

2022 Aplicaciones prácticas del análisis retrospectivo del
desempeño reproductivo en un establo comercial MVZ. Everardo Mondragón Vázquez



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Aplicaciones prácticas del análisis retrospectivo del desempeño
reproductivo en un establo comercial

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestro en
Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta:

MVZ. Everardo Mondragón Vázquez

Dirigido por:

Dr. Luis Javier Montiel Olguín

Querétaro, Qro. junio del 2022.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Aplicaciones prácticas del análisis retrospectivo del desempeño
reproductivo en un establo comercial

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en
Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta:

MVZ. Everardo Mondragón Vázquez

Dirigido por:

Dr. Luis Javier Montiel Olguín

Dr. Luis Javier Montiel Olguín

Presidente

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

Secretario

M. en C. Ma de Jesús Chávez López

Vocal

Dr. Mario Alfredo Espinosa Martínez

Suplente

M. en C. José Eduardo Salazar Vázquez

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Querétaro.

Junio 2022

México.

RESUMEN

El objetivo fue realizar un análisis retrospectivo de las bases de datos de un establo comercial para determinar el periodo de espera voluntario (PEV), a partir de la probabilidad de quedar gestante (tasa de concepción al primer servicio; TC1S). La hipótesis de trabajo fue que el PEV ideal desde un punto de vista reproductivo, se puede determinar evaluando el efecto de los días en leche, número de lactación y el sexo de la cría, sobre la tasa de concepción al primer servicio. Utilizando modelos de regresión logística múltiples se determinó la significancia de las variables de interés y se obtuvieron los estimadores para obtener la probabilidad de quedar gestante a primer servicio con una meta de 35%. Las variables días en leche (efecto lineal y cuadrático), lactación y sexo de la cría fueron significativos en modelos simples ($P < 0.08$). El 35% de probabilidad de quedar gestante por efecto de días en leche se alcanzó a los 52 días. Conforme transcurrieron los días en leche, la TC1S aumentó hasta llegar a un máximo a los 74 días, para posteriormente disminuir. El grupo de vacas de segunda lactación tuvo la mayor TC1S (42.7%) y el grupo de tercera lactación o más, mostraron el menor desempeño (32.3%), mientras que las primíparas se mantuvieron intermedias con 39.5%. Referente al sexo de la cría, la TC1S fue de 34.8 y 40.5% para macho y hembra, respectivamente. Los modelos múltiples incluyeron a días en leche y lactación o sexo de la cría. La TC1S a 35% se alcanza a los 48 y 43 días para 1, 2 lactaciones, respectivamente. Un resultado inesperado es que las vacas de 3+ lactaciones nunca alcanzaron la meta de 35%. La TC1S a 35% se alcanzó a los 47 y 59 días para parto de hembra y macho, respectivamente. En conclusión, el efecto de días en leche es cuadrático y el número de lactación y el sexo de la cría impactan la TC1S. Una posible implicación de los resultados es que, para mejorar indicadores de desempeño, el PEV pudiera ser establecido con base en número de lactación o sexo de la cría.

Palabras clave: Periodo de espera voluntario, tasa de concepción a primer servicio, lactación, sexo de la cría.

ABSTRACT

The objective was to elaborate a retrospective analysis of the databases of a commercial farm to determine the voluntary waiting period based on the probability of becoming pregnant (conception rate at first service). The working hypothesis was that the ideal voluntary waiting period from a reproductive point of view can be determined by evaluating the effect of days in milk, lactation number and calf sex, upon the conception rate at first service. Using multiple logistic regression models, the significance of the variables of interest was determined and the estimators were obtained to predict the probability of becoming pregnant at the first service with a goal of 35%. The variables days in milk (linear and quadratic effect), lactation and sex of the calf were significant in simple models ($P < 0.08$). The 35% probability of becoming pregnant due to the effect of days in milk was reached at 52 days. As the days in milk passed, the conception rate at first service increased until it reached a maximum at 74 days and then decreased. The group of second lactation cows had the highest conception rate at first service (42.7%) and the group of third lactation or more showed the lowest performance (32.3%), while primiparous cows remained intermediate with 39.5%. Regarding the sex of the calf, the conception rate at first service was 34.8 and 40.5% for male and female, respectively. Multiple models included days in milk and lactation or sex of the calf. The conception rate at first service at 35% is reached at 48 and 43 days for 1 and 2 lactation cows, respectively. An unexpected result was that the 3+ lactation cows never reached the 35% goal. The conception rate at first service at 35% was reached at 47 and 59 days for female and male birth, respectively. In conclusion, the effect of days in milk is quadratic and the number of lactation and the sex of the calf impact the conception rate at first service. A possible implication of the results is that, to improve performance indicators, the voluntary waiting period could be established based on parity or sex of the offspring.

Keywords: Voluntary waiting period, conception rate at first service, lactation, sex of the calf.

DEDICATORIA

A las personas que forman parte de mi vida, que durante estos años han dedicado tiempo, me han ayudado a superar los límites y dedicarme palabras de aliento.

A mis amigos, compañeros de trabajo y colegas que comparten experiencia y conocimiento.

Este logro no es solo mío, es de mis padres y mi hermano, que me han acompañado a lo largo de este tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro por darme la oportunidad de continuar con mi preparación profesional con los estudios de Posgrado a través de la Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable.

A mi comité tutorial encabezado por el Dr. Luis Javier Montiel Olguín, Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila, Dr. Mario Alfredo Espinosa Martínez, M. en C. Ma. de Jesús Chávez López y al M. en C. José Eduardo Salazar Vázquez, que me guiaron y ayudaron para poder realizar este trabajo.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Resumen..... | i |
| Abstract..... | ii |
| Dedicatorias..... | iii |
| Agradecimientos..... | iv |
| Índice..... | v |
| Índice de cuadros..... | viii |
| Índice de figuras..... | ix |
| I Introducción..... | 1 |
| II Antecedentes..... | 3 |
| 2.1 Situación actual de la producción de leche en México..... | 3 |
| 2.2 Ciclo estral en bovinos..... | 5 |
| 2.3 Manejo reproductivo en establos lecheros..... | 5 |
| 2.3.1 Parto..... | 7 |
| 2.3.2 Puerperio..... | 9 |
| 2.3.3 Detección de estros..... | 9 |
| 2.3.4 Protocolos de sincronización..... | 10 |
| 2.3.4.1 Prostaglandina..... | 10 |
| 2.3.4.2 Presynch..... | 11 |
| 2.3.4.3 Ovsynch..... | 11 |
| 2.3.4.4 Dispositivos intravaginales..... | 12 |
| 2.3.5 Diagnóstico de gestación..... | 12 |
| 2.3.6 Periodo de transición..... | 12 |
| 2.4 Indicadores de desempeño reproductivo..... | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.5 Factores que impactan el desempeño reproductivo | 16 |
| 2.5.1 Aborto..... | 17 |
| 2.5.2 Enfermedades uterinas puerperales | 17 |
| 2.5.2.1 Retención de placenta | 18 |
| 2.5.2.2 Metritis | 19 |
| 2.5.2.3 Endometritis clínica..... | 21 |
| 2.5.2.4 Endometritis subclínica | 22 |
| 2.6 Enfermedades metabólicas | 22 |
| 2.6.1 Hipocalcemia..... | 22 |
| 2.6.2 Cetosis | 23 |
| 2.6.3 Desplazamiento de abomaso..... | 25 |
| 2.6.4 Balance energético negativo (BEN) | 26 |
| 2.7 Periodo de espera voluntario | 27 |
| III Justificación..... | 29 |
| IV Hipótesis | 30 |
| V Objetivos..... | 30 |
| 5.1 Objetivo general..... | 30 |
| 5.2 Objetivo específico..... | 30 |
| VI Material y métodos..... | 31 |
| 6.1 Cumplimiento de normas éticas..... | 31 |
| 6.2 Ubicación y condiciones climáticas..... | 31 |

