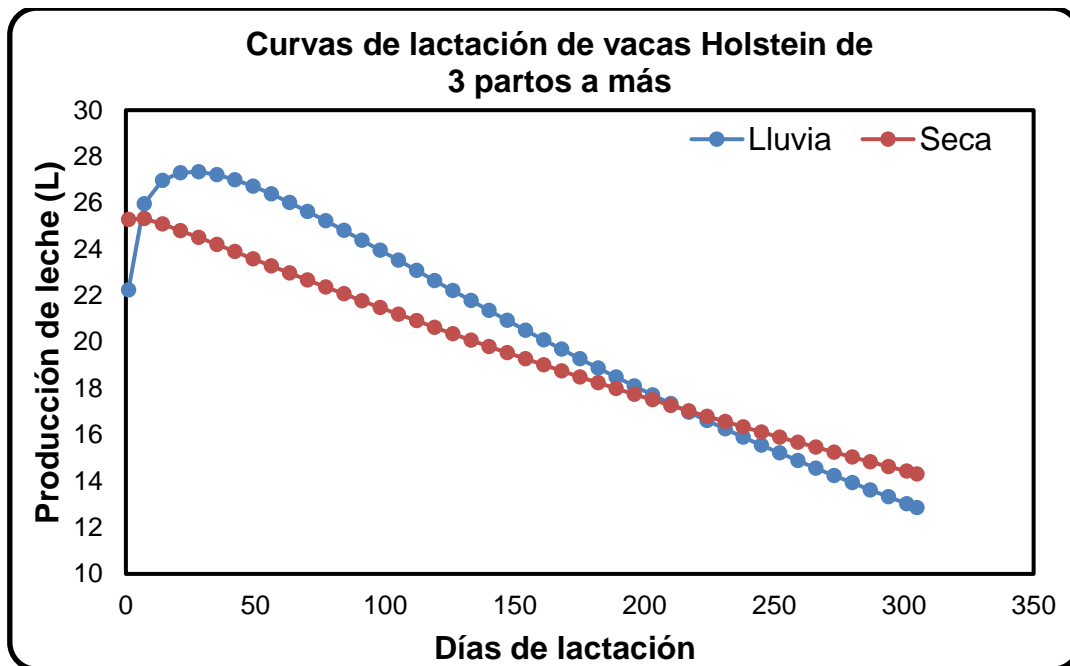


Figura 4. Curvas de lactación de vacas Holstein de tres partos a más.

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados.

El comportamiento de la curva de lactancia en las vacas del primer parto, paridas en ambas épocas (Lluvia y seca), fue la curva típica, presentando valores positivos en los parámetros b y c, como lo establecen Tekerli et al (2000). Según la ecuación del modelo de Wood (tabla 3), al inicio de la lactancia la producción promedio diaria, numéricamente fue superior en las vacas paridas en la época de lluvia (18,11 litros) comparado con la producción promedio de las vacas paridas en la época de seca (17,02 litros), valores mayores a los reportados por Zamorano et al. (2018), Vargas et al. (2016), Cañas et al. (2012) y Nanda et al. (2019) quienes obtuvieron valores iniciales promedios de 13,82; 15,05; 15,70 y 9,54 litros, respectivamente. Los valores de producción diaria registrados fueron similares a los resultados obtenidos por Vásquez (2017) y Kong et al (2018) quienes lograron valores promedios diarios de 16,64 litros y 17,38 litros, respectivamente.

La mayor producción de leche (pico de producción) fue mayor en las vacas que parieron en le época de lluvia (21,89 litros) obtenida a los 25 días de lactancia comparadas con las vacas que parieron en la época de seca (19,86 litros) lograda a los 26 días, debido a que el valor inicial de

las vacas paridas en la época de lluvia fue superior numéricamente las producciones iniciales de las vacas paridas en la época de seca. El pico de la producción de las vacas paridas en la época de lluvia fue similar a la reportada por Vargas et al. (2016), con un valor diario de 21,21 litros obtenidas a los 43 días de iniciado la lactancia. Las mayores producciones del presente trabajo de investigación (época de lluvia y seca), se registraron en un menor tiempo que el grupo de vacas Holstein del trópico colombiano quienes obtuvieron su mayor producción a los 80 días (Cortes et al. 2012). Cañas et al. (2012), Zamorano et al. (2018) y Kong et al. (2018) encontraron valores superiores al nuestro, con picos de producción de 24,07; 27,97 y 29,71 litros, registrados a los 46, 67 y 72 días, respectivamente. Al comparar resultados obtenidos con los logrados en los sistemas intensivos, los picos de producción son superiores logrados en un mayor tiempo, como lo demuestra Vásquez (2017), quien encontró en vacas de primer parto un pico de producción de 31,13 kg a los 82 días, demostrando mejores rendimientos en este tipo de sistemas que en los sistemas mixtos. Estas diferencias pueden ser debido a las condiciones de genética, manejo, dieta y ambiente (Quispe, et al., 2016)

El total de producción de leche estimada a 305 días en las vacas de primer parto fue mayor en vacas que parieron en época de lluvia, registrando 158,2 litros más que las vacas que parieron en la época de seca, esto puede ser debido a que la principal limitante de la pradera durante los meses de sequía es la baja disponibilidad de materia seca, por lo que esta es insuficiente para cubrir los requerimientos de vacas lecheras en producción (Wetzel 2017). La producción total del experimento mostró ser menor en ambas épocas (lluvia: 5043,4 y seca: 4885,20 litros) a las reportadas por Cañas et al. (2012) (5762,9 litros), y mucho menor que los resultados de Zamorano et al. (2018) y Vásquez (2017) quienes reportaron valores de producción total en 305 días de lactancia de 8202 y 8611 litros respectivamente.

En la persistencia láctea la producción de leche de las vacas primíparas, muestran que las vacas que parieron en la época seca, registraron una producción mayor que las vacas que parieron en la época de lluvia, lo que es demostrado por el valor de c , cuyo menor y mejor valor es para el grupo de vacas que parieron en la época de seca (0,0026 con IC al 95% 0,0022 a 0,0030) comparado con el grupo de vacas que parieron en la época de lluvia (0,0034 con IC al 95% 0,003 a 0,0039) lo que demuestra que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$), esto debido a la producción de leche, a mayor producción de leche menor es la persistencia láctea (Cañas et al, 2012).

