



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA**

**Análisis del comportamiento de curvas de lactancia típicas de diferentes cruces  
raciales de bovinos de leche en condiciones de Trópico Húmedo**

***MAGISTER SCIENTIAE***

**AGROFORESTERÍA Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**Rony Yoxer Aguilar Villarreal**

**Turrialba, Costa Rica**

**Septiembre, 2021**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y  
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**FIRMANTES:**



---

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
**Director de tesis**



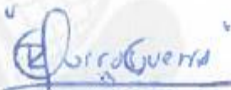
---

Danilo Pezo Quevedo, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Cristóbal Villanueva Najarro, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
**Decano, Escuela de Posgrado**



---

Rony Yoxer Aguilar Villarreal  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia, en especial, a mi esposa Lineth Beitia y a mis hijos, Rachelle Aguilar y Radesh Aguilar, quienes todos los días estaban pendientes de mí, dándome ánimos para seguir adelante con mis estudios de maestría, siendo mi más grande inspiración para seguir superándome.

Este trabajo también está dedicado a esas personas que creen en el poder del esfuerzo y de la perseverancia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, ante todo.

A mis patrocinadores de beca IFARHU-SENACYT.

Al IDIAP, por darme la oportunidad de avanzar en mis estudios de posgrado.

A mi familia por el apoyo incondicional

A mis profesores de maestría de quienes pude aprovechar parte de sus conocimientos.

Al Dr. Carlos León Velarde por sus grandes aportes a esta investigación.

A todos los miembros de mi comité de tesis, que fueron excelentes asesores, en especial, el Dr. Roberto Quiroz por guiarme en este mundo de la investigación, el cual es bien complejo, pero sin embargo pude asimilar y aumentar mis conocimientos.

A los profesores Fernando Casanoves, Sergio Vilches y Eduardo Corrales por el apoyo en la conceptualización y el análisis estadístico de los datos.

## Tabla de contenido

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv
<b>Resumen</b> .....	vi
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Materiales y métodos</b> .....	3
<b>2.1 Zona de estudio</b> .....	3
<b>2.2 Manejo</b> .....	4
<b>2.3 Datos</b> .....	4
<b>2.4 Modelo para describir la lactancia</b> .....	5
<b>2.5 Preprocesamiento</b> .....	6
<b>2.6 Análisis estadístico</b> .....	6
<b>3. Resultados</b> .....	8
<b>3.1 Parámetros que describen la curva de lactancia</b> .....	8
<b>3.2 Variables asociadas con la producción de leche</b> .....	9
<b>4. Discusión</b> .....	11
<b>5. Conclusión y recomendaciones</b> .....	14
<b>6. Bibliografía</b> .....	15
<b>7. Anexos</b> .....	18
<b>Anexo 1.</b> Parámetros estimados para las curvas de lactancia por raza, animal y lactancia. ...	18
<b>Anexo 2.</b> Variables que describen el comportamiento productivo, estimados con los parámetros de las curvas de lactancia por raza, animal y lactancia.....	20
<b>Anexo 3.</b> Finca comercial de CATIE.....	22

## **Análisis del comportamiento de curvas de lactancia típicas de diferentes cruces raciales de bovinos de leche en condiciones de trópico húmedo**

### **Resumen**

El objetivo de esta investigación es modelar y cuantificar el comportamiento productivo de diferentes cruces raciales en el trópico, producto del cruzamiento rotacional entre razas de ganado lechero, en el SSP establecido en la lechería del CATIE en Turrialba, Costa Rica. Se evalúan nueve grupos raciales utilizando la función Gamma incompleta propuesta por Wood (1967). Se estiman diferentes parámetros que describen la curva de lactancia: (a) parámetro de escala asociado con el rendimiento máximo, (b) pendiente creciente, y (c) pendiente decreciente. A partir de estos parámetros se derivan las siguientes variables de importancia económica: tiempo al pico de lactancia ( $T_m$ ), rendimiento al pico de lactancia ( $Y_m$ ), largo de lactancia (LL), producción por lactancia total (PLT), producción diaria (PLD), producción por lactancia de 305 días (PL305D), y persistencia. Estas variables permiten comparar diferentes tendencias en el rendimiento de los diferentes grupos raciales. El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat; se estimaron las medias, los errores estándares de las medias y significancias preestablecidas en un nivel de probabilidad del 95 %. Las razas se identifican basándose en las siguientes nomenclaturas: J=Jersey, Gy= Gyr, S= Sahiwal, SN= Senepol, SR= Sueco Rojo, H= Holstein. El triple cruce Hx(JxS) y las F1 JxSR y GYxJ son los que producen en promedio más de 16 kg día<sup>-1</sup> en lactancia. La F1 GYxJ mostró el más alto rendimiento al pico de lactancia ( $P<0.05$ ) con 25 kg día<sup>-1</sup>. Los cruces JxSN y JxS produjeron 20 kg día<sup>-1</sup> al pico de lactancia y con una persistencia baja ( $>0.95\%$ ) resultando en los rendimientos de leche más bajos entre los grupos raciales evaluados ( $P<0.05$ ). La lactancia más larga (LL) fue 326 días presentada por el cruce JxSR ( $P<0.05$ ), y la lactancia más corta ( $P<0.05$ ) fue de 230 días para el cruce JxS. El F1 JxSR produjo 5643 kg de leche y fue la producción de leche por lactancia más alta ( $P<0.05$ ); en cambio, la producción más baja ( $P<0.05$ ) fue para la F1 JxS con 3497 kg por lactancia. El triple cruce Hx(JxSN) y el F1 JxSR mostraron muy buenos rendimientos al pico de lactancia y persistencia moderada ( $< 0.95\%$ ), con un descenso en la producción de leche suave y regulado. Las variables de rendimiento al pico de lactancia y persistencia, derivadas de los parámetros de las curvas de lactancia, fueron las más determinantes de la producción de leche total y por día. Los valores obtenidos para esos parámetros en las primeras lactancias ameritan ser evaluados como atributos para la selección de vacas con mayor potencial de producción.

**Palabras claves:** cruce racial, parámetros, modelos biomatemáticos, tiempo al pico de lactancia, rendimiento al pico de lactancia, adaptabilidad, persistencia.

**Analysis of the behavior of typical lactation curves of different breed crosses of dairy cattle under humid tropic conditions**  
**Rony Aguilar**

**Abstract**

This research aimed to model and assess the productive behavior of different rotational crossings among dairy cattle breeds in the tropics in the silvopastoral system established in CATIE's dairy in Turrialba, Costa Rica. Nine breed crosses were evaluated using the incomplete Gamma function proposed by Wood (1967). Different parameters that describe the lactation curve were estimated: (a) scale parameter associated with maximum yield, (b) increasing slope, and (c) decreasing slope. From these parameters, the following economically important variables were derived: time to peak lactation ( $T_m$ ), yield to peak lactation ( $Y_m$ ), lactation length (LL), production per total lactation (PLT), daily production (PLD), 305 days lactation production (PL305D), and persistence. These variables allowed for the comparison of different trends in the performance of evaluated breed crosses. Statistical analyses were performed with the software InfoStat. The means and respective standard errors were estimated at a pre-established significance probability level of 95%. Breed crosses are identified based on the following nomenclatures: J = Jersey, Gy = Gyr, S = Sahiwal, SN = Senepol, SR = Red Swedish, H = Holstein. The triple cross Hx(JxS) and the F1 JxSR, and GYxJ produced more than 16 kg d<sup>-1</sup>. The F1 GYxJ resulted in 25 kg d<sup>-1</sup>, the highest yield at the peak of lactation ( $P < 0.05$ ). The crosses JxSN and JxS yielded 20 kg d<sup>-1</sup> at the lactation peak and showed a low persistence ( $P > 0.05\%$ ), resulting in the lowest yields of the evaluated breed crosses ( $P < 0.05$ ). The longest lactation (LL) was 326 d presented by the JxSR cross ( $P < 0.05$ ), and the shortest lactation ( $P < 0.05$ ) was 230 days presented by the JxS cross. The cross F1 JxSR obtained 5643 kg of milk, the highest milk production per total lactation ( $P < 0.05$ ), and the lowest ( $P < 0.05$ ) production was for the F1 JxS with 3497 kg. The triple cross Hx(JxSN) and the F1 JxSR showed excellent yields at the lactation peak and moderate persistence ( $< 0.05\%$ ), with a smooth and regulated decrease. The variables yield at the lactation peak and persistence, derived from the parameters of the lactation curves, were the most determining factors in total milk production and per day. These traits merit further assessment to see whether they can be used for an early selection of higher-producing cows.

**Keywords:** racial crosses, parameters, biomathematical models, time to lactation peak, performance at lactation peak, adaptability, persistence.