| | |
|---|----|
| 6.3 Manejo de la unidad de producción | 31 |
| 6.3.1 Manejo general del establo | 31 |
| 6.3.2 Manejo al secado y parto | 31 |
| 6.3.3 Manejo de la alimentación..... | 32 |
| 6.3.4 Manejo reproductivo..... | 34 |
| 6.4 Análisis estadísticos..... | 34 |
| VII Resultados y discusión | 36 |
| 7.1 Estadísticas descriptivas..... | 36 |
| 7.2 Resultados de los modelos de regresión logística..... | 38 |
| VIII Discusión | 43 |
| IX Conclusiones | 52 |
| X Bibliografía | 53 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Indicadores reproductivos generales y sus valores óptimos y límite en sistemas intensivos de producción de leche | 16 |
| Cuadro 2. Cantidad de partos por número de lactación. | 36 |
| Cuadro 3. Distribución de los eventos de acuerdo al tipo de parto..... | 36 |
| Cuadro 4. Frecuencia de partos por sexo de la cría..... | 37 |
| Cuadro 5. Frecuencia de inseminación a primer servicio por código de inseminación | 37 |
| Cuadro 6. Gestante a primer servicio | 38 |
| Cuadro 7. Frecuencia de eventos metabólicos en la lactación temprana..... | 38 |
| Cuadro 8. Estimadores para el modelo de regresión logística con las variables días en leche efecto lineal y días en leche efecto cuadrático | 39 |
| Cuadro 9. Estimadores para el modelo de regresión logística múltiple para las variables días en leche y número de lactación..... | 40 |
| Cuadro 10. Estimadores para el modelo de regresión logística múltiple con las variables días en leche y sexo de la cría..... | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Producción nacional de leche de bovino, acumulado enero-diciembre (millones de litros) | 3 |
| Figura 2. Producción mundial de leche en 2019 por los principales países (miles de toneladas)..... | 4 |
| Figura 3. Tasa de concepción a primer servicio por días en leche | 39 |
| Figura 4. Tasa de concepción a primer servicio por días en leche con la variable número de lactación | 40 |
| Figura 5. Tasa de concepción días en leche con el efecto sexo de la cría..... | 41 |

I INTRODUCCIÓN

Los establos pertenecientes al sistema intensivo de producción de leche cuentan con un gran número de cabezas de ganado, en los cuales día a día se registra una gran cantidad de información que es evaluada para asegurar que se cumplan los indicadores establecidos para cada unidad de producción. Entre estos indicadores se destacan: producción de leche, número de vientres, promedio de producción de leche por vacas en línea de ordeño, promedio de producción de leche por vacas en hato, tasa de concepción global, tasa de concepción a primer servicio (TC1S), días abiertos, días en leche, días a primer servicio, abortos, entre otros. Sin embargo, el análisis de la información se lleva a cabo únicamente de manera descriptiva y no hay un análisis profundo que permita determinar áreas de oportunidad en el sistema de producción.

Dentro de los principales eventos reproductivos se encuentran el parto, el servicio (inseminación artificial), diagnóstico de gestación, aborto, fecha de secado y venta o muerte; estos datos conforman parte del ciclo productivo y reproductivo de la hembra bovina productora de leche. El análisis científico de esta información (minería de datos), pudiera permitir identificar áreas de oportunidad clave y así poder establecer estrategias de manejo para incrementar los parámetros y con ello mejorar la productividad y rentabilidad de la empresa.

Una herramienta de manejo reproductivo es el periodo de espera voluntario (PEV); se refiere al tiempo que transcurre desde el parto hasta el día en que las vacas son elegibles para recibir la primera inseminación. Dentro de este periodo, ocurren eventos que se deben considerar para determinar el PEV. Algunos de ellos son: la TC1S, el balance energético negativo, la salud uterina, presencia o ausencia de problemas metabólicos, entre otros. Identificar el PEV ideal desde el punto de vista reproductivo para la unidad de producción permitirá mejorar el desempeño reproductivo, con un impacto directo sobre los indicadores días a primer servicio, TC1S, días abiertos, intervalo entre partos y sobre el costo de producción. La asociación entre el desempeño reproductivo y la rentabilidad radica en que conforme transcurren los días en leche, la eficiencia lechera que se refiere a la capacidad que tienen las vacas para convertir el alimento en leche disminuye. Por

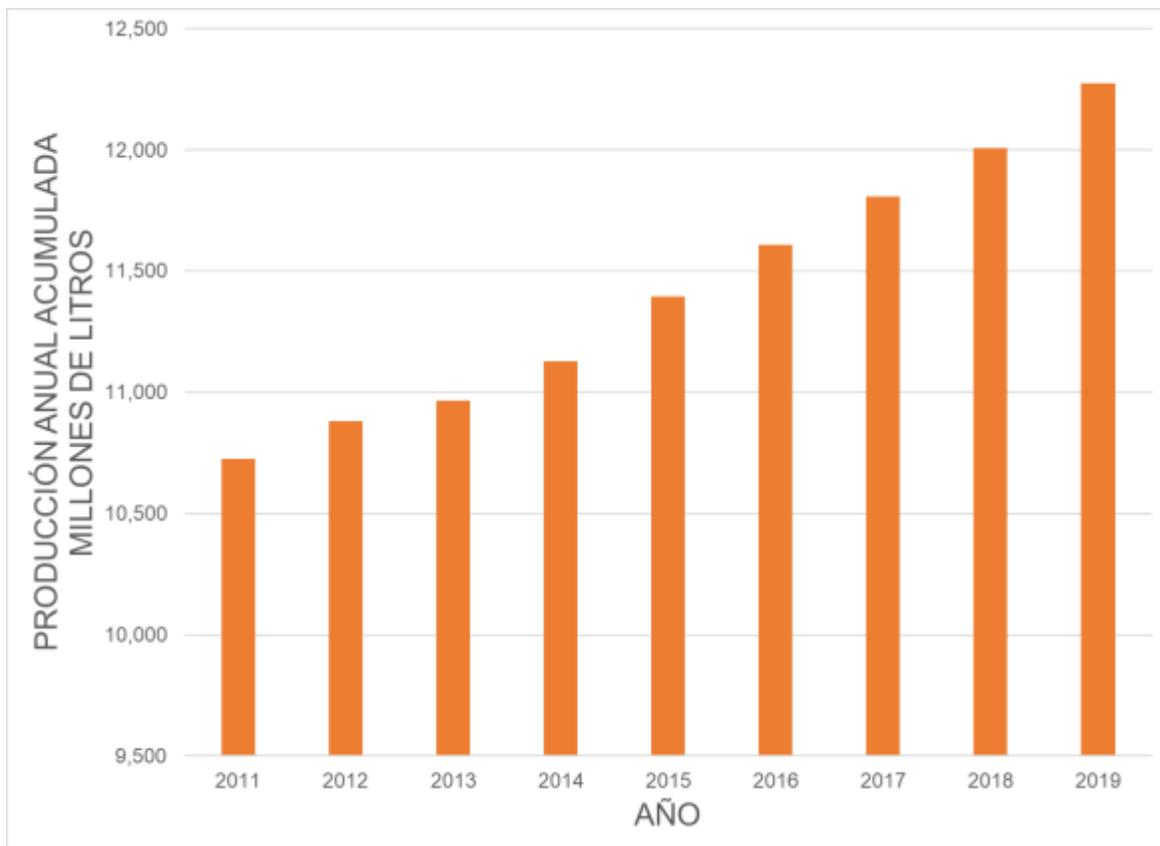
lo tanto, el costo de producción aumenta disminuyendo la rentabilidad de la empresa (la alimentación es el mayor costo de producción). Con base en lo anterior, es importante identificar el PEV ideal en cada establo con base en esa información generada diariamente.

II ANTECEDENTES

2.1 Situación actual de la producción de leche en México

La producción láctea en México en el año 2017 fue de 11,807 millones de litros, para el año 2018 fue de 12,008 millones de litros lo que representa un incremento del 2%, respecto al año 2017; mientras que para el año 2019 fue de 12,275 millones de litros, con un incremento del 2.3% respecto a la producción mundial del año 2018, para el año 2020 la producción anual total fue de 12,553 millones de litros, lo que representa un incremento del 2.3%, respecto a la producción del año 2019 (Figura 1).