Al inicio de la lactancia la producción promedio diario de las 15 vacas del segundo parto que parieron en la época de lluvia, fue mayor numéricamente (19,5 litros) a la producción promedio diario de las 5 vacas que parieron en la época de seca (18,09 litros). Los valores fueron similares a los reportados por Vargas et al (2016) y Cañas et al (2012) cuyos promedios fueron de 17,39 litros y 17,24 litros., respectivamente. Los valores iniciales de producción promedio diario, en ambas épocas (lluviosa y seca) fueron mayores al comparar con los promedios de las producciones iniciales (9,73 litros) de las vacas criadas en Indonesia (Nanda et al. 2019). Los sistemas intensivos de producción registran valores de inicio de producción de 18,11 litros, mayor al encontrado en la época seca y ligeramente menor a la época de lluvia (Vásquez, 2017). Nuestros resultados demuestran ser inferiores a ganaderías chinas, las cuales registraron 22,12 litros de producción inicial reportado por Kong et al. (2018).

El pico de producción de las vacas de segundo parto fue similar en ambas épocas de parición (lluvia: 25,10 y seca 24,55 litros), llegando a sus máximas producciones en vacas del segundo parto paridas en la época de lluvia a los 32 días y 39 días a las vacas paridas en la época de seca, teniendo 7 días más de incremento de la producción. Los resultados de la producción máxima del presente trabajo muestran ser similares a los resultados de vacas Holstein criadas en Colombia a una altitud de 2200 a

2400 msnm, las cuales registraron 25,19 litros, producidos en el día 41 Vargas et al. (2016), dos días posterior a lo encontrado en la época seca. Cañas et al. (2012), Cortes et al. (2012) y Kong et al. (2018), encontraron picos de producción superiores a ambas épocas de parición de nuestro estudio, de 28,50 litros registrados el día 44 de producción, 26,96 litros registrados en el día 53 de producción y 32,75 litros registrado el día 68 respectivamente. La producción láctea en sistema intensivo registró valores muy superiores al sistema mixto de nuestra investigación, como lo reporta Vásquez (2017), en un centro de producción el Lima, Perú, quien encontró picos de producción de 41,29 litros en el día 64 de producción.

El total de producción láctea en 305 días de las vacas de segundo parto fue numéricamente mayor en vacas que parieron en la época de seca (6161 litros) comparado con las vacas del segundo parto paridas en la época de lluvia (6000), esto debido a que el grupo de vacas paridas en la época de seca tienen numéricamente un b (0,1142) mayor que las vacas paridas en la época de lluvia (b :0,1021) con un mayor número de días en producción (7días) así como una mejor persistencia láctea (c :0.0029) en las vacas paridas en la época de seca versus las vacas paridas en la época de lluvia (c :0.0032), sin embargo, los datos de producción total son menores a los reportados por Cañas et al. (2012) quien encontró valores totales de producción de leche en 305 días de 6432,9 en vacas Holstein criadas en Colombia. También los resultados son muy inferiores a los 10,357 litros producidos por vacas de segundo parto, bajo un sistema de crianza intensiva reportado por Vásquez (2017), demostrando que las condiciones de crianza y sistema de producción influyen en el nivel de producción.

El final de la producción láctea de las vacas de segundo parto fue ligeramente superior de las que parieron en la época seca, las cuales registraron un valor de producción de 14,55 litros comparado con los 13,19 litros de las vacas que parieron en lluvia, esto debido a lo manifestado anteriormente.

En cuanto a las vacas de tres partos a más, la mayor producción promedio inicial ocurre en vacas que parieron en la época seca, con una producción inicial de 25,34 litros versus los 22,32 litros de las vacas que parieron en la época de lluvia. Ambos valores son superiores a los reportados por Cañas et al. (2012), Vargas et al. (2016) en Colombia, Zamorano et al. (2018) en México, Vásquez (2017) en Lima, Perú, Khalifa et al. (2018) en Túnez y Nanda et al. (2019) en Indonesia, quienes determinaron valores iniciales de producción de 17,40; 16,89; 14,19; 16,65; 9,79 y 9,78 litros respectivamente. El valor de producción inicial de la época de lluvia es similar al reportado por Kong et al. (2018) en vacas de China con valores de 21,94 litros. Mientras que la producción registrada en la época seca es similar al promedio registrado por Guerra et al. (2018), quien encontró valores de 24,38 litros en vacas Holstein criadas en la República de Panamá.

El pico de producción de las vacas que parieron en la época de lluvia (27,35 litros) fue numéricamente superior a las vacas que parieron en la época seca (25,38 litros) logrando un incremento en las vacas que parieron en la época de lluvia desde el inicio de la producción de 5 litros en 26 días, en cambio las vacas en seca lograron un incremento de 0.04 litros en 3 días donde comienza a disminuir la producción, esto debido a que el coeficiente b fue de 0.0068, incluso en algunas vacas el incremento fue negativo (-0.0361) demostrando que prácticamente no existió un pico de producción y un comportamiento anormal de la curva de producción en estos semovientes. Los resultados del pico de producción, fue similar al trabajo de Vargas et al. (2016) con 27,34, menor que los trabajos de Guerra et al. (2018), Kong et al. (2018), Cañas et al. (2012), Zamorano et al. (2018) y Vásquez (2017) con valores de 28,16; 31,84; 29,92; 30,38 y 43,91 respectivamente, y mayor que Khalifa et al. (2018) y Cortes et al. (2012) con valores de 23,17 y 14,35 litros, respectivamente. Respecto del momento pico, ambos resultados de nuestro estudio, tanto de la época de lluvia como de la época seca fueron menores a los mencionados por Khalifa et al. (2018), Kong et al. (2018), Zamorano et al. (2018), Guerra et al. (2018), Vásquez (2017), Vargas et al. (2016), Cañas et al. (2012) y

Cortes et al. (2012) con registros en el día 84,86; 68,14; 53,23; 37,74; 66; 45,41; 43,73 y 119 respectivamente.