## 1. Introducción

A nivel global, la producción de leche bovina constituye un aporte importante a la nutrición de la humanidad (IDF 2019). En el 2019 se produjeron 881 millones de toneladas de leche, y la demanda aumenta cada año, teniendo en cuenta que más del 80% de la población mundial, o alrededor de 6 mil millones de personas, consumen regularmente leche fluida u otros productos lácteos. Según las proyecciones de OCDE/FAO (2020), la producción mundial de leche aumentará a una tasa de 1.6% al año, y debe llegar a 997 millones de toneladas en el 2029. Esta proyección implica que la tasa de crecimiento esperada para este rubro será mayor que para la mayoría de productos agropecuarios básicos.

Los bovinos aportan el 81% de la producción de leche en el mundo, equivalente a 714 millones de toneladas (IDF 2019). Los países de las zonas templadas producen más del 56 % de la producción láctea global y con apenas un 5.4% de las vacas en producción (Montero 2013). Los países asiáticos son los líderes de la producción actual de leche bovina en el mundo, con 32 % de las 881 toneladas reportadas (IDF 2019). Esto se logró gracias a que China planificó que su producción de leche aumentaría rápidamente con tasas de 6.5% anual, utilizando incentivos e inversiones para los productores como estrategia para mejorar la sanidad y calidad de la leche. Además, propusieron impulsar alrededor de 100 explotaciones nuevas entre los años 2013 y 2018 con al menos un total de 822 000 vacas.

En América, se estima una producción de 140 millones de toneladas de leche, lo cual representa el 25% de la producción mundial, en donde América Latina aportaba 53 millones de toneladas según análisis del año 2000 al 2009, y el resto corresponde a Estados Unidos y Canadá. América Latina se propuso aumentar la producción de leche de 78,7 millones de toneladas en 2011 a un total de 93,8 millones para el 2020, con crecimiento estimado del 20%. Este incremento debería estar basado en la optimización de sistemas más productivos, el mejoramiento sanitario, una nutrición eficiente y la aplicación de programas de mejoramiento genético (FAOSTAT 2013).

Los países centroamericanos, según FAO (2012), producen 16.6 millones de toneladas y tuvieron un consumo promedio de leche de 98 kg per cápita año<sup>-1</sup> en el 2009. Este valor es inferior al observado en otras regiones del mundo; por ejemplo: Sur América (130 kg), Oceanía (178 kg), Europa (219 kg) y Norteamérica (250 kg). Cabe resaltar que existen variaciones del consumo dentro de la región; como los niveles de consumo más altos en Costa Rica (178 kg), El Salvador (128 kg) y Honduras (105 kg); y un menor consumo en Nicaragua (79 kg), Panamá (69 kg), y Guatemala (49 kg). No obstante, en los últimos años se ha reportado un crecimiento promedio en el consumo de leche de 1.2% anual a nivel de Centro América. Notablemente, el mayor incremento lo obtuvo El Salvador (3%), y para los otros países de la región, la tasa de crecimiento fue cercana al 1%, entre los años 2000 a 2009 (FAOSTAT. 2013). En América Latina, sólo Uruguay, Argentina y Costa Rica son considerados autosuficientes en producción de leche (Loyola 2000).

En Centro América, la actividad pecuaria enfrenta graves problemas en cuanto a sostenibilidad y producción, ya que la misma no cubre las demandas de leche de la mayoría de los países; por ejemplo, Panamá produce 195 millones de litros de leche y el mercado nacional demanda 300 millones de litros anualmente (Guevara 2012), en lo que



las importaciones de leche son necesarias. Por tanto, se requieren de tecnologías y genotipos apropiados para obtener mayores rendimientos con adecuada rentabilidad, en las condiciones del trópico.

Aunque la disponibilidad total de forraje, a lo largo del año, es promisoría para la producción de leche en muchas zonas tropicales, pero hay una variación estacional importante, la cual se está exacerbando con el cambio climático (Núñez-Domínguez *et al.*, 2016). Por otro lado, en general, la calidad nutritiva es limitada, pero además a las razas especializadas en producción de leche de origen europeo se les dificulta la adaptación, debido a las altas temperaturas que provocan estrés por calor.

Entre los factores que limitan la producción de leche en el trópico se puede mencionar que las razas tolerantes al calor son de menor potencial productivo, tanto en producción de leche como en ganancia de peso vivo. Hablando específicamente de Centro América, el incremento de la producción de leche estuvo acompañado con la utilización de razas de ganado lechero de origen europeo, pero sobre todo en condiciones de trópico de altura. Las razas más utilizadas son Jersey, Holstein, Pardo Suizo y los cruces entre ellas (Steinfeld 2002). Los productores de leche en las zonas bajas del trópico han optado por cruces de estas razas europeas lecheras, con razas cebuinas existentes en la zona como Gyr, o con ganado criollo con potencial lechero, como el Reyna, Lucerna, Costeño con Cuernos, entre otros; buscando rusticidad, adaptabilidad, productividad y longevidad en las condiciones que existen en el trópico (Huaman *et al.* 2018).

Las razas bovinas cumplen con diferentes características esenciales para su desarrollo y mantenimiento, una de ellas es la adaptación. Por esta razón, en los trópicos se han experimentado cruces entre razas *Bos taurus* y *Bos indicus* para el mejoramiento genético; los cuales han proporcionado a los bovinos adaptabilidad en lugares con condiciones ambientales más difíciles (Hansen y Aréchiga, 1999; Madalena *et al.*, 1990; McGlothen *et al.*, 1995). Para enfrentar el problema de baja producción y mejorar la eficiencia bio-económica de los bovinos de leche en el trópico, se utilizan tres estrategias principales: 1) uso de sistemas de cruzamiento entre razas de animales *Bos taurus* con *Bos indicus*, para elevar la tolerancia al calor y mejorar, hasta cierto grado, la eficiencia productiva y reproductiva, especialmente cuando el nivel de sangre *Bos taurus* está ligeramente por debajo del 62.5 % (Olsen 1999), 2) alterar el ambiente para reducir la magnitud del estrés calórico por medio de la utilización de ventiladores y micro aspersores; llamado también ambiente controlado, el cual permite que el ganado exprese su potencial genético, 3) mejorar el confort térmico del ambiente en potreros por medio de sistemas silvopastoriles (SSP) que son los sistemas por excelencia utilizados en el trópico (Ibrahim *et al.* 2007).

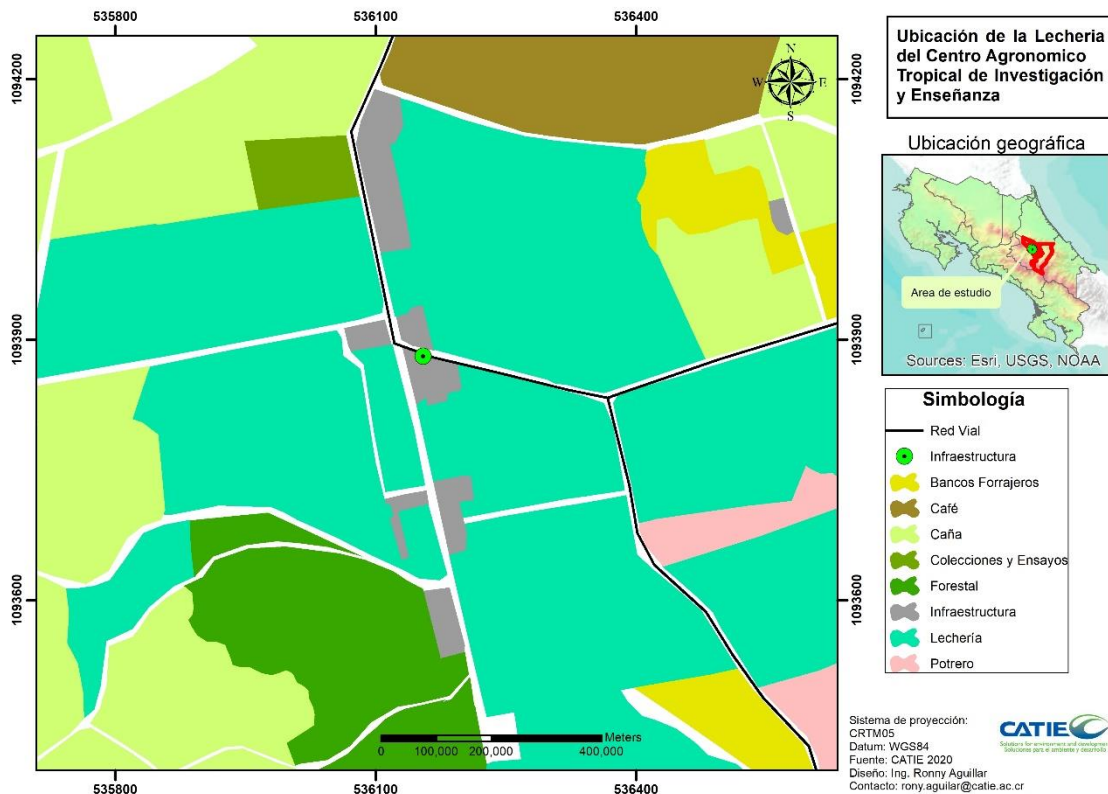
El CATIE ha implementado las estrategias 1 y 3 en su lechería, pero el desempeño de estas intervenciones requiere de una evaluación cuantitativa rigurosa de la eficiencia productiva y de adaptación de diferentes grupos raciales. El potencial productivo lechero se evalúa determinando parámetros asociados con la producción como el rendimiento por lactancia, al pico de lactancia y la persistencia. Para obtener estos parámetros se utiliza la modelación de las mediciones de producción en el tiempo, o curvas de lactancia. El registro de datos biológicos, específicamente, la producción de leche y el día de pesaje en el transcurso de la lactancia es fundamental para describir las curvas de lactancia