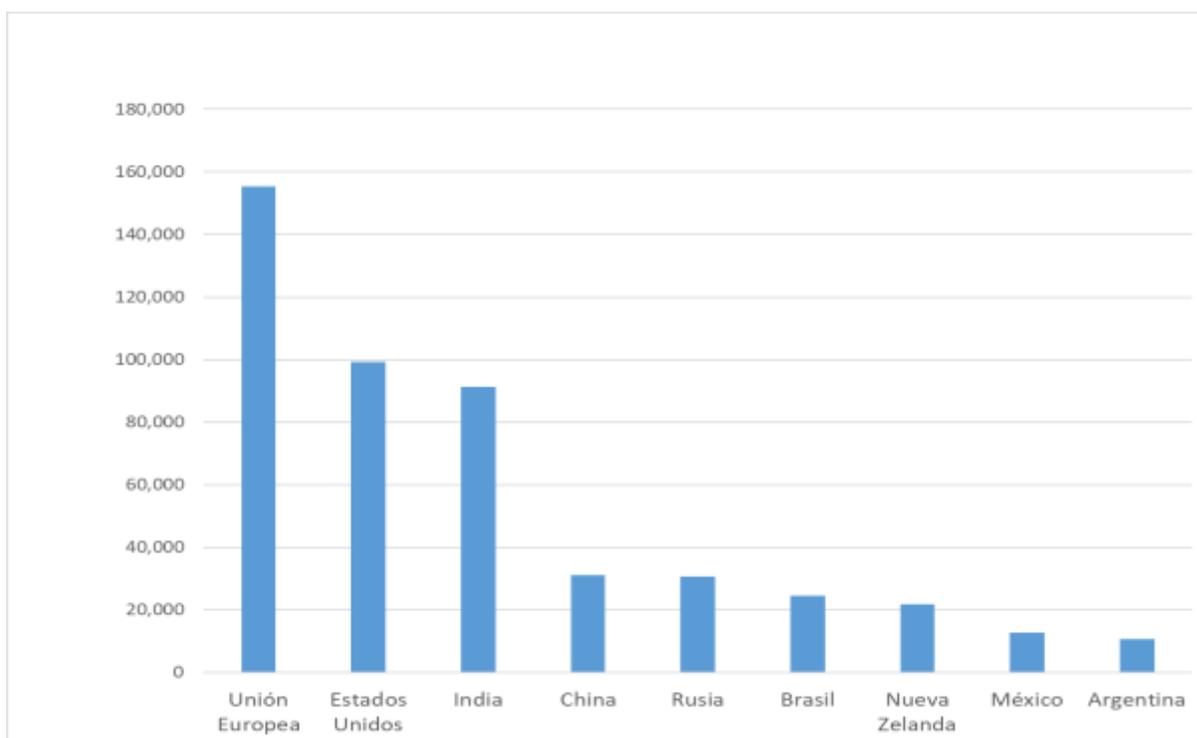
Figura 1. Producción nacional de leche de bovino, acumulado enero-diciembre (millones de litros).



(Adaptado de SIAP, 2020)

México se encuentra en la octava posición a nivel mundial en la producción de leche de bovino con la producción anual del año 2019 (Figura 2), se ubica detrás de la Unión Europea el cual tiene la primera posición, seguido de Estados Unidos e India. A pesar de ser uno de los principales productores a nivel mundial, México presenta un déficit en la producción de leche y sus derivados. En el año 2018, las necesidades de leche en polvo fueron de 602,120 toneladas, de las cuales 362,780 fueron importadas, lo que representa 60%; para el año 2019 los requerimientos de leche en polvo fueron de 616,392 toneladas, de las cuales 360,764 toneladas son importadas, esto representa el 59%. Por otra parte, los estados con mayor producción son: Jalisco, Coahuila y Durango y cabe destacar que los estados de Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí comprenden una cuenca lechera importante para sistemas de producción intensivo y familiar. En específico, el estado de Querétaro se ubica en el lugar 10 en cuanto a su contribución a la producción nacional de leche de bovino (SADER, 2018; SADER, 2020).

Figura 2. Producción mundial de leche en 2019 por los principales países (miles de toneladas).



(Adaptado de SIAP, 2020)

2.2 Ciclo estral en bovinos

El ciclo estral tiene dos fases, la primera es una fase lútea, que comienza después de la ovulación, la principal característica es que se forma el cuerpo lúteo, esta fase tiene una duración de 14-18 días; la segunda fase comprende el periodo posterior a la desaparición del cuerpo lúteo (luteólisis) hasta la ovulación esta fase tiene una duración de 4-6 días (Forde *et al.*, 2011).

Los sucesos reproductivos endocrinos están regulados por el hipotálamo, el cual secreta la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) que estimula la hipófisis, posteriormente la hipófisis secreta la hormona luteinizante (LH) y la hormona foliculoestimulante (FSH), que tienen efecto en los ovarios. En los ovarios se encuentran los folículos, responsables de secretar estrógenos (E2) e inhibina, además, en una etapa del ciclo estral también es posible encontrar el cuerpo lúteo que secreta progesterona. Finalmente, en el útero se produce y secreta prostaglandina F2 alfa. Estas hormonas actúan y están reguladas mediante sistemas de retroalimentación positiva y negativa, dependiendo de la etapa del ciclo estral en la que se encuentren (Colazo y Mapletoft, 2014^a).

El ciclo estral de los bovinos está clasificado como poliéstrico no estacional, los cuales tienen ciclos estrales cada 21 días (en un rango de 17 a 24 días). El ciclo comienza en el día 0 con la presentación de los signos propios de estro, el cual tiene una duración aproximada de 18 horas, con un rango de 4-24 horas, donde la principal característica es que la vaca permite ser montada (receptiva) y permanece inmóvil mientras se lleva a cabo esta acción (Atuesta y Diaza, 2011; Colazo y Mapletoft, 2014^a).

2.3 Manejo reproductivo en establos lecheros

La rentabilidad en las unidades de producción de leche, está asociada al desempeño reproductivo eficiente. Las unidades de producción animal se han visto en la necesidad de mejorar en rentabilidad; en el caso de los bovinos productores de leche un punto crítico es la fertilidad, por lo que se busca mejorar la eficiencia

reproductiva para disminuir el intervalo entre partos y evitar el desecho de ganado por problemas reproductivos (Núñez *et al.*, 2009).

La mayor cantidad de datos sobre el entorno endocrinológico de la vaca alta productora, sugieren una relación negativa entre la producción de leche y tasa de concepción, aunque el alcance de esto ha sido cuestionado, en los índices reproductivos no se ha determinado la relación que existe (Ptaszynska y Molina, 2007).

La producción de leche está influenciada por diversos factores, incluyendo las variaciones climáticas, el manejo de la alimentación, el valor nutricional de los ingredientes utilizados en la dieta, el manejo sanitario, reproductivo y el potencial genético de cada individuo (Velázquez y Hernández, 2008). Por esta razón, la rentabilidad de la empresa depende en gran medida de la eficiencia reproductiva de los bovinos productores de leche; sin dejar de lado que el valor de la gestación está influenciado por el número de lactación, la producción de leche, la persistencia de la curva de lactación y el potencial genético del bovino productor de leche. El costo de una nueva preñez es estimado con un valor de 278 dólares, dicho costo está determinado por factores dentro de los que se destacan el precio de la leche, el costo de la alimentación y la probabilidad de formar parte del desecho voluntario. Por otra parte, el costo de un aborto está estimado en 555 dólares en los Estados Unidos y depende de diversos factores como lo son: el periodo de la lactación donde se produce el aborto, el avance genético en la cría y la madre, entre otros; mientras que el valor de la nueva preñez aumenta cuando se da en la lactación temprana y decrece cuando se da en la lactación tardía (De Vries, 2006)^b.

Para evaluar el desempeño reproductivo se usan indicadores, un ejemplo es el indicador días abiertos y existen metas específicas sugeridas para cada sistema de producción (Núñez *et al.*, 2009). Las variables año de parto, estación de parto, número de lactancia y días abiertos tienen un efecto importante sobre la producción de leche ajustada a 305 días (Velázquez y Hernández, 2008).

Núñez *et al.*, (2009) indican que existen tres componentes principales asociados a las pérdidas económicas relacionadas con la fertilidad:

1.- Pérdidas debidas a la inseminación artificial (IA) en tiempo incorrecto: Durante el ciclo estral suelen presentarse problemas endocrinológicos, lo que ocasiona irregularidades en el ciclo estral, estas irregularidades tienen como resultado que la inseminación artificial se lleve a cabo en tiempo incorrecto (antes o después), por lo que no se logra una gestación.

2.- Prolongación del intervalo entre partos: Este intervalo se modifica por una lactación más larga y/o un aumento en los días del periodo seco. Estas variables se modifican debido al incremento de los días transcurridos desde el parto hasta el día de la concepción (preñez), con aumento en el indicador días abiertos y/o con el inicio del periodo seco de manera anticipada.

3.- Eliminación de ganado por razones reproductivas: La eliminación de ganado depende de la edad y nivel productivo de la vaca, el valor de esta causa está dada por los ingresos futuros que se dejan de percibir debido a la producción. Entre más joven sea el animal desechado la pérdida se considera mayor, porque además se toma en cuenta el potencial genético de las futuras crías que serían terneras de reemplazo para la unidad de producción.

Existen factores de riesgo que afectan el desempeño reproductivo, identificar los factores de riesgo permite diseñar estrategias que ayuden a mejorar la eficiencia reproductiva y por ende la productividad (Inchaisri *et al.*, 2010).