La producción en 305 días de lactación fue mayor en vacas que parieron en la época de lluvia con 6275,4 litros comparado a los 5933,2 litros de las vacas que parieron en la época seca. Esto puede ser debido a la diferencia entre los niveles de alimentación según las épocas, ya que en la época de lluvia la hierba es abundante y su digestibilidad máxima. El animal consume grandes cantidades y este alto nivel de alimentación le permite producir una alta producción de leche. Por otro lado, en la época seca la disponibilidad y el valor nutritivo del forraje es menor, lo que se traduce en una disminución de la producción, Khalifa et al. (2018). Nuestros registros de producción total en ambas épocas son menores a la producción total de Zamorano et al. (2018), Guerra et al. (2018), Vásquez (2017), Vargas et al. (2016) y Cañas et al. (2012) quienes indican valores de 9382, 6853,29, 10777, 6634,11 y 6613,8 respectivamente. Y mayor a la reportada por Castillo et al. (2019) de 5360,1 kg en vacas Holstein criadas en explotaciones de Costa Rica. Las diferencias climáticas, de manejo, sanidad y alimentación pueden explicar estas diferencias.

El comportamiento de la curva de producción de las vacas de tres partos a más que parieron en la época de lluvia es típico del ganado lechero, mientras que las vacas que parieron en la época de sequía muestran una curva atípica de producción, ya que algunos valores correspondientes a la fase ascendente de producción fueron negativos. La aparición de formas atípicas, caracterizadas por la ausencia de un pico de lactancia, puede representar el 15-42%. Esta forma de curvas corresponde a vacas con problemas por datos incorrectos, falta de información o problemas de manejo (Khalifa et al. 2018). Al igual que en las lactaciones de las vacas de primer y segundo parto, la producción final fue mayor en la época seca, debido a la mejora en las condiciones de alimentación producto de la presencia de lluvias, ya que estos registros de producción ocurrieron en la época contraria a la del parto.

La cantidad de leche que produce una vaca aumenta con el número de partos, como lo demuestra nuestro estudio, lo que se debe principalmente al aumento en peso, que se traduce en un sistema digestivo y una glándula mamaria más grande. A partir del sexto parto la cantidad de leche disminuye progresivamente debido a que con la edad se pierde la capacidad de absorción de nutrientes (Cañas et al. 2012). Las vacas en producción al primer parto desarrollan un potencial productivo en un 85 por ciento, segundo parto en un 97 por ciento y tercer a mayores partos en 100 por ciento de su capacidad máxima de producción (Vásquez 2017).

Indicando que, al análisis de las vacas en producción de primer parto, segundo y de tres partos a más según la época de parto, entre los años 2015 a 2019, en el Fundo Cristo Rey, no existió una diferencia significativa ($P>0,05$) según los intervalos de confianza proporcionados en los coeficientes a, b y c de las ecuaciones de Wood, esto puede ser debido al sistema de manejo que se lleva en dicho fundo, sobre todo en el sistema de alimentación el cual se proporciona a las vacas forraje y alimento balanceado, según los requerimientos necesarios para cada vaca en producción. Observándose que el tiempo en que llegan a su máxima producción es menor comparado con el resultado obtenidos en otros trabajos de investigación, lo que permite obtener menor producción total, ya que lo recomendado es entre 60 a 90 días de mayor producción a partir del cual comienza disminuir la producción diaria de leche.

CONCLUSIONES

Se concluye que, no existe un efecto significativo de la época del año sobre la curva de lactación según el número de partos del cual se obtuvieron que los parámetros óptimos que expresan la mejor curva de lactación y mayor producción a los 305 días ocurrieron en las vacas que parieron en la época de lluvia tanto para las vacas de primer, segundo y de tercer a más partos.

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

Se recomienda que en vacas de tres partos a más se deben de implementar biotecnologías reproductivas para hacer coincidir el parto con la época de lluvia ya que las vacas que paren en época seca presentan curvas de lactancia atípicas, desvirtuando su comportamiento y, por ende, la producción es menor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Sabbioni, V. Beretti, A. Zanon & P. Franceschi, y To. 2003. "Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle". *Italian Journal of Animal Science* 2: 278–80. <https://doi.org/10.1017/S0003356100026945>.
- Apaza-Huallpa Yesenia, Loza-Murguía Manuel Gregorio Rojas-Pardo Abel1, Achu-Nina Cristóbal. 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.
- Arya, Vineeta, B. N. Shahi, D. Kumar, R. S. Barwal, Sunil Kumar, y Lokesh Gautam. 2020. "Comparison of lactation curve models for fortnightly test day milk yield". *Indian Journal of Animal Sciences* 90 (3): 140–44.
- Biswal, Subham, Tamil Nadu Veterinary, Marimuthu Thirunavukkarasu, Tamil Nadu Veterinary, Venkataramanan Ragothaman, Tamil Nadu Veterinary, y Tamil Nadu Veterinary. 2017. "Factors influencing lactation curve parameters in dairy farms", núm. November.
- Blozis, Shelley A., y Jeffrey R. Harring. 2016. "On the Estimation of Nonlinear Mixed-Effects Models and Latent Curve Models for Longitudinal Data". *Structural Equation Modeling* 23 (6): 904–20. <https://doi.org/10.1080/10705511.2016.1190932>.
- Cañas Álvarez, Jhon, Luis Restrepo Betancur, Jorge Ochoa S., Alex Echeverri, y Mario Cerón Muñoz. 2009. "Estimación de las curvas de lactancia en ganado Holstein y BON x Holstein en trópico alto colombiano". *Revista Lasallista de investigación* 6 (1): 35–42.
- Castillo-Badilla, Gloriana, Bernardo Vargas-Leitón, Frank Hueckmann-Voss, y Juan José Romero-Zúñiga. 2019. "Factores que afectan la producción en primera lactancia de vacas lecheras de Costa Rica". *Agronomía Mesoamericana* 30 (1): 209–27. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33430>.
- Castillo, Miguel, Andrés Alpizar Naranjo, José Padilla Fallas, y Juan Keim San Martín. 2017. "Efecto de la edad a primer servicio, número y época de parto sobre el comportamiento de la curva de lactancia en vacas Jersey". *Nutrición animal tropical* 11 (2): 1–22. <https://doi.org/10.15517/nat.v11i2.31306>.
- Chen, J., A. Kok, G. J. Remmelink, J. J. Gross, R. M. Bruckmaier, B. Kemp, y A. T.M. van Knegsel. 2016. "Effects of dry period length and dietary energy source on lactation curve characteristics over 2 subsequent lactations". *Journal of Dairy Science* 99 (11): 9287–99. <https://doi.org/10.3168/jds.2016->

11253.

Cortes-jojoa, Kris S, Mildred V Quiroz-villota, Carlos E Solarte-portilla, y Edgar Osejo-rosero. 2012. "Modelación De Curvas De Producción Láctea En Bovinos Holstein Del Trópico Alto De Nariño". *Revista Investigación Pecuaria* 1 (2): 24–31.