expresadas en función de los tres parámetros antes citados (Nasri *et al.* 2008). La estimación de esos parámetros de producción de leche con las ecuaciones apropiadas, debe permitir evaluar la producción en cualquier etapa de la lactancia (France y Thornley, 1984). La representación matemática de la producción de leche en función del tiempo representa una de las aplicaciones más exitosas de la modelación matemática en la agricultura (Bouallegue *et al.* 2020). Estos modelos proporcionan información resumida, que es útil para hacer gestiones administrativas y tomar decisiones en cualquier explotación lechera, incluyendo aquellas en zonas tropicales.

En el presente estudio se compara el comportamiento productivo de nueve grupos raciales producto de cruzamientos en la Lechería Comercial del CATIE. Esta comparación se realiza a través de los parámetros que describen la relación entre la producción láctea en el tiempo y las variables que se derivan de la modelación de las curvas de lactancia.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Zona de estudio



**Figura 1.** Ubicación del área de lechería del CATIE

La investigación se desarrolla con datos de la Lechería Comercial del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), localizada en el Cantón de Turrialba, Provincia de Cartago, a  $9^{\circ}53'34''$  de latitud norte y  $83^{\circ}40'38''$  de longitud oeste, a una altitud de 600 msnm. La precipitación promedio anual es de 2700 mm, con temperatura media promedio de  $22.9^{\circ}$ ; la humedad relativa promedio en época seca y lluviosa es de 87% y 90%, respectivamente. Los suelos son del Orden inceptisol, con textura variable entre franco arenoso, franco a franco limoso.

## 2.2 Manejo

Se mantienen 150 vacas en ordeño más vacas secas y novillas para remplazos en potreros y cuyo sistema silvopastoril predominante son las cercas vivas con *Erythrina fusca*. Los pastos más comunes son: Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), Brizantha (*Urochloa brizantha*), Mombaza (*Megathyrsus maximus*), Ratana (*Ischaemum indicum*) y Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) (Cuadro 1). La carga animal oscila entre 6 y 7 unidades animales por hectárea según la época y pastorean 1 día por potrero, el descanso de los potreros oscila entre 24 a 28 días. Las vacas son suplementadas con minerales y concentrados a base de granos en una relación de 1 kg de concentrado por cada 3.5 kg de leche, con un tope máximo de 8 kg. El concentrado utilizado tiene 87% de materia seca, 3400 kcal EM kg<sup>-1</sup> MS y 16% de proteína cruda.

**Cuadro 1.** Análisis bromatológico de pastos muestreados en la lechería de CATIE.

Pasto	% Mat. Seca	% Ceniza	% Ext. Etér	% FAD	% FND	% Lignina	% Proteína
Mombasa	25.2	15.2	2.9	41.3	62.9	5.4	14.5
Ratana	24.4	13.5	2.7	43.2	63.3	8.2	12.6
Toledo	28.5	10.6	3.1	47.4	71.5	6.6	8.2
Brizantha	31.8	11.3	3.4	43.7	68.6	6.3	8.0
Estrella	21.3	6.3	3.3	43.5	69.3	8.1	14.0

Realizado el 5 de julio del 2021 (período con buena precipitación).

## 2.3 Datos

La metodología usada se resume en la Figura 2. Se consideraron todos los datos del hato lechero del CATIE, registrados en el periodo 1995 – 2020. Se creó una versión de lectura del Software VAMPP Bovino, adaptado y validado por CRIPAS (Zúñiga *et al.* 2019), para extraer la información requerida respecto a las siguientes variables: identificación de los animales, raza, intervalo entre partos, días en seca, número de lactancia, largo de lactancia, pesajes quincenales de leche y días específicos en que se pesó la leche. Luego se hizo una depuración de la información.

El primer descarte se realizó para los datos discontinuos e incompletos. Posteriormente, se realizó un análisis descriptivo de la contribución porcentual de cada raza. El descarte por porcentaje racial se hizo en base a una definición *a priori*, dando prioridad a: las razas puras = (100% de una sola raza), los cruces F1= (50% raza 1 50% raza 2) y triple cruce = (50% raza 1, 25 % raza 2, y 25 % raza 3). Un criterio adicional para la selección de grupos raciales (Cuadro 2) fue un número mínimo de animales dentro del grupo racial, descartando aquellos grupos con menos de siete vacas.

Además, cada vaca seleccionada debía tener registros de al menos tres lactancias completas. Aunque se analizaron todas las curvas de lactancia para las vacas seleccionadas, para el análisis comparativo entre razas sólo se incluyeron las tres primeras lactancias de cada animal.

**Cuadro 2.** Grupos raciales considerados en el estudio.

<b>Código</b>	<b>Porcentaje racial</b>
J	100% Jersey
GYxJ	50% Gyr 50% Jersey
JxS	50% Jersey 50% Sahiwal
JxSN	50% Jersey 50% Senepol
HxS	50% Holstein 50% Sahiwal
JxSR	50% Jersey 50% Sueco Rojo
Hx(JxS)	50% Holstein 25% Jersey 25% Sahiwal
Jx(HxS)	50% Jersey 25% Holstein 25% Sahiwal
Hx(JxSN)	50% Holstein 25% Jersey 25% Senepol

**Razas:** J=Jersey, Gy= Gyr, S= Sahiwal, SN= Senepol, SR= Sueco Rojo, H= Holstein.

Las variables Intervalo Parto Concepción (IPC) y Días en Seca (DS) se obtuvieron de los registros para su posterior análisis estadístico y para ser usados como covariables en la comparación de la producción de leche entre los grupos raciales evaluados.

#### **2.4 Modelo para describir la lactancia**

Con la base de datos depurada, conteniendo registros quincenales de pesaje de leche para cada animal seleccionado, se procedió a estimar los parámetros que describen las curvas de lactancia, con la función Gamma incompleta (Wood, 1967; León-Velarde et al., 1995).

$$y = at^b \exp^{-ct}$$

Donde:

- (y) es el rendimiento diario,
- (t) es el tiempo o periodo de lactancia en días,
- (a) es un parámetro de escala asociado con el rendimiento al pico de lactancia,
- (b) representa la pendiente creciente,
- (c) la pendiente decreciente.

Los datos se corrieron tanto en el Software InfoStat como en SAS Proc. NLIN con el método de Marquardt. Ambos paquetes estadísticos arrojaron los mismos resultados para la estimación de los parámetros a, b, y c.

## 2.5 Preprocesamiento

La estimación de las variables que describen la producción de leche se basó en derivaciones de los parámetros estimados por el modelo de Wood (Wood, 1967; León-Velarde, *et al.*, 1995; Bretschneider *et al.*, 2015; Vargas y Ulloa, 2008; Fathi Nasri *et al.*, 2008; Cañas *et al.* 2011, 2012).

Estas variables incluyeron:

- Tiempo al pico de lactancia  $T_m = b/c$ .
- Rendimiento al pico de lactancia  $Y_m = a (b/c)^b \exp^{-b}$ .

Largo de lactancia LL= específicamente cuantos días la vaca estuvo en ordeño.

- Producción lactancia total  $PLT = \left(\frac{a}{c^{b+1}}\right) * \Upsilon(b + 1, c * LL)$ .
- Producción lactancia a los 305 días =  $\left(\frac{a}{c^{b+1}}\right) * \Upsilon(b + 1, c * 305)$
- Producción de lactancia diaria  $PLD = (PLT/LL)$ .
- Persistencia =  $(b+1) * \ln(c) * 100$

Para describir la constante de integración de la función gamma incompleta, primero, se derivó el parámetro  $b+1$  y se definió el tiempo entre el día 1 y el final de la lactancia o a los 305 días. Luego se usó la aplicación: *Keisan Useful Calculators*, en donde se ingresó el valor del parámetro  $(b + 1)$  en el primer cuadro identificado por la letra (a), y el valor del parámetro (c) multiplicado por los días de lactancia a ser incluidos en la integración (305 días o LL) en el cuadro identificado por la letra (x) para estimar el coeficiente gamma ( $\Upsilon$ ). Siguiendo la ecuación descrita anteriormente para la estimación de la producción por lactancia, usando el coeficiente gamma, se estimaron las producciones por lactancia total o PLT (desde la parición hasta el secado de la vaca) y la producción por lactancias de 305 d. La producción de leche diaria se obtuvo dividiendo PLT entre el largo de la lactancia (LL).