2.3.1 Parto

En las unidades de producción modernas, las vacas productoras de leche tienen el evento del parto en corrales grupales principalmente y una proporción menor, en corrales individuales. Actualmente, hay avances importantes en investigación, infraestructura y tecnología; sin embargo, las vacas sufren de manejos establecidos para cada unidad de producción, lo que ocasiona estrés. Este se ha tratado de reducir y brindar a la vaca un lugar confortable, cómodo y limpio

para que se lleve a cabo el parto (Rorvang *et al.*, 2016). Durante el parto existen factores de riesgo para la presentación de enfermedades uterinas post parto, las cuales tienen un efecto negativo en el desempeño reproductivo (Dubuc *et al.*, 2010).

El parto es un proceso que está determinado por el feto, con la interacción entre el hipotálamo, la glándula pituitaria y el eje suprarrenal fetal. El factor de liberación de corticotropina inicia el proceso del parto, este es secretado por el hipotálamo y estimula la liberación de hormona adrenocorticotrópica sintetizado en la glándula pituitaria anterior. La combinación de estos eventos da como resultado la liberación de cortisol fetal, siendo este el mecanismo desencadenante del parto, cabe destacar que una proporción pequeña de este cortisol llega a circulación sanguínea, el cortisol fetal estimula a que la madre libere cortisol, que debe llegar a circulación sanguínea y que aumenta entre las 25 y 32 horas antes del parto, llegando al pico más alto en el momento del parto y aproximadamente una hora posterior al parto, los niveles plasmáticos disminuyen (Hiew y Constable, 2015).

Se han establecido dos tipos de parto: 1.- El parto eutócico: se refiere al desarrollo de un parto de manera normal, no requiere ayuda o intervención por parte del humano. 2.- El parto distócico: se define como el nacimiento de una cría que requiere asistencia o ayuda por parte del humano para que pueda nacer. Dentro de las principales causas de distocia se identifican las siguientes variables: la relación cría-madre, con un tamaño mayor para la cría, malformaciones, partos gemelares, posición y presentación de la cría. Cuando se incrementan las distocias, se incrementa la probabilidad de que la cría nazca muerta, además de causar lesiones en la vaca (Mee, 2008^a). Por este motivo, antes de iniciar las maniobras obstétricas de parto se debe observar su desarrollo e identificar los signos, posteriormente se debe determinar que el proceso de parto ha comenzado y se debe evaluar el desarrollo del mismo, con un punto de vital importancia que es contar con personal capacitado (Schuenemann *et al.*, 2011). La presentación de un parto distócico tiene efectos negativos, los más destacados son: el incremento en la mortalidad de vacas y terneros, disminuye la producción láctea, aumenta el tiempo de involución uterina y afecta el desempeño reproductivo (Hiew y Constable, 2015).

2.3.2 Puerperio

El puerperio comprende desde el parto hasta que se lleva a cabo una involución uterina completa (día 0- día 45 post parto), los eventos ocurridos en esta etapa son de vital importancia para el retorno rápido a la actividad reproductiva (Martins y Borges, 2011). En ese periodo se reestablece el funcionamiento Hipotálamo-Hipófisis-Ovario con lo que se reinicia la actividad reproductiva (Reineri, 2016). Durante este periodo el bovino productor de leche es susceptible a presentar numerosas enfermedades categorizadas en dos grupos: enfermedades metabólicas y enfermedades infecciosas (Wittrock *et al.*, 2011).

Posterior al parto se inicia la regeneración del tejido uterino, comienza con la necrosis de las arterias carunculares, continua con la degeneración del endometrio intercaruncular y glandular. En este periodo se eliminan secreciones durante los primeros 15 días post parto, estas secreciones reciben el nombre de loquios (Hernández, 2016).

La involución uterina en bovinos es un proceso con una duración que oscila entre los 21 y 50 días, donde el útero sufre cambios para regresar al tamaño de un útero no grávido. Este proceso se caracteriza por la reducción del tamaño de los cuernos uterinos, el cuerpo del útero y la ausencia de contenido en el útero, se reestablece la forma inicial del cérvix, lo que permite el cierre del mismo. La involución uterina es afectada por factores que se presentan de manera individual, dentro de estos factores destacan el tipo de parto (normal-distocia, aborto, gemelar), sexo de la cría (macho-hembra), retención parcial de membranas fetales, metritis y presencia de enfermedades metabólicas (Martins y Borges, 2011). El inicio de las ondas foliculares comienza alrededor del día 10 post parto, aunque la primera ovulación ocurre alrededor del día 30 post parto (Martins y Borges, 2011; Hernández, 2016; Reineri, 2016).

2.3.3 Detección de estros

Con el paso del tiempo y las exigencias de producción el desempeño reproductivo ha disminuido, ya que se han presentado nuevos retos en la detección

de estros, por cambios ocasionados en la selección de bovinos con mayor capacidad para producir leche, además de manejos que se realizan en cada unidad de producción (Brusveen *et al.*, 2009). Un desafío es detectar estros de manera adecuada, ya que está influenciada por diversos factores, dentro de los más importantes se encuentran los animales, factores humanos y factores ambientales (Colazo y Mapletoft, 2014^b). Las deficiencias o una inadecuada detección del estro provoca: bajas tasas de inseminación, que la inseminación se realice fuera de tiempo, lo que da como resultado una disminución en el desempeño reproductivo (Colazo y Mapletoft, 2014^a). Dentro de las investigaciones realizadas por diversos autores, para determinar la eficiencia de la detección de estros de manera visual se han reportado valores entre el 40% (Roelofs *et al.*, 2015) y el 55% (Firk *et al.*, 2002), aunque cuando la detección se realiza de manera óptima, se incrementan los valores hasta el 60-90%, pero también se incrementa el costo por mano de obra, cuando la detección de estros se realiza de manera visual en la totalidad (Firk *et al.*, 2002; Roelofs *et al.*, 2015).

2.3.4 Protocolos de sincronización

El desarrollo de programas y protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (TAI), representan un aporte importante para mejorar el desempeño reproductivo en hatos lecheros. Dentro de los principales beneficios están el reducir el intervalo entre partos (Erpen *et al.*, 2015), disminuir la detección de estros por parte de personal capacitado, mejorar la tasa de inseminación y reducir el intervalo entre inseminaciones (Stevenson y Pulley, 2012; Giordano *et al.*, 2013), además de sincronizar la inseminación, ya que los animales que son sometidos a estos protocolos son inseminados, muestren celo o no (Colazo y Mapletoft, 2014^b).

2.3.4.1 Prostaglandina

La aplicación de prostaglandina F2 alfa (PGF2 α) es un tratamiento que se utiliza de manera rutinaria para la sincronización de celos en bovinos, por la acción luteolítica (Colazo y Mapletoft, 2014^b).

2.3.4.2 Presynch

La presincronización (Presynch) se realiza con 2 aplicaciones de PGF2 α , con intervalo de 14 días entre aplicaciones, al realizar las aplicaciones de prostaglandina se tiene como finalidad sincronizar los estros en un intervalo de tiempo. En este protocolo se deben observar los signos característicos de estro para realizar la inseminación artificial, la cual no se lleva a cabo a tiempo fijo (Stevenson y Pulley, 2012), este manejo se ha adoptado para que los días de aplicación de medicamentos sea el mismo día de la semana (Galvao *et al.*, 2010).

2.3.4.3 Ovsynch

El Ovsynch es uno de los protocolos más utilizados, la finalidad en la aplicación de este protocolo es sincronizar la ovulación, por lo que la observación de signos de estro no se realiza. La inseminación artificial se debe llevar a cabo a una hora establecida que está determinada por el horario en la aplicación del tratamiento hormonal (Stevenson y Pulley, 2012).

Este protocolo se basa en la aplicación de tres tratamientos hormonales:

1.- Se inicia con la aplicación de Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), la cual puede lograr dos efectos dependiendo la etapa del ciclo estral donde se encuentre el bovino. El primer efecto es que puede inducir un pico de hormona luteinizante (LH) y lograr que se lleve a cabo la ovulación del folículo dominante, posterior a la ovulación se inicia una nueva oleada de desarrollo folicular, con la diferenciación de un folículo dominante durante los próximos 7 días. En caso de que el folículo no sea responsivo a GnRH, porque no tiene receptores a hormona luteinizante para llevar a cabo la ovulación, la primer aplicación de GnRH hace que se inicie una nueva oleada de desarrollo folicular, provocando la atresia de los folículos que no fueron responsivos a GnRH.