Duque, Norma Patricia, Joaquim Casellas, Jorge Humberto Quijano, Ramon Casals, y Xavier Such. 2018. "Fitting lactation curves in a Colombian Holstein herd using nonlinear models". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 71 (2): 8459–68.
<https://doi.org/10.15446/rfna.v71n2.67424>.

Dutto, Maria. 2012. "Estimación De Curvas De Lactancia En Vacas". *Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias Economicas y de Administración, UDELAR*, 1–25.
http://www.iesta.edu.uy/wpcontent/uploads/2014/05/TCLATSE_2012_dutto.pdf.

Ehrlich, James L. 2013. "Quantifying inter-group variability in lactation curve shape and magnitude with the MilkBot ® lactation model".
<https://doi.org/10.7717/peerj.54>.

Escurra, E., 2001. Situación de la ganadería lechera en Cajamarca. *Rev. investig. vet. Perú v. 12 n.2 Lima jul./dic.* , 2(12), pp. 21-26.

Espasandin, Ana C., Verónica Gutierrez, Alberto Casal, Ana Graña, Oscar Bentancur, y Mariana Carriquiry. 2016. "Modeling Lactation Curve in Primiparous Beef Cattle". *Journal of Agricultural Science* 8 (4): 116.
<https://doi.org/10.5539/jas.v8n4p116>.

Ferreira, Abílio G.T., Douglas S. Henrique, Ricardo A.M. Vieira, Emilyn M. Maeda, y Altair A. Valotto. 2015. "Fitting mathematical models to lactation curves from holstein cows in the southwestern region of the state of Parana, Brazil". *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87 (1): 503–18.
<https://doi.org/10.1590/0001-3765201520130514>.

Guerra Montenegro R, Hernández Rodríguez A y Menéndez Buxadera A 2018: Análisis de curvas de lactancia en vacas Holstein de la cuenca lechera de Chiriquí, República de Panamá. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 30, Article #65. Retrieved September 3, 2021, from <http://www.lrrd.org/lrrd30/4/rgue30065.html>

Gołebiewski, Marcin, Piotr Brzozowski, y Łukasz Gołebiewski. 2011. "Analysis of lactation curves, milk constituents, somatic cell count and urea in milk of cows by the mathematical model of wood". *Acta Veterinaria Brno* 80 (1):

073–080. <https://doi.org/10.2754/avb201180010073>.

- Huamán Quispe, Pedro, José Almeyda Matias, y Julio Isique Huaroma. 2018. “Modelación de la curva de lactación de vacas gir y cruces gir por holstein (f-1) en el trópico peruano”. *Anales Científicos* 79 (2): 511. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1263>.
- Jeretina, Janez, Drago Babnik, y Dejan Škorjanc. 2015. “Prediction of standard lactation curves for primiparous holstein cows by using corrected regression models”. *Italian Journal of Animal Science* 14 (4): 628–33. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3776>.
- Jhon Cañas, A., Mario Cerón-Muñoz, y A. Juan Corrales. 2011. “Modeling the lactation curves for milk, fat and protein yield of Holstein cattle in Antioquia, Colombia”. *Revista MVZ Cordoba* 16 (2): 2514–20.
- Jhon Cañas, A., Mario Cerón-Muñoz, y A. Juan Corrales. 2012. “Modelación y parámetros genéticos de curvas de lactancia en bovinos Holstein en Colombia”. *Revista MVZ Cordoba* 17 (2): 2998–3003. <https://doi.org/10.21897/rmvz.234>.
- Jingar, Suresh, R. K. Mehla, Mahendra Singh, y A. K. Roy. 2014. “Lactation Curve Pattern and Prediction of Milk Production Performance in Crossbred Cows”. *Journal of Veterinary Medicine* 2014: 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/814768>.
- Khalifa, M, A Hamrouni, y M Djemali. 2018. “The Estimation of Lactation Curve Parameters according to Season of Calving in Holstein Cows under North Africa Environmental Conditions: The case of Tunisia”. *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology* 50 (5): 3048–53.
- Khan, M. K.I., H. T. Blair, y N. Lopez-Villalobos. 2012. “Lactation curves of different cattle breeds under cooperative dairying conditions in Bangladesh”. *Journal of Applied Animal Research* 40 (3): 179–85. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.645039>.
- Kong, Ling Na, Jian Bin Li, Rong Ling Li, Xiu Xin Zhao, Ya Bin Ma, Shao Hua Sun, Jin Ming Huang, Zhi Hua Ju, Ming Hai Hou, y Ji Feng Zhong. 2018. “Estimation of 305-day milk yield from test-day records of Chinese Holstein cattle”. *Journal of Applied Animal Research* 46 (1): 791–97. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1403918>.
- Kopec, Tomáš, Gustav Chládek, Daniel Falta, Josef Kučera, Milan Večeřa, y Oto Hanuš. 2020. “The effect of extended lactation on parameters of Wood’s model of lactation curve in dairy Simmental cows”. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, núm. October.

<https://doi.org/10.5713/ajas.20.0347>.

Macciotta, N. P.P., D. Vicario, y A. Cappio-Borlino. 2005. "Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models". *Journal of Dairy Science* 88 (3): 1178–91. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72784-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72784-3).

Macciotta, Nicolò P.P., Corrado Dimauro, Salvatore P.G. Rasso, Roberto Steri, y Giuseppe Pulina. 2011. "The mathematical description of lactation curves in dairy cattle". *Italian Journal of Animal Science* 2011: 213–23. <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>.

María. A. Barreto¹, A. Gómez¹. 2018. "Modelación matemática para el comportamiento de lactancia en vacas F1 Cebú-Holstein en Zaragoza- Valle del Cauca."

Mario M. Osorio-Arcea, José C. Segura-Correab RESUMEN. 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): 127–37.

Melzer, N., S. Trißl, y G. Nürnberg. 2017. "Short communication: Estimating lactation curves for highly inhomogeneous milk yield data of an F 2 population (Charolais × German Holstein)". *Journal of Dairy Science* 100 (11): 9136–42. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12772>.

Mohanty, Barada Shankar, Med Ram Verma, Vijay Bahadur Sharma, y Pranab Kumar Roy. 2017. "CROSSBRED DAIRY COWS" 13 (2): 545–51.

Naderi, Yousef. 2018. "Appropriate mathematical models to describe the lactation curves of milk production traits of iranian holstein dairy cattle". *Acta Scientiarum - Animal Sciences* 40: 1–8. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.37895>.