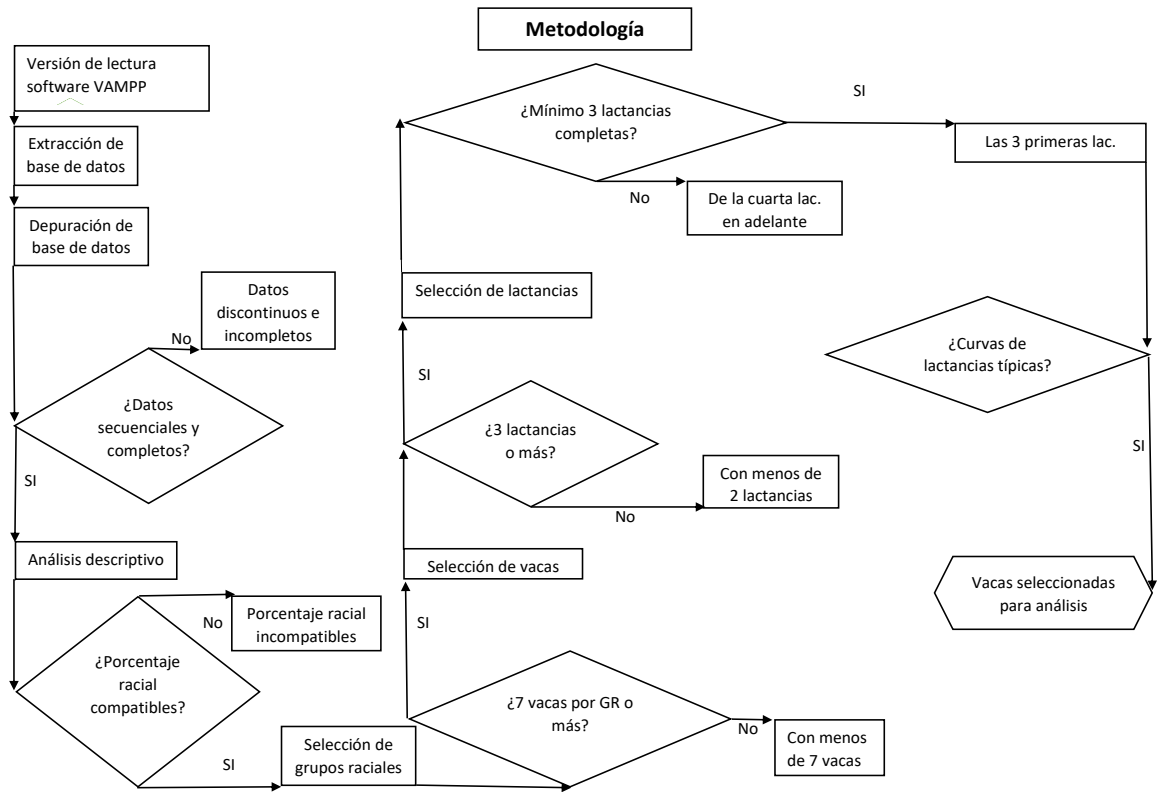
## 2.6 Análisis estadístico

Una vez ajustado el modelo de Wood (1967), la estimación de los parámetros y los cálculos de rendimiento, se utilizó el modelo de regresión no lineal mixto, tomando en cuenta el efecto aleatorio vaca, sobre los diferentes parámetros del modelo.

Para la selección del mejor modelo se usó los criterios de Akaike (AIC), Bayesianos (BIC) basados en verosimilitud y el estimador REML para seleccionar la estructura de covarianza (Kok *et al.*, 2016).

El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat y se estimaron las medias, los errores estándares de las medias y significancias preestablecidas en un nivel de probabilidad del 95 % (Remik *et al.*, 2020). La comparación entre medias se hizo por medio de la prueba de LSD de Fisher.

1. <https://www.infostat.com.ar/>
2. <https://keisan.casio.com/exec/system/1180573447/>



**Figura 2.** Diagrama de flujo de descripción del proceso metodológico

### 3. Resultados

#### 3.1 Parámetros que describen la curva de lactancia

Se estimaron diferentes parámetros, que describen la curva de lactancia de nueve razas lecheras evaluadas en la lechería del CATIE, que opera bajo las condiciones de trópico húmedo. Los parámetros estimados por el modelo propuesto por Wood (1967) se asocian con rasgos biofísicos de la producción de leche en función del tiempo: (a) es un parámetro de escala asociado con el rendimiento máximo, (b) representa la pendiente creciente, y (c) la pendiente decreciente.

El cruce F1 HxS obtuvo el valor numérico más alto del parámetro de escala asociado con la producción en el pico de lactancia (a). Por otro lado, los menores valores para este parámetro (a) fueron registrados para la Jersey pura y el triple cruce JxHxS. No hubo diferencia significativa entre los grupos raciales ( $P>0.05$ ).

Para el parámetro (b), el valor más alto lo presentó el triple cruce Jx(HxS) ( $P<0.05$ ). En el caso del parámetro asociado con la persistencia (c), el valor más alto es decir la caída más abrupta de la producción después del pico de lactancia lo registró el cruce JxS ( $P<0.05$ ) y los valores menores ( $P<0.05$ ), lo registraron los siguientes cruces: GYxJ, Hx(JxS), Hx(JxSN), HxS, J, Jx(HxS), JxSN, JxSR (Cuadro 3). Para una mejor descripción visual de los parámetros en las curvas de lactancia por grupo racial observar la Figura 3.

**Cuadro 3.** Medias y error estándar de la media (valor en paréntesis) de los parámetros estimados con el modelo de Wood (1967) para las curvas de lactancia de nueve cruces bovinos lecheros evaluadas en condiciones de Turrialba, Costa Rica.

<b>Grupo Racial</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c*</b>
GYxJ	10.68 (1.41) <sup>a</sup>	0.29 (0.05) <sup>a,b</sup>	71 (1.0) <sup>a,b</sup>
Hx(JxS)	10.99 (0.96) <sup>a</sup>	0.30 (0.04) <sup>a,b</sup>	65 (6.8) <sup>b</sup>
Hx(JxSN)	11.11 (0.89) <sup>a</sup>	0.25 (0.03) <sup>a,b</sup>	55 (6.3) <sup>b</sup>
HxS	12.71 (1.30) <sup>a</sup>	0.24 (0.05) <sup>a,b</sup>	77 (9.2) <sup>a,b</sup>
J	10.47 (1.09) <sup>a</sup>	0.24 (0.04) <sup>a,b</sup>	51 (7.7) <sup>b</sup>
Jx(HxS)	10.11 (0.81) <sup>a</sup>	0.33 (0.03) <sup>a</sup>	72 (5.8) <sup>a,b</sup>
JxS	10.75 (1.41) <sup>a</sup>	0.30 (0.04) <sup>a,b</sup>	96 (7.4) <sup>a</sup>
JxSN	10.84 (1.09) <sup>a</sup>	0.26 (0.04) <sup>a,b</sup>	77 (7.7) <sup>a,b</sup>
JxSR	11.58 (1.15) <sup>a</sup>	0.27 (0.04) <sup>a,b</sup>	52 (8.1) <sup>b</sup>

**Parámetros:** (a) representa el parámetro de escala asociado con el rendimiento máximo, (b) es la pendiente creciente y (c) la pendiente decreciente. \*porcentaje expresado como valor  $\times 10^{-4}$ .

Según la prueba LSD de Fisher las letras iguales en las columnas indican que no hubo diferencia significativa ( $P>0.05$ )

Se hizo un análisis de los coeficientes a, b y c entre las lactancias 1, 2 y 3. No se observó diferencias significativas de parámetros entre lactancias ( $P>0.05$ ).

### 3.2 Variables asociadas con la producción de leche

El cuadro 4 muestra las medias y error estándar de la media (valor en paréntesis) para las variables derivadas de los parámetros que describen las curvas de lactancia. Para la variable tiempo al pico de lactancia ( $T_m$ ), el valor mayor fue para el triple cruce Hx(JxS) con 51 días después del parto ( $P < 0,05$ ), y el valor menor ( $P < 0,05$ ) fue para el cruce J4S4 con 34 días después del parto.