2.- Se realiza la aplicación de PGF2 α , con la finalidad de inducir luteólisis del cuerpo lúteo, lo que permite que se inicie una nueva oleada de desarrollo folicular.

3.-La tercera aplicación de hormonas corresponde a GnRH, en un intervalo de 56 a 60 horas después de la aplicación de PGF2 α , con la finalidad de inducir un pico de hormona luteinizante para que se lleve a cabo la ovulación del folículo dominante, este se libera de 24 a 36 horas post aplicación de GnRH (Pursley *et al.*, 1995; Souza *et al.*, 2007).

2.3.4.4 Dispositivos intravaginales

Además de la aplicación parenteral de hormonas existen los dispositivos internos de liberación controlada de fármacos (CIDR, por sus siglas en inglés), en este caso de la hormona progesterona. El efecto de la progesterona es reducir los pulsos de hormona luteinizante y elimina el pulso preovulatorio de hormona luteinizante, como efecto al mantenimiento de los niveles de progesterona circulante (Erpen *et al.*, 2015).

2.3.5 Diagnóstico de gestación

Dentro de los métodos más utilizados para el diagnóstico de gestación se encuentran la palpación transrectal y el uso de ecografía transrectal, además se han desarrollado pruebas que permiten determinar la gestación por medio de la detección de glicoproteínas asociadas a la gestación. La finalidad de esta prueba es identificar las vacas que no están gestantes para incorporarlas al manejo reproductivo y realizar la inseminación artificial de manera rápida. Los beneficios de identificar más temprano las vacas no gestantes radican en el tiempo que se acorta entre inseminaciones (Giordano *et al.*, 2012).

2.3.6 Periodo de transición

El periodo de transición comprende la etapa final del periodo seco (gestación tardía) y el inicio de la lactación (lactación temprana). En este periodo de tiempo ocurren cambios, el primer cambio es la disminución en la ingesta de materia seca (Grummer *et al.*, 2004), mientras que los requerimientos nutricionales y energéticos se incrementan (Grummer *et al.*, 2004; Santschi *et al.*, 2010; Maineau y Manteca, 2011). En este periodo se incrementa la probabilidad de presentar

enfermedades (Atkinson, 2016), en la etapa final de la gestación se debe preparar al bovino para el parto y el inicio de la lactación, con una adaptación ruminal a los ingredientes de la ración que recibe en el post parto temprano. Este manejo tiene como objetivo disminuir la incidencia de enfermedades metabólicas y disminuir el efecto de las enfermedades reproductivas en el post parto (Santschi *et al.*, 2010).

En el inicio de la lactación la producción de leche llega a ser hasta 10 veces más de lo que cubre la ingesta de alimento y con esto se provoca un balance energético negativo. Cuando este se da de manera severa, el resultado es una patología metabólica denominada cetosis (Grummer *et al.*, 2004), todos estos cambios hacen que el bovino sea susceptible a otras enfermedades ya que, de cierta manera se compromete la respuesta inmune. Dentro de los principales problemas en el periodo post parto se encuentran: complicaciones durante el parto, infecciones uterinas y la presencia de enfermedades metabólicas; por todo lo anterior, se debe ofrecer un ambiente limpio, confortable y sin factores de estrés para que el parto se desarrolle de manera natural y que después de este, la recuperación sea rápida y saludable. Posterior al parto se deben monitorear los cambios de comportamiento de los animales y la presencia de signos de enfermedad (Schirmann *et al.*, 2013).

El balance energético negativo es un desorden que predispone al bovino productor de leche a desarrollar algunas patologías metabólicas, siendo las más importantes cetosis, desplazamiento de abomaso, además de la asociación con enfermedades reproductivas como la retención de placenta y metritis, así como aumentar la susceptibilidad para que se desarrollen infecciones secundarias (Grummer *et al.*, 2004).

2.4 Indicadores de desempeño reproductivo

Los indicadores de desempeño reproductivo muestran de forma didáctica los objetivos de cada una de las variables a analizar, con la información se pueden hacer estimaciones del comportamiento productivo y reproductivo de la unidad de producción (Picardi, 2014). Los eventos reproductivos son la base para el manejo

reproductivo de los establos, es necesario individualizar los registros. Las unidades de producción deben contar con indicadores y valores óptimos de acuerdo a las necesidades de cada unidad de producción (Núñez *et al.*, 2009). A continuación, se mencionan algunos indicadores de desempeño reproductivo, y en el Cuadro 1 se presenta un resumen con los indicadores, la forma de calcularlos, el valor óptimo y los valores límite.

- Intervalo entre partos: Son los días que transcurren entre partos (Fetrow *et al.*, 1990).

- Días abiertos: son los días que transcurren desde el parto de una vaca hasta el día post parto en el que recibe la inseminación donde se produce la gestación (Fetrow *et al.*, 1990; Piccardi, 2014). Núñez *et al.*, (2009) reportan el valor óptimo para este indicador ≤ 120 días.

- Servicios por concepción: Son los servicios (inseminaciones) que se le dan a una vaca para que quede gestante (preñez confirmada) (Fetrow *et al.*, 1990). Servicios por concepción= Vacas inseminadas/ vacas gestantes.

- Tasa de detección de celos: Este parámetro indica la proporción de vacas que son vistas en celo en cada periodo de 21 días (Fetrow *et al.*, 1990).

- Eficiencia detección de estros (valor óptimo $\geq 70\%$) (Núñez *et al.*, 2009).

- Tasa de Preñez: Este indicador es confiable para medir el desempeño reproductivo general, porque indica la proporción de vacas elegibles que quedan gestantes en cada periodo de 21 días, entendiendo por elegibles a todos los animales que han pasado el PEV (Fetrow *et al.*, 1990).

Piccardi (2014), define los siguientes indicadores de desempeño productivo:

- Días en leche: Son los días transcurridos, desde el parto hasta el día de secado o venta/eliminación, donde la vaca deja de ser productiva.

- Días en leche al pico de lactancia, son los días que pasan desde el parto, hasta los días en leche donde se tiene la máxima producción.

- Litros acumulados a 305 días, es el ajuste de la producción de litros de leche producidos y acumulados durante la lactación ajustado a 305 días en lactación

(duración de una lactación perfecta), 305 días en producción de leche y 60 días de periodo seco.

Núñez *et al.*, (2009) presenta los siguientes indicadores de desempeño reproductivo, donde se destacan los valores óptimos para cada uno.

- Porcentaje de vacas inseminadas dentro de los 21 días posteriores al PEV: se refiere a las vacas que reciben la primera inseminación, una vez que transcurren los días en leche establecidos del PEV, tomando como referencia un ciclo de 21 días (valor óptimo $\geq 80\%$).

- Tasa de desecho por problemas reproductivos, con respecto al total de desechos voluntarios (valor óptimo $<25\%$).

- Tasa de concepción a 1er servicio: Este valor es expresado en porcentaje, se obtiene del total de las vacas quedan gestantes al recibir la primera inseminación artificial (valor óptimo vaca $\geq 35\%$).

- Días a 1er estro post parto: son los días que transcurren desde el parto hasta la aparición de signos propios de estro en los bovinos (valor óptimo <40 días).

- Días a primer servicio: Son los días que transcurren del parto a la primera inseminación. El valor óptimo se encuentra en un rango de 45-70 días; este valor está influenciado por el PEV que se tiene en el hato (Fetrow *et al.*, 1990; Núñez *et al.*, 2009).

- Tasa de concepción: Es el número de animales que quedan gestantes/preñadas del total de animales inseminados, expresado en porcentaje (Fetrow *et al.*, 1990).}

Cuadro 1. Indicadores reproductivos generales y su valores óptimos y límite en sistemas intensivos de producción de leche.

| INDICADOR | FORMA DE CÁLCULO | VALOR ÓPTIMO | VALORES LÍMITE |
|--|---|---|----------------|
| Días a primer servicio post parto | Promedio del número de días transcurridos entre el parto y el día del primer servicio | 45 a 70 días, depende del periodo de espera voluntario del hato | ≥75 días |
| Tasa de concepción a 1er servicio (%) | De las vacas sometidas a diagnóstico de gestación, número de gestantes entre el número total x 100 | ≥50% | <35% |
| Días abiertos | Promedio del número de días transcurridos entre el día de parto y el día de concepción | ≤ 120 días | > 140 días |
| Tasa de abortos (%) | De las vacas confirmadas gestantes a 100 días post concepción, número de las que no llegan a término entre el total x 100 | ≤ 5 % | > 10 % |

(Núñez *et al.*, 2009)

2.5 Factores que impactan el desempeño reproductivo

El evento más importante en el post parto es el inicio de la actividad reproductiva, sin embargo, en los sistemas de producción intensivos hay una probabilidad alta en el retraso en el inicio de la actividad reproductiva (Dubuc *et al.*, 2012). Dentro del inicio en la actividad reproductiva hay un rango variable entre los individuos, lo que da como resultado valores contrastantes entre las vacas del hato (Galvao *et al.*, 2010). La ovulación temprana dentro de los primeros 21 días en leche está relacionada con el desempeño reproductivo en la lactación, caso contrario cuando esta ocurre después de los 50 días en leche, ya que tiene un impacto negativo en el desempeño reproductivo (Galvao *et al.*, 2010).