Nanda, E. D., L. B. Salman, H. Indrijani, D. S. Tasripin, y A. Anang. 2019. "Comparison of Five Different Lactation Curve Models to Estimate Milk Yield of Friesian Holstein Cows at BBPTU HPT Baturraden". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 334 (1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/334/1/012004>.

NESTLÉ, 2020. Cajamarca la tierra ideal. *Nestlé, good food, Good Life*, Volumen 17, p. 02.

Oliveira, H. R., L. F. Brito, F. F. Silva, D. A.L. Lourenco, J. Jamrozik, y F. S. Schenkel. 2019. "Genomic prediction of lactation curves for milk, fat, protein, and somatic cell score in Holstein cattle". *Journal of Dairy Science* 102 (1):

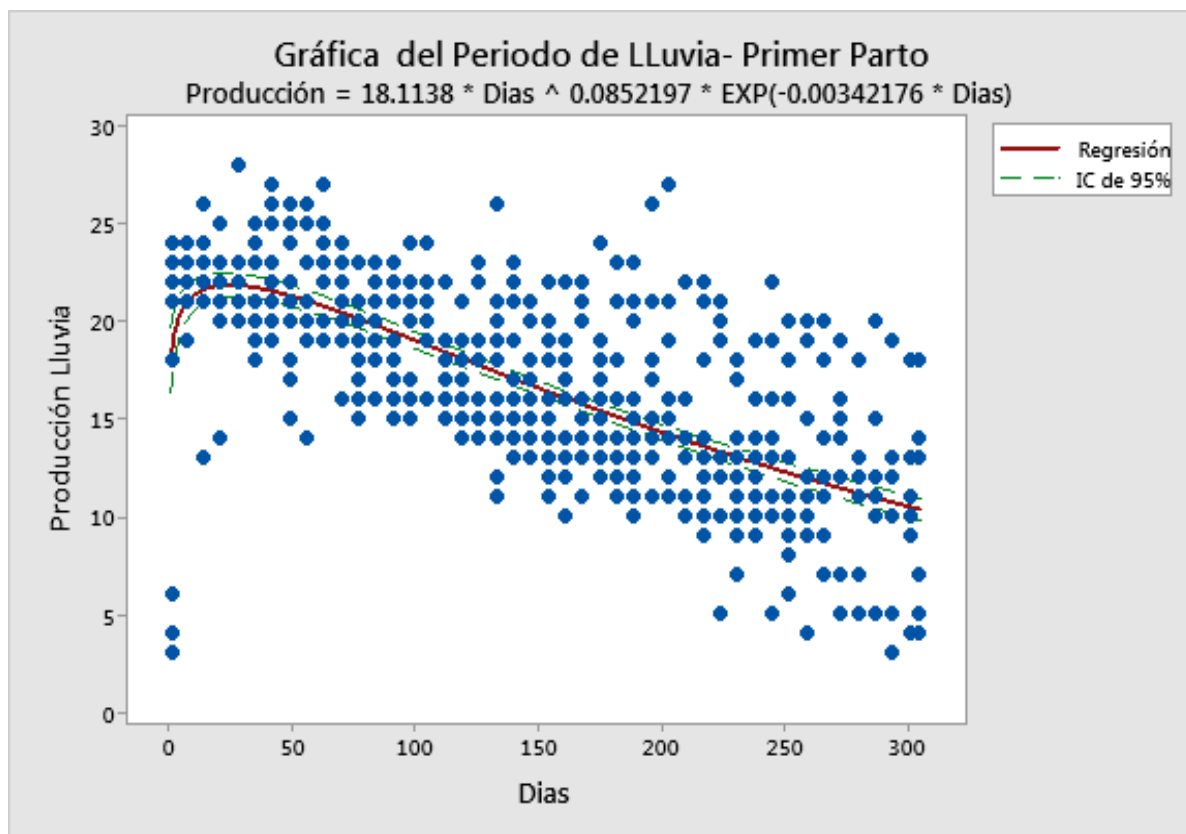
452–63. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15159>.

- Oliveira, Jhone Gleison de, Daniel Furtado Dardengo Sant'Anna, Matheus Celestiano Lourenço, Davi Simões Tavares Tavares, Marcelo Teixeira Rodrigues, Luis Orlando Tedeschi, y Ricardo Augusto Mendonça Vieira. 2020. "The geometry of the lactation curve based on Wood's equation: a two-step prediction". *Revista Brasileira de Zootecnia* 49 (October). <https://doi.org/10.37496/rbz4920200023>.
- Otwinowska-Mindur, Agnieszka, y Ewa Ptak. 2016. "Factors affecting the shape of lactation curves in Polish Holstein-Friesian cows". *Animal Science Papers and Reports* 34 (4): 373–86.
- Palacios-Espinosa, Alejandro, Joel Domínguez-Viveros, Yamariz Padrón-Quintero, Manuel Rodríguez Castro, Felipe Alonso Rodríguez-Almeida, José Luis Espinoza-Villavicencio, y Narciso Ysac Ávila-Serrano. 2016. "Caracterización de la curva de lactancia de bovinos Siboney con modelos no lineales mixtos". *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 7 (2): 233–42. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i2.4176>.
- Pérez P., Lucio, René Anrique G., y Humberto González V. 2007. "Factores no genéticos que afectan la producción y composición de la leche en un rebaño de pariciones de la décima Región de los Lagos, Chile". *Agricultura Técnica* 67 (1): 39–48. <https://doi.org/10.4067/s0365-28072007000100005>.
- Piccardi, Monica, Raúl Macchiavelli, Ariel Capitaine Funes, Gabriel A. Bó, y Mónica Balzarini. 2017. "Fitting milk production curves through nonlinear mixed models". *Journal of Dairy Research* 84 (2): 146–53. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000085>.
- Piedra, J, E Tapia, y N López. 2012. "Determinación del comportamiento de la curva de lactancia y producción lechera de ganado Holstein y Brown Swiss en el valle de Cajamarca- Perú". *Sirivis*, 1–23. http://veterinaria.unmsm.edu.pe/files/Determinacion_curva_tapia.pdf.
- Quintero, Juan, Jorge Serna, Naudín Hurtado Lugo, Ricardo Noguera Solano, y Mario Cerón Muñoz. 2007. "Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20 (2): 149–56.
- Quispe Coaquiera, J. y otros, 2016. Desempeño productivo de vacunos Brown Swiss en el altiplano peruano. *Revista de investigaciones Altoandinas*, 18(4), p. 11.
- Rodriguez, Luis, Miguel Ara, Héctor Huamán, y Luisa Echevarría. 2005. "Modelos de ajuste para curvas de lactacion de vacas en crianza intensiva