El mayor rendimiento al pico de la lactancia ( $Y_m$ ) lo alcanzó el cruce GYxJ con 25.0 kg ( $P < 0,05$ ), y el valor menor ( $P < 0,05$ ) lo obtuvo el cruce JxSN y la raza Jersey con 20.0 kg. La lactancia más larga (LL) fue 326 días presentada por el cruce JxSR ( $P < 0,05$ ), y la lactancia más corta ( $P < 0,05$ ) fue de 230 días presentada por el cruce JxS. El cruce F1 JxSR obtuvo 5649.0 kg de leche y fue la más alta producción de leche por lactancia total ( $P < 0,05$ ), mientras que la más baja ( $P < 0,05$ ) producción por lactancia total correspondió al F1 de JxS con 3497.0 kg.

El triple cruce Hx(JxS) y los F1 JxSR y GYxJ obtuvieron los mayores valores de producción diaria ( $P < 0,05$ ) con 17.0 kg de leche diaria. En cambio, los F1 JxSN y JxS registraron 14.0 kg de leche diarios siendo los menores productores ( $P < 0,05$ ) de los grupos raciales evaluados.

La persistencia con el valor más alto (se interpreta como la mayor tasa de caída en producción de leche después de haber alcanzado el pico de lactancia) fue para la F1 JxS con un índice decreciente de 1.26 % ( $P < 0,05$ ), y la Jersey pura presentó un índice decreciente de 0.65%, siendo este el menor valor ( $P < 0,05$ ) de persistencia entre los grupos raciales evaluados.

El cruce F1 JxSR obtuvo el mayor valor de producción por lactancia con 5409.0 kg. de leche para lactancias ajustadas a 305 días ( $P < 0,05$ ), y la F1 JxS resultó con el menor valor (3675.0 kg por lactancia).

El intervalo parto-concepción más largo fue de 134 días presentado por las F1 HxS ( $P < 0,05$ ), y el más corto ( $P < 0,05$ ) para la F1 JxSN que mostró 86 días de intervalo parto concepción.

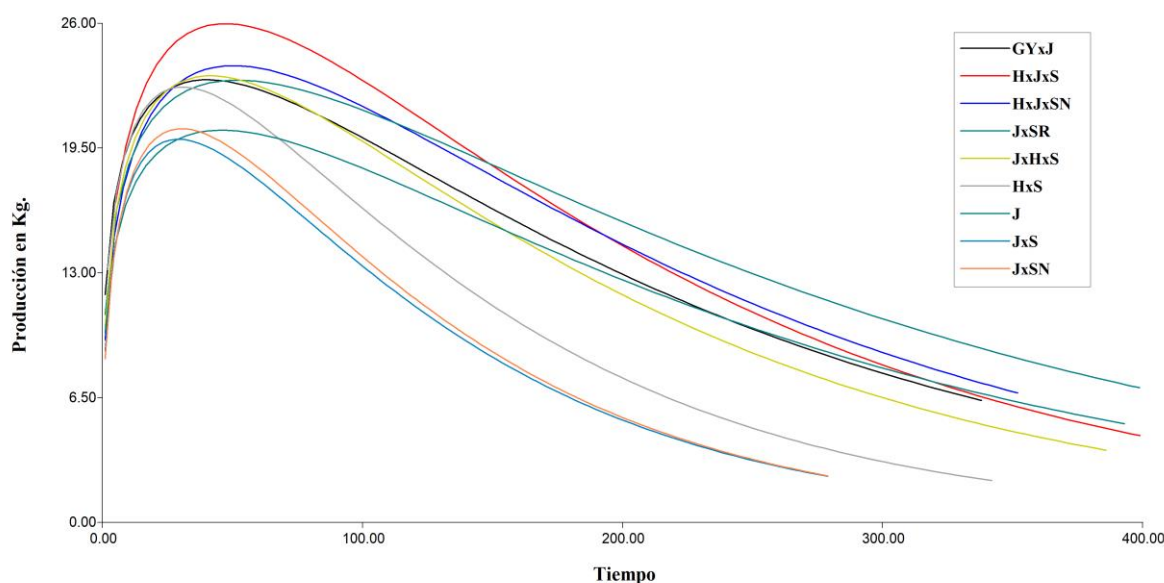
El largo del periodo seco mayor fue de 160 días reportado por la F1 HxS ( $P < 0,05$ ), y el más corto para la Jersey, con 57 días ( $P < 0,05$ ).



**Cuadro 4.** Medias y error estándar de la media (valor en paréntesis) para las variables tiempo al pico de lactancia (Tm), rendimiento al pico de lactancia (Ym), largo de lactancia (LL), producción lactancia total (PLT), producción promedio diaria (PLD), persistencia (Pers), producción lactancia a 305 días (PL305D), Intervalos parto concepción (IPC), días secas (DS) por grupo racial, de nueve razas lecheras evaluadas en condiciones tropicales.

Razas	TM	YM	LL	PLT	PLD	Pers.	PL305D	IPC	DS
Hx(JxS)	51 (4) a.	24 (2) a.	323 (17) a	5523 (410) a.	17 (1) a.	0.85 (0.1) b.	5192 (367) a,b.	115 (17) a.	80 (16) b,c,d.
JxSR	48 (5) a,b.	24 (2) a.	326 (21) a.	5649 (469) a.	17 (1) a.	0.68 (0.1) b.	5409 (401) a.	108 (22) a.	61 (23) c,d.
GYxJ	42 (6) a,b,c.	25 (2) a.	271 (25) a,b.	4726 (570) a,b.	17 (1) a.	0.92 (0.2) a,b.	4917 (472) a,b.	102 (25) a.	63 (39) b,c,d.
Hx(JxSN)	46 (4) a,b.	22 (2) a,b.	306 (16) a,b.	4949 (378) a,b.	16 (1) a,b.	0.7 (0.1) b.	4897 (344) a,b.	133 (16) a.	70 (16) b,c,d.
Jx(HxS)	46 (4) a,b.	23 (2) a.	283 (15) a,b.	4782 (356) a,b.	16 (1) a,b.	1.03 (0.1) a,b.	4787 (333) a,b.	108 (15) a.	101 (14) b,c,d.
J	47 (5) a,b.	20 (2) b.	312 (20) a.	4719 (451) a,b.	15 (1) a,b.	0.65 (0.1) b.	4588 (391) a,b.	115 (19) a.	57 (20) d.
HxS	39 (6) a,b,c.	22 (2) a,b.	293 (23) a,b.	4765 (529) a,b.	15 (1) a,b.	0.96 (0.1) a,b.	4314 (442) a,b,c.	134 (23) a.	160 (23) a.
JxSN	37 (5) b,c.	20 (2) b.	251 (20) b.	3744 (458) b.	14 (1) b.	0.97 (0.1) a,b.	3819 (398) c.	86 (19) a.	111 (19) a,b,c.
JxS	34 (5) c.	21 (2) b.	230 (19) b.	3497 (442) b.	14 (1) b.	1.26 (0.1) a.	3675 (388) c.	99 (23) a.	142 (21) a,b.

Letras iguales en las columnas indican que no hubo diferencia ( $P > 0.05$ ), según la prueba LSD de Fisher.



**Figura 3.** Curvas de lactancia que describen la tendencia de producción de leche de nueve grupos raciales de ganado lechero evaluados en condiciones tropicales.

## 4. Discusión

El CATIE ha buscado, de manera continua, mejorar la producción de leche, probando diferentes cruces raciales para la lechería comercial en el trópico. Esta evolución ha sido documentada en estudios previos. A continuación, se cita algunos ejemplos: Álvarez (1975) evaluó registros de 25 años en donde existieron los siguientes promedios de (PL305) en las razas como Criollo lechero 1382 kg, Jersey 2108 kg, Ayrshire 2468 kg, Rojo Sueco 2112 kg y el cruce de Criollo lechero por Jersey 2221 kg. Luego, en un análisis de los datos de 37 años (1950 a 1987), Salgado (1988) encontró mejoras en el promedio de PL305 días para el Criollo lechero, Jersey y el cruce de Criollo Lechero por Jersey, con 1835.87 kg, 2125.27 kg, y 2448.98 kg, respectivamente. Por otro lado, Ruiz (1992) analizó 36 años de registros entre el periodo de 1955 a 1991, únicamente para el Criollo Lechero y obtuvo 2137.93 kg promedio de PL305. Es importante resaltar que la estimación, usando valores promedios de una distribución, que no es normal, puede sesgar los valores de producción de PL305.