El balance energético negativo, la pérdida de condición corporal, la presencia de enfermedades reproductivas y metabólicas son los principales factores que afectan el inicio de la actividad reproductiva.

2.5.1 Aborto

El aborto se define como la pérdida de la gestación a partir del periodo fetal, cuando el evento ocurre dentro del intervalo 42- 260 días de gestación (Meléndez *et al.*, 2010; Soto *et al.*, 2010). En México se desconoce la causa de aborto en aproximadamente el 70% de los casos. En las unidades de producción lechera en México, los abortos representan una de las principales causas de desecho considerando la producción de leche, problemas post parto y metritis, entre otras (Meléndez *et al.*, 2010).

Existen enfermedades que están relacionadas con la presentación de abortos, dentro de las que destacan Neosporosis bovina (*Neospora caninum*), brucelosis (*Brucella abortus*), Diarrea Viral bovina (DVB), entre otras; aunque no se ha determinado el impacto de cada enfermedad (Meléndez *et al.*, 2010). *Neospora caninum* ha estado asociada a la presencia de abortos en las unidades de producción animal, principalmente cuando los abortos se presentan entre el tercer y noveno mes de gestación. Para determinar la presencia del agente causal es necesario realizar pruebas de laboratorio, mediante la presencia de anticuerpos por la técnica (ELISA) y la presencia de Ácido Desoxirribonucleico (ADN) en muestras de agua, mediante la técnica de reacción en cadena de polimerasa (PCR) (Sierra *et al.*, 2011). La presencia de abortos incrementa los días abiertos, servicios por concepción, el intervalo entre partos y los días abiertos en relación a las vacas que no presentan abortos (Meléndez *et al.*, 2010).

2.5.2 Enfermedades uterinas puerperales

El ganado bovino es susceptible a sufrir enfermedades en el periodo post parto, dichas enfermedades tienen un impacto negativo en el desempeño reproductivo. Los factores predisponentes incluyen la inmunosupresión, exposición a traumatismos, contaminación uterina y enfermedades metabólicas (Molina y Lucy,

2018). Durante y después del parto, se ha encontrado que existe contaminación bacteriana en alrededor del 80-90% de los bovinos productores de leche.

El desarrollo de metritis se da durante la primer y la tercera semana post parto; cuando la infección persiste por más de tres semanas causa endometritis (Potter *et al.*, 2010). Los principales efectos de las enfermedades uterinas son: disminución en la TC1S, incremento en los días a primer servicio, disminución en la tasa de concepción, disminución en la producción láctea e incremento en el costo de los tratamientos aplicados e infertilidad (Sheldon *et al.*, 2009).

2.5.2.1 Retención de placenta

Las membranas fetales son un órgano esencial para la transferencia de oxígeno y nutrientes de la madre al feto, provee termorregulación del feto, eliminación de residuos y secreta progesterona al torrente sanguíneo para mantener la gestación. La expulsión de membranas fetales es un proceso que se debe completar durante las siguientes 8 horas posteriores al parto, cuando el tiempo transcurrido después del parto es mayor a 8 horas se habla de retención de placenta (Taguesu y Ahmed, 2017). Sheetal *et al.* (2015) refieren que las membranas fetales deben expulsarse dentro de las primeras 12-15 horas post parto, una vez transcurrido este tiempo se considera retención de placenta. La retención de membranas fetales es una de las patologías más comunes que afecta la producción láctea y la reproducción de los bovinos (Carrera *et al.*, 2017).

Existen factores de riesgo para que ocurra la retención de membranas fetales, los eventos más importantes son: el aborto (incidencia de 25.9%), parto gemelar (16.4%), parto prematuro, distocia, inducción del parto, mortinatos (43.8%), el tamaño de la cría y la edad al parto (Carrera *et al.*, 2017; Taguesu y Ahmed, 2017). Hernández (2016), destaca los errores en el manejo y la intervención en la atención de partos como principal factor para que se desarrolle esta patología. Además, existen asociaciones entre los factores antes mencionados con el manejo nutricional en el periodo preparto y la presencia de infecciones asociadas con agentes bacterianos (Taguesu y Ahmed, 2017).

La incidencia de la retención de placenta oscila entre un 4% hasta 22% (Núñez *et al.*, 2009; Córdova *et al.*, 2017; Taguesu y Ahmed, 2017), y este evento es un factor predisponente para desarrollar metritis y endometritis. El desarrollo de estas patologías representa un gasto adicional por los medicamentos que se utilizan para tratar dichas enfermedades y tienen un impacto negativo en el desempeño reproductivo (Córdova *et al.*, 2017).

Uno de los factores que se ha determinado para la retención de placenta es la disminución en la actividad de la colagenasa, por lo que se propone que es la principal causa para la disminución de los mecanismos proteolíticos encargados de la separación de la carúncula del cotiledón (Hernández, 2016).

El tratamiento está compuesto por la aplicación de hormonas (oxitocina, estrógenos y PGF 2 alfa), aplicación de antibióticos vía intrauterina y/o sistémica. La remoción manual NO está indicada ya que ocasiona daños en el endometrio (hemorragias, hematomas y disminuye la capacidad fagocitaria de los leucocitos) (Hernández, 2016; Taguesu y Ahmed, 2017).

Los efectos de la retención de placenta se asociación con la disminución en la producción de leche en las primeras semanas post parto, aumento del intervalo entre partos, incrementa los servicios por concepción e incremento en el riesgo de presentar enfermedades metabólicas y reproductivas (Taguesu y Ahmed, 2017).

2.5.2.2 Metritis

Es una de las enfermedades con mayor incidencia durante el periodo post parto; aunque se han realizado diversas investigaciones para determinar el impacto que tiene en la producción láctea, este no ha sido determinado (Wittroock *et al.*, 2011). Se presenta principalmente durante la primera semana post parto, se caracteriza por descarga de fluido viscoso color rojo- café con olor fétido, donde están involucradas las diferentes capas del útero (mucosa, muscular y serosa). La incidencia de esta enfermedad es variable, aunque se han reportado incidencias de hasta un 40% de las vacas frescas entre la primer y tercera semana post parto.

Los signos clínicos más evidentes son: descenso en la producción láctea, fiebre $>39.5^{\circ}\text{C}$, depresión, deshidratación, descarga vaginal color rojo-marrón, olor fétido de las descargas uterinas y puede haber signos de toxemia (Sheldon *et al.*, 2009; Haimerl y Heuwieser, 2014; Hernández, 2016). Dentro de esta enfermedad se encuentra la metritis puerperal tóxica–séptica, siendo la única afección que puede poner en riesgo la vida de la vaca por la presencia de endotoxinas que pueden llegar a la circulación sanguínea (Meléndez *et al.*, 2010).

Wittrock *et al.*, (2011) reportan los efectos ante la ausencia o presentación de metritis en vacas primíparas y multíparas, destacando para las vacas con metritis un incremento en los días al servicio fértil y un incremento en el intervalo entre partos.

Vacas multíparas: La presencia de metritis aumenta los días abiertos de 107 ± 10 días en vacas multíparas que no presentaron metritis a 112 ± 18 días en vacas que presentaron metritis.

No hay efecto en los servicios por concepción, con 2.1 ± 0.3 servicios por concepción para vacas que presentaron metritis, contra 2.1 ± 0.5 servicios por concepción para vacas con presencia de metritis.

Vacas primíparas: La presencia de metritis aumenta los días abiertos de 93 ± 16 en vacas primíparas en ausencia de metritis a 106 ± 17 días en vacas que presentaron metritis.

Hay un efecto para los servicios por concepción para vacas primíparas que presentaron metritis con 2.4 ± 0.4 servicios por concepción comparado con 1.6 ± 0.4 servicios por concepción para vacas primíparas que no presentaron metritis.