- en la cuenca de Lima”. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 16 (1): 1–12.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172005000100001.
- Ruiz, R., L. M. Oregui, y M. Herrero. 2000. “Comparison of models for describing the lactation curve of latxa sheep and an analysis of factors affecting milk yield”. *Journal of Dairy Science* 83 (11): 2709–19.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75165-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75165-4).
- Tekerli, M., Z. Akinci, I. Dogan, y A. Akcan. 2000. “Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir Province of Turkey”. *Journal of Dairy Science* 83 (6): 1381–86. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75006-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75006-5).
- Vargas, Oscar, Sergio Lasso, Jaime Gaitán, y Juan Corrales. 2016. “Modelación de curvas de lactancia para producción de leche por parto en vacas Holstein en Boyacá, Colombia”. *Revista Colombiana de Zootecnia* 2 (4): 13–20.
- Vasquez, A. 2017. “Curva de lactacion en ganado bovino lechero con modelos no lineales en un establo del valle de Huaura”. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3599/rubio-arias-pablo-giovanny.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Villalobos, Axel, Benigno Guerrero, Jessica Hassán, y Domiciano Herrera. 2016. “Curvas de lactación de bovinos mestizos pardo suizo en la región de Azuero”. *Ciencia Agropecuaria*, núm. 24: 103–10.
- Wetzel, Robert. 2017. “Efecto del mes de parto sobre la curva de lactancia en vacas a pastoreo con parto primaveral”. Universidad Austral de Chile.
- Weather Spark, 2021. El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cajamarca. Disponible desde:
<https://es.weatherspark.com/y/19956/Clima-promedio-en-Cajamarca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o> [Acceso 12 de setiembre de 2021]
- Wood, P. D P. 1969. “Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle”. *Animal Production* 11 (3): 307–16.
<https://doi.org/10.1017/S0003356100026945>.
- Zamorano A.R., Sánchez C.M.A., Leyva C.J.C., Luna N.P. 2018. “Componentes de la curva de lactancia en ganado Holstein con diferente número de partos y escenarios térmicos”.

ANEXOS

1. Gráfica de la curva de lactación de vacas de primer parto en la época de lluvia.



Falta de ajuste

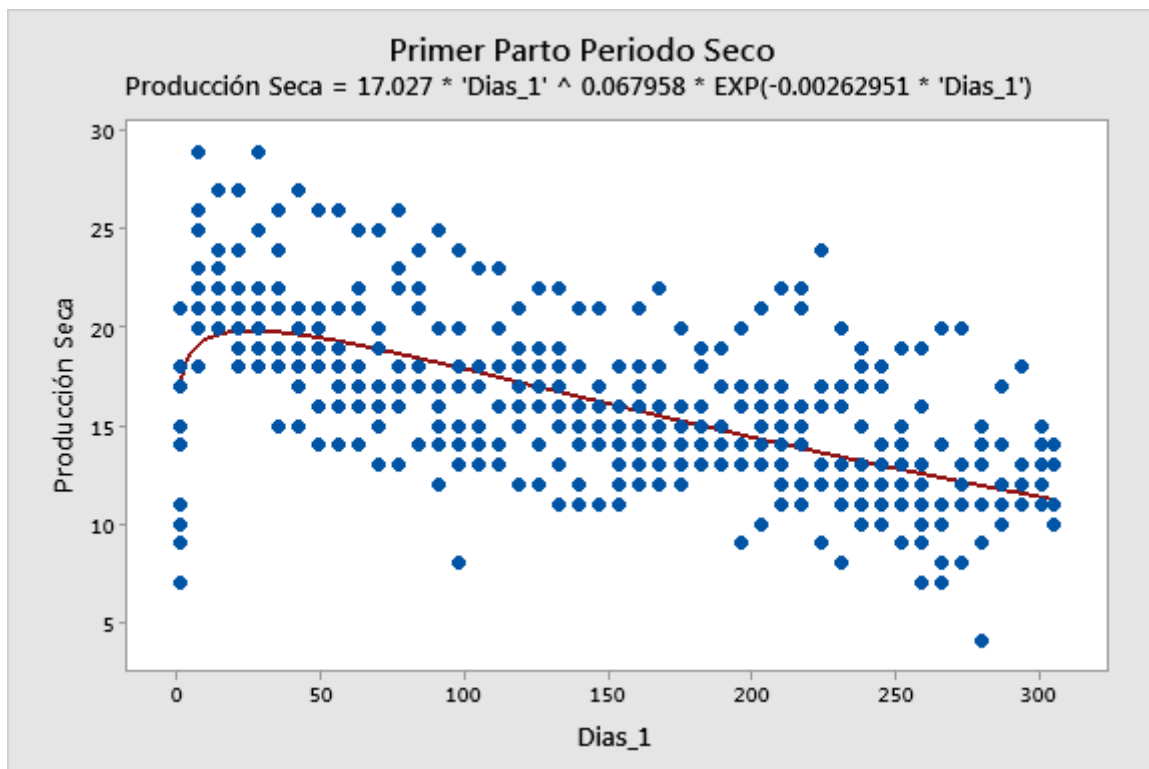
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Error	507	6693.52	13.2022		
Falta de ajuste	42	151.94	3.6176	0.26	1.000
Error puro	465	6541.58	14.0679		

Resumen

Iteraciones	6
SSE final	6693.52
DFE	507
MSE	13.2022
S	3.63348

2.