En el presente trabajo, se analizaron 15 años de registro entre los años 2005 a 2020. Los cruces de vacas Jersey, posiblemente, ya con algún grado de adaptación a la zona, con otras razas con potencial lechero, tanto *Bos taurus* como *Bos Indicus*, ha sido positivo. Una de las diferencias de esta investigación con los estudios previos fue el manejo, principalmente la alimentación, ya que en sus inicios la nutrición de las vacas en producción era a base de pastoreo en potreros mayormente de pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), con suplementación solo de una cantidad limitada de melaza con 3% de urea; en cambio, en los años analizados en el presente estudio, el manejo nutricional incluyó pastoreo en potreros con varias opciones de pastos mejorados, suplementados con minerales y concentrados a base de granos, mejorando considerablemente los rendimientos de producción de leche. La evidencia es el nivel de producción alcanzado en el cruce Criollo lechero x Jersey, el cual produjo, en promedio, 4752.20 kg de leche a 305 días, comparado con los 2125.27 kg, que observó Salgado (1988).

Otra diferencia respecto a estudios anteriores es que la comparación entre los tipos raciales se hizo modelando las curvas de lactancia, específicamente con la función Gamma incompleta (Wood 1967), teniendo la ventaja de describir de mejor forma la producción de leche con los parámetros derivados de los coeficientes de la función como (Ym) y (Pers). Estas estimaciones sólo se pueden hacer con la modelación de los valores medidos. Fadlemoula *et al* (2007) concluye que la curva de lactancia podría ser utilizada como método de evaluación y selección de vacas lactantes.

Los parámetros de la curva de lactancia para la Jersey pura fueron: (a) 10.47 (b) 0.24 y (c) 0.0051, comparado con los resultados de Ulloa y Vargas (2008) se observó que el parámetro (a) 14.23 (b) 0.123 y (c) 0.037 mostrando diferencia en el parámetro (a), de igual forma la pendiente de ascenso (b), así como la persistencia (c) fueron distintas. Por esta razón, las Jersey evaluadas en Costa Rica en la zona agroecológica bosque muy húmedo montano en el 2008 obtuvieron 3959.3 kg PL305 la cual es menor que la de las Jersey evaluadas en la lechería de CATIE que resultaron con 4588 kg de PL305. Esta diferencia se atribuye a un valor más bajo al pico de la lactancia, pero un índice de persistencia más adecuado en este estudio, lo que se traduce en una mejor producción de leche. Es propicio mencionar que las lecherías son administradas de diferentes maneras, y el sistema de alimentación que se use puede limitar la manifestación del potencial

genético en un hato lechero. Ulloa y Vargas (2008) también evaluaron cruces de HxJ con valores en los parámetros (a) 12.42 (b) 0.034 y (c) 0.028 (Ym) 13.3 kg. y (PL305) 3186.9 kg. En este estudio se evaluó el mismo porcentaje de Holstein en cruces como HxS el cual obtuvo valores en los parámetros (a) 12.71 (b) 0.24 y (c) 0.007 mostrando rendimientos como: (Ym) 22 kg y (PL305) 4314 kg. Este mismo cruce de HxS, en India, resultó con rendimientos de (Ym) 13.30 kg y una (PL305) 2864.32 kg (Lakhmi *et al* 2009). Con el mismo porcentaje racial, se evaluó el cruce JxS resultando parámetros con valores como: (a) 10.75 (b) 0.30 y (c) 0.0096 mostrando rendimientos de (Ym) 21 kg y (PL305) 3675 kg, lo cual demuestra que los cruces en donde se utilizó Holstein muestran buenos rendimientos de producción en la lactancia, sin desmeritar con esto los aportes que puede hacer las otras razas, que cumplen un rol importante en el mejoramiento del comportamiento productivo.

En la Sabana de Bogotá, Colombia, Restrepo (2013) encontró que el F1 HxSR dio un rendimiento de (PLD) 16 kg y (PL305) 4880 kg. En la lechería de CATIE se evaluó F1 JxSR en donde registró rendimientos de (PLD) 17 kg y (PL305) 5409 kg. Los resultados del estudio en la Sabana de Bogotá, Colombia ubicada a 2400 a 2800 msnm, con pastos de altura de muy buena calidad y clima propicio para razas especializadas en producción de leche, se obtuvieron producciones similares e incluso, algo inferiores a las obtenidas en la lechería de CATIE en Turrialba, donde las condiciones ambientales son un desafío para la adaptabilidad de razas bovinas lecheras de origen europeo.

En los Altiplanos del Centro de México utilizaron las tres razas antes mencionadas en el triple cruce Hx(JxSR) obtuvieron valores más altos que en el presente estudio en donde marca un aumento pronunciado en sus rendimientos con (PLD) 29.83 kg y (PL305) 9100 kg (Villagómez *et al.* 2013). Sin embargo, la diferencia es que en ese trabajo todas las vacas estaban estabuladas, alimentadas con raciones integrales balanceadas y se ordeñaban cada ocho horas, tres veces a día, por  $305 \pm 20$ . En ese tipo de manejo sin actividad física de pastoreo, más el hecho que las condiciones ambientales eran más benignas, es de esperar que los animales puedan expresar más su potencial productivo.

Por otro lado, en la investigación de Carvalho *et al.* (2018), en Brasil, se reportó rendimientos para Gyr puro de (PLD) 9.6 kg y (PL305) 2928 kg, también se evaluaron el F1 de HxGY el cual demostró aumento en la (PLD) 18.2 kg y (PL305) 5551 kg. En la lechería de CATIE el cruce de GYxJ -que en alguna medida podría considerarse equivalente al cruce reportado por Carvalho *et al* (2018)- obtuvo rendimientos de (PLD) 17 kg y (PL305) 4917 kg. Este es un claro ejemplo de cómo aumentan los rendimientos de producción de leche en el cruce de *Bos indicus* (Gyr) capaz de adaptarse al trópico, con razas especializadas en producción de leche de origen europeo (*Bos taurus*) como la Holstein y Jersey.

Los productores de leche en los países tropicales siempre han buscado alternativas para el desarrollo de sus fincas utilizando la rusticidad y resistencia a altas temperaturas de diferentes genotipos, como es el caso de la raza Senepol, que es un *Bos taurus* desarrollado en el Caribe a partir de la raza africana N'Dama, cruzándolo con razas especializadas en producción de leche (p.e. Jersey, Sueco Rojo entre otras), registrando rendimientos de (PLD) 14.9 kg y (PL305) 4555 kg. (Martínez 2015). La raza Senepol también se ha utilizado en la lechería de CATIE en cruces como F1 JxSN mostrando rendimientos de (PLD) 14 kg y (PL305) 3819 kg, también se evaluó el triple cruce HxJxSN mejorando los rendimientos de (PLD) 16 kg y (PL305) 4897 kg. Estos resultados comprueban el valor del Senepol como otra opción para cruzamientos en fincas lecheras en el trópico.

En Sudan, Fadlemoula *et al.* (2007) analizaron datos de lactancias que se ajustaban bien a las ecuaciones propuestas en su investigación; sin embargo, algunas ecuaciones arrojaron estimaciones de parámetros que no fueron significativas en comparación con los análisis de Val Arreola *et al.* (2004), quienes afirmaron que la ecuación de Wood (1967), explica gran parte de las variaciones de la lactancia y que sus parámetros no tienen interpretación biológica directa. Por esta razón existen cambios en las tendencias de las curvas de lactancia cuando hay diferencia genética o cambios en los sistemas de manejo de la finca -incluyendo la alimentación-, los cuales pueden ser parcialmente responsables de la variabilidad de la persistencia y el rendimiento máximo en vacas lecheras. Por otro lado, Fadlemoula *et al.* (2007), confirman que conforme aumenta la cantidad de partos se incrementa la producción de leche. Considerando el presente estudio, en donde se analizaron las tres primeras lactancias, es notorio el aumento en la producción de leche entre la primera y la segunda lactancia de igual forma entre la segunda y la tercera lactancia; es preciso tomar en cuenta los requerimientos nutricionales para que las vacas puedan expresar su máximo potencial de producción de leche. Demostrando que hay muchos aspectos importantes que debemos tomar en cuenta al analizar los resultados obtenidos.

Todas estas variables se pueden analizar de forma visual, como se muestra en los gráficos por grupos raciales del Grafico 1, se debe notar que los cruces de mayor producción como el JxSR o Hx(JxS) tiene un  $Y_m$  alto y una pendiente suave de caída. Por el contrario, Bajas producciones, como el grupo racial JxS tiene un  $Y_m$  bajo y un valor alto de Persistencia. Estos dos valores de  $Y_m$  y Persistencia, que son combinaciones de los tres parámetros de las curvas de lactancia, son de gran utilidad en la toma de decisiones de las lecherías y se recomienda hacer más evaluaciones, para determinar si la expresión de estos caracteres en lactancias tempranas se puede usar para seleccionar animales o hacer adecuaciones en los sistemas de alimentación.

## 5. Conclusión y recomendaciones

La utilización del modelo de Wood (1967) ajustado a la función Gamma incompleta para describir las curvas de lactancia demuestra que es una herramienta eficiente para describir los cambios de la lactancia en función del tiempo, lo cual puede utilizarse en la evaluación y selección de vacas lactantes.