La presencia de agentes infecciosos no determina que el bovino presente metritis puerperal, ya que la respuesta inmune individual del bovino es quien determina la presencia o ausencia de esta enfermedad uterina (Sheldon *et al.*, 2006). Dentro de las bacterias más comunes que causan infección en el periodo post parto se encuentran *Streptococcus spp.* (20%), *Arcanobacterium pyogenes*

(16%) y *Escherichia coli* (16%). Para el tratamiento de las infecciones producidas por bacterias se usan antibióticos, los más comunes son: Penicilina G procainica, Cefotiofur y Ampicilina vía parenteral, en asociación con tratamiento intrauterino de oxitetraciclina, ampicilina y cloxacilina (Nak *et al.*, 2011).

2.5.2.3 Endometritis clínica

La endometritis clínica se presenta después del día 21 día post parto, se caracteriza por presentar una descarga purulenta que se puede observar a través de la vagina de animales enfermos. Dentro de los efectos más importantes se encuentran el daño tisular, la variación en los días a la involución uterina y la perturbación/modificación de los ciclos ováricos; en conjunto provocan afección en las variables de desempeño reproductivo (Sheldon *et al.*, 2009; Potter *et al.*, 2010). La endometritis clínica se presenta en un 80-90% de las vacas recién paridas, sin embargo, en la mayoría de los casos la infección es controlada y se resuelve con una involución uterina normal. Pero cuando existe problema para controlar la infección, esta persiste durante más de tres semanas, se desarrolla endometritis clínica en 10-20% de los casos (Potter *et al.*, 2010).

Las bacterias asociadas con la endometritis clínica son: *Escherichia coli*, *Arcanobacter pyogenes*, *Fusobacterium necrophorum* y *Prevotella sp.*, estos organismos se encuentran en las heces fecales, la severidad del daño y las lesiones causados dependen de la patogenicidad del agente causal y la respuesta inmune de la vaca (Miller *et al.*, 2007^a; Sheldon *et al.*, 2009).

Los factores de riesgo asociados a la presentación de la endometritis clínica son: tiempo de gestación, muerte fetal, asistencia durante el parto, retención de membranas fetales, parto gemelar, sexo de la cría macho y cesárea. De estos factores, el que presenta mayor influencia es la retención de membranas fetales ya que permanece el cérvix abierto (barrera física contra infecciones), disminuye la velocidad de involución uterina y la regeneración del endometrio (Potter *et al.*, 2010).

2.5.2.4 Endometritis subclínica

La endometritis subclínica es la inflamación del endometrio, está asociada a la endometritis clínica y provoca daños en el endometrio. Esta patología no presenta signos clínicos por lo que solamente es posible su diagnóstico cuando los neutrófilos polimorfonucleares exceden entre el 5.5%-10% de las células totales en muestras del lumen uterino obtenidas mediante la técnica de cytobrush, tomadas después de 5 semanas post parto (Sheldon *et al.*, 2009).

2.6 Enfermedades metabólicas

El periodo de transición comprende tres semanas previas al parto y tres semanas posteriores al parto, en este periodo las vacas sufren diversos cambios que le ayudaran a adaptar el rumen a la dieta que se va a ofrecer en el periodo post parto, adaptar el metabolismo para el inicio de la lactación y se prepara para la lactogénesis. Durante el periodo de 3 semanas antes del parto se prepara a las vacas para el parto y se trabaja con una diferencia anión- catión negativo en la dieta (-100 a -150 mEq/kg de materia seca), con la finalidad de disminuir el calcio circulante en sangre y manipular la homeostasis preparto y postparto (Thatcher *et al.*, 2011).

En el periodo post parto (lactación temprana) los bovinos productores de leche tienen un riesgo alto de desarrollar enfermedades que afectan el desempeño de la lactación (Hernández, 2016; Neves *et al.*, 2018). La presencia de trastornos en el post parto temprano está asociada a errores durante el periodo de transición, con lo que se desarrollan los eventos metabólicos (hipocalcemia, cetosis y desplazamiento de abomaso) solo por mencionar algunos (Hernández, 2016).

2.6.1 Hipocalcemia

La hipocalcemia es una enfermedad ocasionada por un desbalance metabólico en el que disminuye la concentración de Calcio circulante en plasma sanguíneo. Afecta entre el 3 y 10% de las vacas en las horas posteriores al parto, la incidencia de esta enfermedad está asociada a diversos factores, dentro de los

más destacados se encuentran la raza, edad, número de parto y la alimentación (Goff, 2008). En la gestación tardía, específicamente en el parto, se administra dieta con diferencia de aniones-cationes, lo que provoca cambios metabólicos en la síntesis y adsorción de Calcio, reduciendo la sensibilidad de los tejidos como los huesos y los riñones al estímulo de la hormona paratiroidea para tratar de establecer homeostasis entre las concentraciones de Calcio (Goff, 2014; Goff y Koszewski, 2017). Al modificar la dieta agregando aniones se produce una dieta baja en diferencia de aniones cationes provocando una acidosis metabólica, lo cual sensibiliza al metabolismo para una mejor absorción y remoción de calcio de depósitos óseos (Melendez *et al.*, 2002; Goff y Koszewski, 2017). Estos ajustes se realizan con la finalidad de satisfacer los requerimientos de calcio, ya que el calcio participa en el crecimiento fetal, la producción de calostro y las contracciones del musculo liso y estriado (Goff, 2008; Goff y Koszewski, 2017).

2.6.2 Cetosis

En el periodo de transición los bovinos productores de leche sufren una cantidad importante de cambios metabólicos, aumentando los requerimientos energéticos, disminuyendo la ingesta de materia seca y presentando pérdida de condición corporal (Saborío y Sánchez, 2014). Para disminuir los efectos ocasionados en la lactación, el organismo promueve la movilización de grasa (reserva energética), provocando beta oxidación excesiva y la circulación de ácidos grasos en sangre y la cetogénesis. El resultado de lo anterior es que se incrementan las concentraciones de Betahidroxibutirato en plasma sanguíneo, ocasionando la presencia de cetosis. Altas concentraciones de ácidos grasos no esterificados (NEFA, por sus siglas en inglés) en plasma sanguíneo antagonizan con la resistencia a la acción de la insulina lo que da como resultado la disminución de glucosa en los tejido, generando ácidos grasos no esterificados resultado del proceso de lipólisis; los NEFA's son metabolizados en el hígado, para compensar las necesidades energéticas de los procesos fisiológicos de los bovinos principalmente al final de la gestación, en la lactación temprana y en procesos reproductivos (Butler *et al.*, 2006; Roche *et al.*, 2009; Thatcher *et al.*, 2011).

Una acumulación de NEFA's ocasiona que el hígado no tenga la capacidad para oxidarlos y generar energía, incrementando los niveles de betahidroxibutirato (β HBA) y aceto acetato, lo cual ocasiona un desbalance produciendo cetosis; otra manera en la que se incrementan los niveles de betahidroxibutirato, es por absorción ruminal de butirato el cual se convierte fácilmente en betahidroxibutirato (Duffield, 2000; Oetzel, 2007; Duffield *et al.* 2009). La pérdida de 1 punto o más de condición corporal (escala de 1 al 5), la presencia de cetosis y el aumento de ácidos grasos no esterificados, tienen un efecto negativo sobre el desempeño reproductivo (Thatcher *et al.*, 2011). La cetosis se puede clasificar en cetosis clínica y cetosis subclínica, para la cetosis subclínica la concentración sanguínea de betahidroxibutirato es menor a 1,4 mmol/litro, mientras que para la cetosis clínica el valor es mayor a 1,4 mmol/litro (Oetzel, 2007; Duffield *et al.* 2009). La presencia de cetosis en la lactancia temprana en los hatos, incrementa la incidencia de desplazamiento de abomaso e incrementa la probabilidad de desecho en los primeros 60 días en leche (Duffield y Bagg, 2002). Para determinar el tipo de cetosis se mide la concentración de betahidroxibutirato en sangre, el cual se toma como referencia porque es el cuerpo cetónico más estable; se ha encontrado que las vacas en lactancia temprana con concentraciones de betahidroxibutirato en sangre mayor a 1,4 mmol/litro, tienen 3 veces mayor probabilidad de presentar desplazamiento de abomaso (Oetzel, 2007).

Los signos clínicos de cetosis son: pérdida de condición corporal, pérdida de peso, anorexia y disminución en la producción de leche; la determinación de los signos clínicos se realiza de manera subjetiva, por lo que es necesario realizar pruebas diagnósticas complementarias para el diagnóstico y determinar la presencia de cuerpos cetónicos en sangre. La prevalencia indica una medida instantánea que se define como la proporción de vacas con cuerpos cetónicos en sangre con niveles superiores a 1.2 mmol/litro en cierto momento (McArt *et al.*, 2012).