3. Gráfica de la curva de lactación de vacas de primer parto en la época seca.



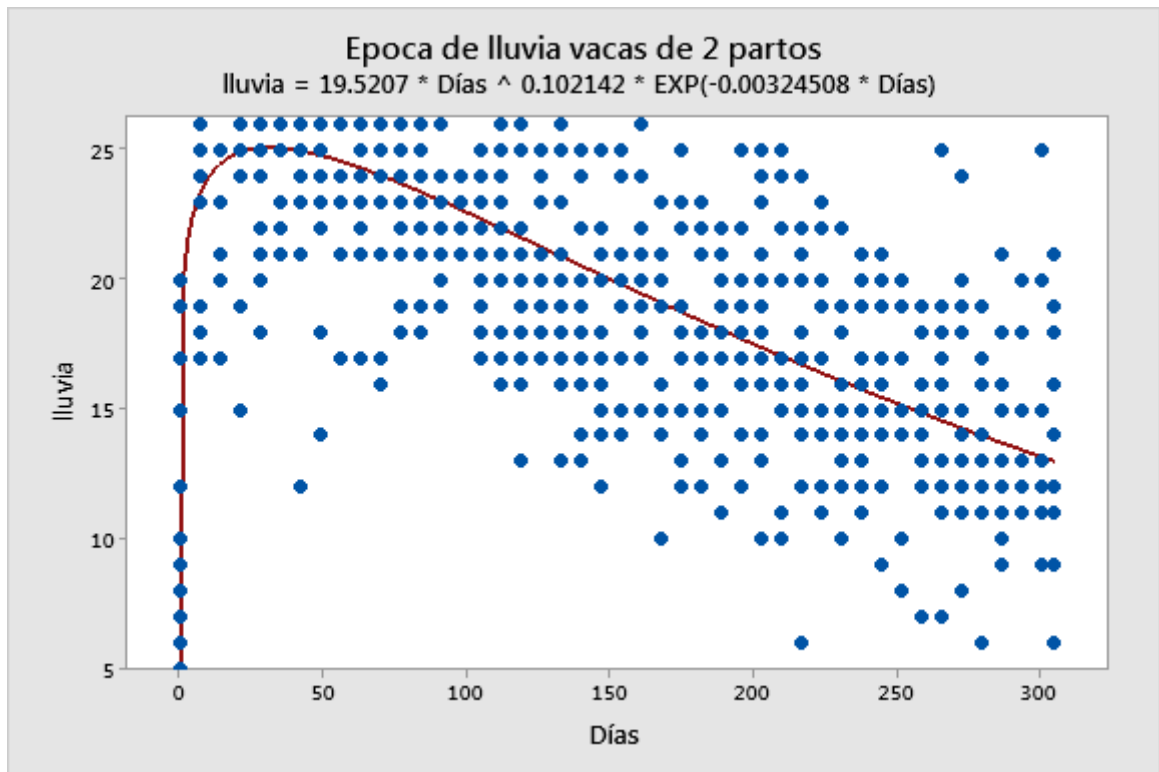
Falta de ajuste

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Error	425	4489.91	10.5645		
Falta de ajuste	42	599.87	14.2826	1.41	0.054
Error puro	383	3890.04	10.1568		

Resumen

Iteraciones	8
SSE final	4489.91
DFE	425
MSE	10.5645
S	3.25031

4. Gráfica de la curva de lactación de vacas de segundo parto en la época de lluvia.



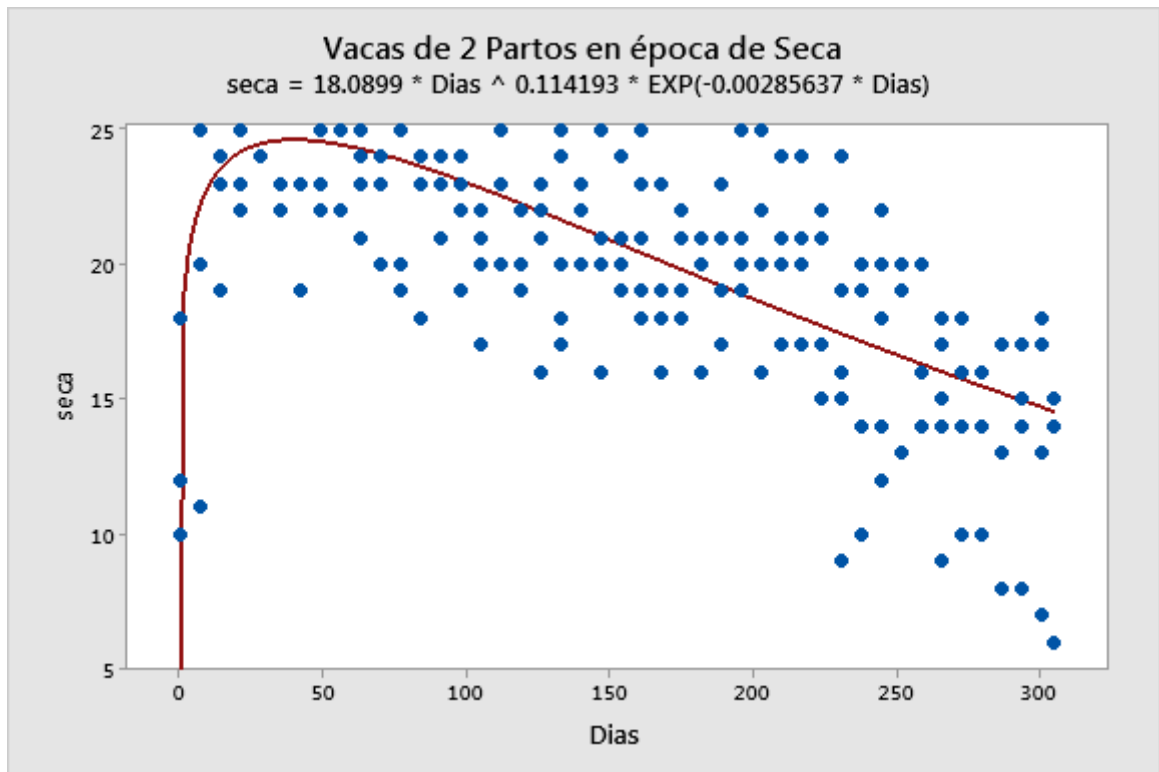
Falta de ajuste

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Error	622	9150.98	14.7122		
Falta de ajuste	41	147.31	3.5929	0.23	1.000
Error puro	581	9003.67	15.4968		