Los cruces raciales utilizados en la lechería de CATIE muestran que la lechería en el trópico, con los cruces adecuados particularmente  $J \times SR$ ,  $H \times (J \times S)$ ,  $GY \times J$ ,  $H \times (J \times SN)$ ,  $J \times (H \times S)$ , y  $J$ , y con “sistemas de alimentación de reto” pueden generar producciones de leche comparables a ambientes más benignos como la sabana de Bogotá que pertenece a la zona agroecológica bosque andino tropical húmedo.

Las variables de rendimiento al pico de lactancia y persistencia, derivadas de los parámetros de las curvas de lactancia, fueron las más determinantes de la producción de leche total y por día. Se recomienda hacer un estudio orientado a determinar si los valores estimados para las primeras lactancias se pueden usar para selección de vacas de mayor producción.

Se sugiere utilizar las curvas de lactancia de las mejores vacas para parametrizar el modelo LIFESIM y validarlo con los datos del resto de los animales no usados en la parametrización. Una vez validado el LIFESIM, se recomienda hacer estimaciones de la eficiencia económica de los cruces raciales y de las estrategias de alimentación en diferentes condiciones agroecológicas del trópico.

## 6. Bibliografía

- Álvarez Alvarado, J. R. 1975. Evaluación de 25 años de selección en un hatillo lechero del trópico húmedo (en línea). Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 30 de agosto. 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/11554/5018.pdf>
- Bouallegue, M; Hamdi, N. 2020. Mathematical modeling of lactation curves: A review of parametric models. *Lactation in Farm Animals-Biology, Physiological Basis, Nutritional Requirements, and Modelization*, 1, 1-20.
- Carvalho, P. H. D. A; Borges, A. L. D. C. C; Silva, R. R. E; Lage, H. F; Vivenza, P. A. D; Ruas, J. R. M; Carvalho, A. Ú. D. 2018. Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. *Plos one*, 13(8): e0202088.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo CW. 2019 Infostat versión 2019 Centro de transferencia Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>
- Fadlelmoula, A. A; Yousif, I. A; Abu Nikhaila, A. M. 2007. Lactation curve and persistency of crossbred dairy cows in the Sudan. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(10): 1127-1133.
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura) 2021. FAO: La leche en cifras (en línea, sitio web). Consultado 3 de agosto. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/273897/>
- France, J., & Thornley, J. H. (1984). *Mathematical models in agriculture*. Butterworths.
- Ibrahim, M; Villanueva, C; Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. Centro América. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15(1):74-88.
- IDF (International Dairy Federation) 2021. IDF: Dairys Global Impact (en línea, sitio web). Consultado 20 agosto. 2021. Disponible en <https://fil-idf.org/dairys-global-impact/>
- Johnson, C.R; D.L. Lalman; A. Appeddu-Lisa; A. Brown-Michael; R.P. Wetteman; D.S. Buchanan. 2002. Effect of parity and milk production potential on forage intake of beef cows during late gestation. *Tekran - United States* (en línea) Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Consultado el 22 jul. 2021. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/LAppeddu2/publication/265431577\\_Effect\\_of\\_Parity\\_and\\_Milk\\_Production\\_Potential\\_on\\_Forage\\_Intake\\_of\\_Beef\\_Cows\\_during\\_Lactation/links/5626661708aeabddac92f8f2/Effect-of-Parity-and-Milk-Production-Potential-on-Forage-Intake-of-Beef-Cows-during-Lactation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/LAppeddu2/publication/265431577_Effect_of_Parity_and_Milk_Production_Potential_on_Forage_Intake_of_Beef_Cows_during_Lactation/links/5626661708aeabddac92f8f2/Effect-of-Parity-and-Milk-Production-Potential-on-Forage-Intake-of-Beef-Cows-during-Lactation.pdf)

- Keisan (Keisan on line calculation) 2021. Keisan: Incomplete gamma function calculator (en línea, sitio web). Consultado 5 de jun. 2021. Disponible en <https://keisan.casio.com/exec/system/1180573447/>
- Kok, A; van Middelaar, C. E; Engel, B; van Knegsel, A. T. M; Hogeveen, H; Kemp, B; Boer, I. J. M. 2016. Effective lactation yield: A measure to compare milk yield between cows with different dry period lengths. *Journal of dairy science*, 99(4), 2956-2966.
- Lakshmi, B. S; Gupta, B. R; Sudhakar, K; Prakash, M. G; Sharma, S. 2009. Genetic analysis of production performance of Holstein Friesian× Sahiwal cows. *Tamilnadu J. Vet. Anim. Sci*, 5(4), 143-148.
- Leon-Velarde, C; McMillan, I; Gentry, R; Wilton, J. 1995. Models for estimating typical lactation curves in dairy cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 112(1-6), 333-340.
- Martínez C, L. 2015. Senepol buena opción para producción de leche y carne (en línea, blog) Higuey, Rep. Dominicana, Portal Ganadero Higueyano. Consultado el 26 de agosto. 2021. Disponible en <https://portalganaderohigueyano.blogspot.com/2015/04/senepol-buena-opcion-para-produccion-de.html> consultado el 26/08/2021.
- Montero V., E. 2013. Situación actual y perspectiva del sector lácteo mundial (en línea) *In* Congreso Nacional lechero (Costa Rica) Cámara de productores de leche. Consultado 5 de julio 2021. Disponible en [http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2013/Situacion\\_actual\\_y\\_perspectivas\\_del\\_sector\\_lacteo\\_a\\_nivel\\_mundial\\_Ing\\_Erick\\_Montero\\_Vargas\\_Costa\\_Rica.pdf](http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2013/Situacion_actual_y_perspectivas_del_sector_lacteo_a_nivel_mundial_Ing_Erick_Montero_Vargas_Costa_Rica.pdf)
- Nasri, M. F; France, J; Odongo, N. E; López, S; Bannink, A; Kebreab, E. 2008. Modelling the lactation curve of dairy cows using the differentials of growth functions. *The Journal of Agricultural Science*, 146(6), 633-641.
- Núñez-Domínguez, R; Ramírez-Valverde, R; Saavedra-Jiménez, L. A; García-Muñiz, J. G. 2016. La adaptabilidad de los recursos zoogenéticos Criollos, base para enfrentar los desafíos de la producción animal. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), 461-468.
- Olsen, S. 1999. Available vaccines for the control of brucellosis in animals. Reunión de consulta de expertos de la OPS/OMS sobre vacunas y estrategias de vacunación en los programas de control/erradicación de la brucelosis. Santiago de Chile, 16 al 18 de noviembre. p. 30-33.
- Remmik, A; Värnik, R; Kask, K. 2020. Impact of calving interval on milk yield and longevity of primiparous Estonian Holstein cows. *Czech Journal of Animal Science*, 65(10), 365-372.
- Restrepo Fajardo, P; Velásquez Mosquera, J. C; Calvache García, I. 2013. Comparación de parámetros productivos y reproductivos en vacas primerizas Holstein y

Holstein X Rojo Sueco en tres hatos de la Sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Ciencia Animal*, 1(6), 67-75.

Ruíz Flores, A. 1992. Determinación de niveles críticos y efectos de consanguinidad sobre características productivas, reproductivas y de crecimiento en ganado Criollo Lechero Centroamericano y Romo Sinuano bajo condiciones de trópico húmedo (en línea) Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado el 30 de agos. 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/11554/4762.pdf>

Salgado F. D. J. 1988. Índices de selección y evaluación de su efectividad para características relacionadas con la Producción de leche en el trópico (en línea). MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado el 30 de agosto. 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/11554/5234.pdf>

Val-Arreola, D; E. Kebreab; J Dijkstra; J. France. 2004. Study of the Lactation Curve in Dairy Cattle on Farms in Central Mexico. *J. Dairy Sci.*, 87: 3789-3799.

Vargas, B; Ulloa, J. 2008. Relación entre crecimiento y curvas de lactancia en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Development*, 20(8).

Villagómez, M. Á. L; García, J. Á; Zapata, M. A. A; Núñez, A. C; Rodríguez, A. G; Rentería, I. D. 2013. Rendimientos productivos y reproductivos de vacas lecheras en el primer cruzamiento rotativo en el altiplano del centro de México. *Veterinaria México OA*, 44(1). <http://www.scielo.org.mx/pdf/vetmex/v44n1/v44n1a2.pdf>

Wood, P. 1937. Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature* 216, 164–165.