Resumen

Iteraciones	6
SSE final	9150.98
DFE	622
MSE	14.7122
S	3.83565

5. Gráfica de la curva de lactación de vacas de segundo parto en la época seca.



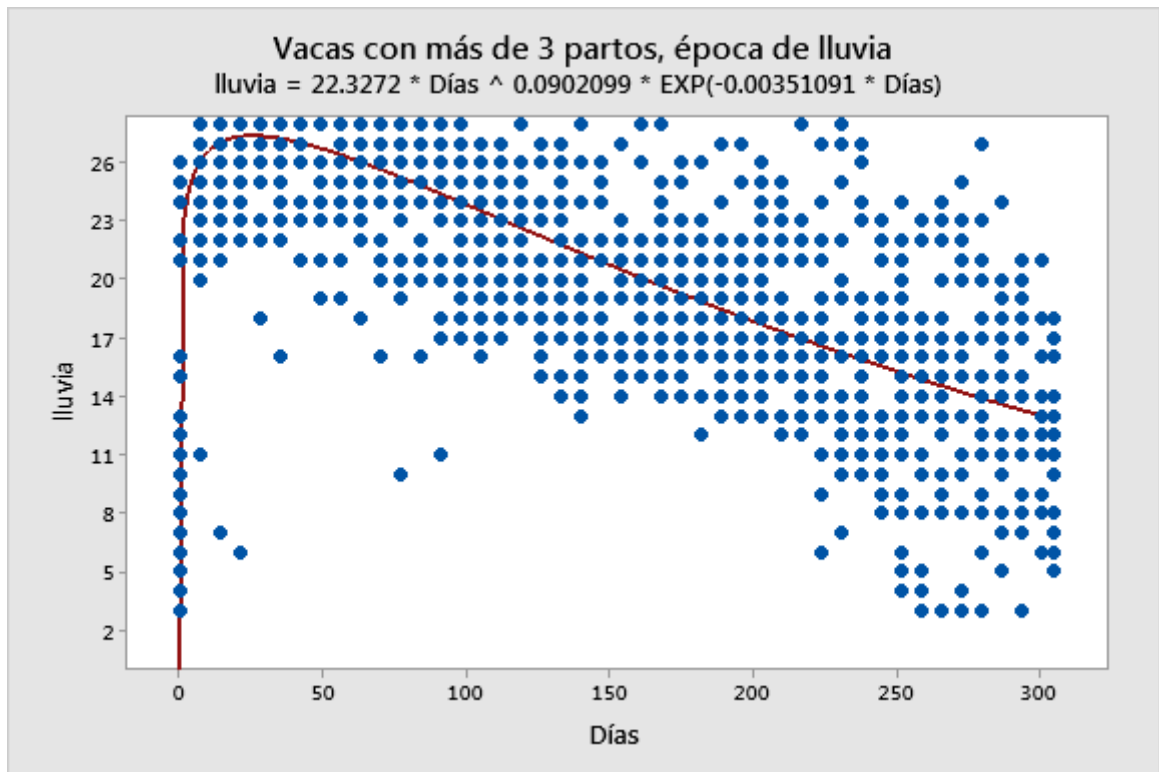
Falta de ajuste

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Error	212	2169.94	10.2355		
Falta de ajuste	41	284.44	6.9375	0.63	0.959
Error puro	171	1885.50	11.0263		

Resumen

Iteraciones	7
SSE final	2169.94
DFE	212
MSE	10.2355
S	3.19930

6. Gráfica de la curva de lactación de vacas de tres partos a más en la época de lluvia.



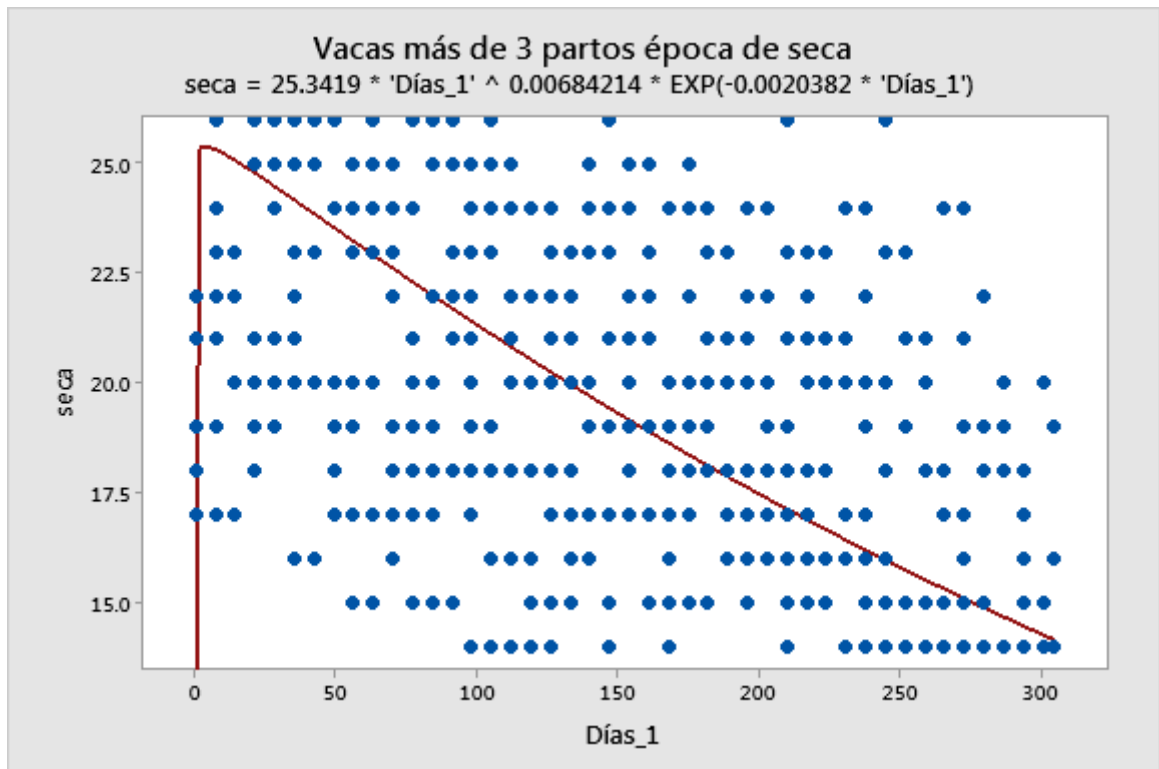
Falta de ajuste

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Error	1099	20938.2	19.0520		
Falta de ajuste	41	276.6	6.7461	0.35	1.000
Error puro	1058	20661.6	19.5289		

Resumen

Iteraciones	6
SSE final	20938.2
DFE	1099
MSE	19.0520
S	4.36486

7. Gráfica de la curva de lactación de vacas de tres partos a más en la época seca.



Falta de ajuste

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Error	569	10670.8	18.7536		
Falta de ajuste	41	385.9	9.4129	0.48	0.997
Error puro	528	10284.9	19.4789		

Resumen

Iteraciones	7
SSE final	10670.8
DFE	569
MSE	18.7536
S	4.33054