## 7. Anexos

**Anexo 1.** Parámetros estimados para las curvas de lactancia por raza, animal y lactancia.

ID	BREED	LAC	A	B	C	ID	BREED	LAC	A	B	C
26	JxC	7	11.6628	0.1443	0.0023	707	HxJxSN	1	11.5648	0.1214	0.0033
29	JxC	7	10.2148	0.2900	0.0066	789	HxJxSN	1	9.6977	0.3196	0.0067
32	JxC	7	7.7593	0.3337	0.0059	609	HxJxSN	2	6.5036	0.3348	0.0057
5	JxC	10	2.0095	0.6700	0.0117	654	HxJxSN	2	10.1101	0.2598	0.0058
405	J	1	11.1974	0.2132	0.0055	695	HxJxSN	2	12.6261	0.1774	0.0042
416	J	1	10.8664	0.2250	0.0060	696	HxJxSN	2	8.1979	0.3202	0.0056
232	J	2	11.9088	0.2009	0.0059	469	HxJxSN	3	16.9285	0.1294	0.0033
437	J	2	10.4087	0.2114	0.0042	574	HxJxSN	3	6.2674	0.3872	0.0072
229	J	3	8.2569	0.3098	0.0057	575	HxJxSN	3	15.3402	0.1883	0.0047
251	J	3	14.2706	0.1647	0.0041	583	HxJxSN	3	12.8272	0.2770	0.0082
254	J	3	7.2851	0.4150	0.0078	617	HxJxSN	3	14.6066	0.2555	0.0069
260	J	3	10.1699	0.2920	0.0057	619	HxJxSN	3	12.8502	0.2279	0.0042
422	J	3	10.0621	0.2265	0.0039	690	HxJxSN	3	10.9317	0.3156	0.0052
481	J	3	10.2505	0.2278	0.0038	705	HxJxSN	3	8.7961	0.2977	0.0064
52	J	4	12.9668	0.1727	0.0045	632	HxJxS	1	7.2828	0.3430	0.0052
53	J	4	12.1931	0.2383	0.0060	490	HxJxS	2	7.2987	0.5057	0.0108
57	J	4	11.4915	0.2121	0.0050	685	HxJxS	2	11.8079	0.2779	0.0065
59	J	4	13.7621	0.1880	0.0032	331	HxJxS	3	13.6393	0.2707	0.0073
55	J	5	7.9410	0.3288	0.0052	452	HxJxS	3	17.7124	0.1640	0.0043
41	J	6	15.9994	0.1932	0.0044	455	HxJxS	3	13.4143	0.2542	0.0061
50	J	6	10.3127	0.2701	0.0054	549	HxJxS	3	18.5667	0.1201	0.0048
25	J	7	10.0763	0.2114	0.0043	550	HxJxS	3	13.2023	0.2570	0.0056
39	J	7	13.1469	0.2226	0.0045	552	HxJxS	3	8.0438	0.4015	0.0074
14	J	8	8.6689	0.2870	0.0058	598	HxJxS	3	6.0481	0.4699	0.0073
7	J	9	7.8562	0.3381	0.0056	608	HxJxS	3	6.9910	0.3127	0.0026
11	J	9	18.5577	0.1179	0.0048	630	HxJxS	3	10.4770	0.3752	0.0080
283	HxS	1	7.9570	0.3270	0.0046	643	HxJxS	3	8.3921	0.2750	0.0085
275	HxS	2	15.9922	0.2156	0.0115	512	GYxJ	1	8.8497	0.3674	0.0071
330	HxS	2	15.1502	0.0969	0.0036	513	GYxJ	1	11.1316	0.2758	0.0045
314	HxS	3	14.4737	0.2089	0.0087	514	GYxJ	1	10.6459	0.2075	0.0078
337	HxS	3	13.3823	0.2284	0.0031	516	GYxJ	1	12.1668	0.2185	0.0084
339	HxS	3	7.0331	0.4639	0.0104	517	GYxJ	2	9.9595	0.3113	0.0086
348	HxS	3	14.9803	0.1754	0.0120	511	GYxJ	3	11.3063	0.3307	0.0063
508	HxJxSN	1	9.3483	0.2646	0.0054						

ID	BREED	LAC	A	B	C	ID	BREED	LAC	A	B	C
392	JxSR	1	18.4052	0.0707	0.0027	349	JxS	3	14.3355	0.2571	0.0089
427	JxSR	1	10.9454	0.2375	0.0041	380	JxHxS	1	10.9399	0.2305	0.0060
450	JxSR	1	6.2877	0.3750	0.0063	386	JxHxS	1	9.7635	0.3144	0.0110
373	JxSR	2	16.6238	0.1616	0.0056	379	JxHxS	2	7.9374	0.3734	0.0067
387	JxSR	2	11.8646	0.1731	0.0043	381	JxHxS	2	10.4180	0.2705	0.0046
407	JxSR	2	7.1022	0.4213	0.0068	382	JxHxS	2	10.7627	0.2211	0.0037
397	JxSR	3	11.3129	0.2869	0.0057	730	JxHxS	2	14.9994	0.2040	0.0047
398	JxSR	3	5.9718	0.4678	0.0073	280	JxHxS	3	10.3570	0.3478	0.0101
428	JxSR	3	15.7478	0.2088	0.0045	301	JxHxS	3	15.6197	0.1764	0.0049
356	JxSN	1	11.0485	0.1569	0.0094	317	JxHxS	3	10.8620	0.3352	0.0084
364	JxSN	2	11.7885	0.2455	0.0083	326	JxHxS	3	6.6488	0.4816	0.0107
235	JxSN	3	9.2347	0.2673	0.0055	340	JxHxS	3	8.8888	0.4153	0.0108
329	JxSN	3	11.4414	0.2490	0.0101	371	JxHxS	3	17.7965	0.0868	0.0022
353	JxSN	3	12.0284	0.1688	0.0034	376	JxHxS	3	11.1766	0.2515	0.0043
354	JxSN	3	11.2594	0.2536	0.0070	384	JxHxS	3	3.7190	0.6204	0.0098
359	JxSN	3	5.7014	0.4568	0.0092	493	JxHxS	3	6.0368	0.5369	0.0139
360	JxSN	3	11.7073	0.2892	0.0071	544	JxHxS	3	3.6720	0.6257	0.0090
368	JxSN	3	13.7452	0.2491	0.0066	597	JxHxS	3	12.4406	0.2333	0.0064
369	JxSN	3	10.4106	0.3797	0.0100	706	JxHxS	3	10.0018	0.3916	0.0084
589	JxS	1	15.8781	0.0934	0.0049	67	JxC	3	14.9090	0.1492	0.0039
264	JxS	2	7.0817	0.3541	0.0114	69	JxC	3	14.3155	0.2010	0.0054
263	JxS	3	11.5857	0.2976	0.0136	51	JxC	4	14.5648	0.1101	0.0026
266	JxS	3	14.4649	0.2641	0.0056	54	JxC	4	16.9808	0.0695	0.0048
267	JxS	3	10.0762	0.3271	0.0075	42	JxC	5	9.9637	0.2668	0.0037
270	JxS	3	12.8796	0.3012	0.0084	47	JxC	5	17.9826	0.1184	0.0030
272	JxS	3	5.0644	0.4669	0.0110	56	JxC	5	9.8973	0.2372	0.0043
291	JxS	3	2.9175	0.6974	0.0113	58	JxC	5	17.0599	0.1773	0.0048
295	JxS	3	10.8657	0.1879	0.0159	24	JxC	6	9.3165	0.2616	0.0054
300	JxS	3	13.1136	0.2105	0.0067	46	JxC	6	10.0891	0.2814	0.0049





**Anexo 3. Finca comercial de CATIE.**



*Semovientes de la lechería de CATIE en la actualidad, pastoreo rotacional en SSP.*



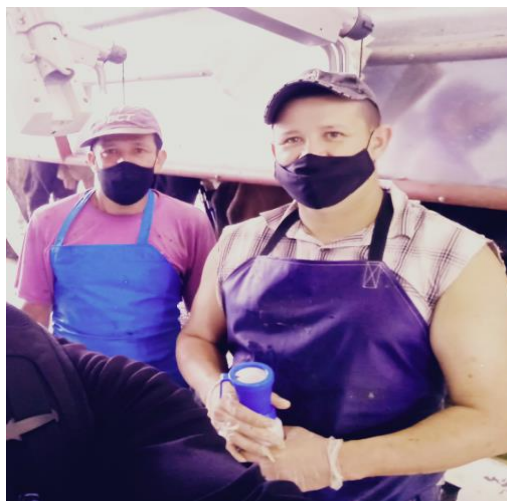
*Desarrollo de novillas, futuras vacas de producción de leche.*



*Galera de ordeño.*



*Administrador lechería de CATIE:  
Ing. Alejandro Molina (imagen euroclimaplus.org)*



*Ordeñadores, personal capacitado para esta actividad.  
Sr. Alfonso Sánchez y el Sr. Bernardo Pereira Brenes*



*Sala de ordeño.*



*Dispositivo para pesar la leche.*