La presencia de cetosis en un hato tiene efectos no deseables para la unidad de producción, ya que disminuye la producción de leche, aunque este

impacto es difícil de estimar (McArt *et al.*, 2012). Se han realizado estudios donde Duffield *et al.*, (2009) reportaron la disminución en la producción de leche de 4.1 libras (1.85 litros diarios) lo que se estima en una disminución de 5.5% en comparación con vacas que no presentaron cetosis y McArt *et al.*, (2012) reportaron una disminución de 2.6 libras (1.17 litros) menos en la producción diaria de leche, lo que representa una disminución de 3.4% en comparación con las vacas que no presentaron cetosis. Las vacas que presentaron cetosis tienen una mayor probabilidad de ser eliminadas del hato en los primeros 30 días en leche (1.4 veces más en relación con vacas que no presentaron cetosis), dentro de este estudio se encontró que las vacas que no fueron tratadas para corregir el problema metabólico presentan 2.1 mayor probabilidad de ser eliminadas en los primeros 30 días en leche.

2.6.3 Desplazamiento de abomaso

El desplazamiento de abomaso es una enfermedad que se desarrolla en las primeras semanas post parto, en la cual se encuentran varios factores incluidos (Doll *et al.*, 2009). Esta enfermedad se caracteriza por la acumulación de gas en el abomaso, lo que provoca su deslizamiento sobre el abdomen, con una modificación en la posición anatómica (Van Winden y Kuiper, 2003). Las vacas que durante el inicio de la lactación presentan cetosis tienen mayor riesgo de sufrir desplazamiento de abomaso en relación 2.6 veces más que las vacas que no presentan cetosis (Duffield *et al.*, 2009). Este valor es contrastante con los valores de Ospina *et al.* (2010), reportando 6.9 veces más probabilidad de presentar desplazamiento de abomaso cuando tiene cetosis. Estos resultados tienen variación con estudios más recientes, McArt *et al.*, (2012) reportaron 19.3 veces más probabilidad de presentar desplazamiento de abomaso cuando las vacas presentan cetosis en el inicio de la lactación, además reportan que vacas que reciben tratamiento (DRENCH, propilenglicol oral) comparadas con vacas que no reciben tratamiento tienen 1.6 veces menor probabilidad de presentar esta patología.

2.6.4 Balance energético negativo (BEN)

Los requerimientos energéticos durante la lactación temprana se incrementan por la producción de leche, provocando un balance energético negativo durante el periodo de transición. En el periodo post parto se presentan dos eventos, el primer evento está relacionado con la ingesta de materia seca, la cual es insuficiente para cubrir los requerimientos nutricionales y el segundo que la producción de leche aumenta conforme transcurren los días en leche. La suma de estos eventos, requiere que las vacas hagan ajustes en su metabolismo para compensar la deficiencia en requerimientos, principalmente de energía, por lo que es necesaria la movilización de tejido adiposo para disminuir este efecto (Carvalho *et al.*, 2014). Existe interacción entre múltiples factores durante el periodo post parto, algunos ejemplos son: la nutrición, la producción de leche, estrés calórico y presencia de enfermedades reproductivas (Thatcher *et al.*, 2011).

Dentro de las dos primeras semanas por parto (aproximadamente del día 10 al día 15) se comienza a notar el balance de energía negativo, pasando esta condición aproximadamente entre la semana 5 y 8 post parto (día 35- 56 días post parto). Este periodo es dinámico y los principales cambios que se dan son los siguientes: 1.- pérdida de condición corporal; 2.- movilización de reservas corporales principalmente lípidos y 3.- movilización de tejido muscular (Thatcher *et al.*, 2011).

El desarrollo folicular en los bovinos, a partir de un folículo primordial hasta llegar al estado de folículo dominante dura alrededor de 80-100 días, por lo que el balance energético negativo afecta el crecimiento de dichos folículos y con ello la producción de estradiol. Además, disminuye la secreción de hormona luteinizante (LH) dada por una disminución de la secreción de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), por lo que los óvulos sufren atresia. La disminución de los pulsos de GnRH es influenciada por la leptina, cuya función principal es mantener el balance energético, esta hormona es secretada por el tejido adiposo, así que cuando disminuye la cantidad de grasa disminuye la cantidad de leptina circulante y por lo tanto disminuyen los pulsos de GnRH. Al encontrarse en balance de energía negativo los niveles de insulina disminuyen en sangre, este nivel bajo disminuye el

estímulo de hormona folículo estimulante (FSH) y disminuye la secreción pulsátil de hormona luteinizante (LH) y la secreción de progesterona, lo que está relacionado con disminución de la tasa de concepción (Bach, 2002; Carvalho *et al.*, 2014).

2.7 Periodo de espera voluntario

El periodo de espera voluntario (PEV) hace referencia a los días que transcurren desde el parto hasta el día en que se recibe la inseminación artificial, este valor es variable para cada hato y es un valor clave para la gestión reproductiva de un hato (Miller *et al.*, 2007^b). Esta herramienta puede modificar algunos indicadores de desempeño reproductivo, dentro de los que destacan días a primer servicio, intervalo entre partos y días abiertos (Inchaisri *et al.*, 2010; Inchaisri *et al.*, 2011; Hernández, 2016; Stangaferro *et al.*, 2017).

En los establos se han implementado estrategias de manejo para mejorar la eficiencia a primer servicio, la primera estrategia es la inseminación a celo detectado y reciente se han realizado estudios con protocolos de pre-sincronización a base de prostaglandinas F2 alfa y combinar pre-sincronización-Ovsynch y en el último caso llevar a cabo la primera inseminación a tiempo fijo (Stangaferro *et al.*, 2017).

La TC1S es influenciada por múltiples factores, entre los más importantes se encuentran el estado de lactación, la presencia o ausencia de enfermedades en el periodo post parto, el balance energético negativo, la expresión y detección de estros y las características individuales de las vacas, por lo que es difícil establecer un parámetro óptimo; aunque un punto importante es la involución uterina (Miller *et al.*, 2007^b; Inchaisri *et al.*, 2010; Inchaisri *et al.*, 2011).

El PEV recomendado oscila entre los 45 a 70 días post parto, ya que después de los 45 días se ha completado la involución uterina y ha comenzado la función normal del ovario (Núñez *et al.*, 2009; Inchaisri *et al.*, 2010; Inchaisri *et al.*, 2011). Inchaisri *et al.*, 2011 reportan en el modelo Pérdidas económicas netas (ANEL, por sus siglas en ingles) que incrementar de 49 días a 56 días el PEV incrementa desde 2 a 5 euros el costo por día abierto, con una media de 0.8 euros,

aunque el costo por día abierto depende de otras interacciones específicas para cada unidad de producción, donde intervienen el costo de producción del litro de leche, el valor del litro de leche en el mercado, el costo de la inseminación artificial, la producción ajustada a 305 días y la persistencia de la producción entre otros. Disminuir los días del PEV, está asociado con la disminución del intervalo entre partos (Miller *et al.*, 2007^b). El PEV es diferente para cada unidad de producción, siendo óptimo desde los 49 hasta los 70 días post parto.

III JUSTIFICACIÓN

Con el paso del tiempo, las unidades de producción animal se han visto en la necesidad de mejorar la rentabilidad a través de mayor eficiencia en sus procesos productivos. En el caso de los bovinos productores de leche, un punto crítico es el desempeño reproductivo y la eficiencia lechera, los cuales están asociados directamente con la rentabilidad. La alimentación representa el mayor costo de producción mientras que la producción de leche y la capacidad de la vaca para convertir el alimento en leche disminuyen conforme transcurren los días en leche, por lo que es necesario lograr una gestación lo antes posible para disminuir los días en leche y mantener una mayor cantidad de animales en etapas más tempranas de la curva de lactación. Una herramienta de manejo para lograrlo, es el PEV que busca alcanzar una meta mínima de TC1S y a su vez minimizar los días abiertos. Por otra parte, en los establos modernos se registra una gran cantidad de información día a día. Sin embargo, pocas veces es analizada profundamente para determinar estrategias o políticas de manejo, como es el caso en la determinación del PEV ideal.

IV HIPÓTESIS

El periodo de espera voluntario ideal desde un punto de vista reproductivo se puede determinar evaluando el efecto de días en leche, número de lactación y sexo de la cría sobre la tasa de concepción al primer servicio.

V OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis retrospectivo de bases de datos en un establo comercial para determinar el periodo de espera ideal con base a factores individuales.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener y analizar la información del hato sobre los siguientes eventos: número de lactación, fecha de parto, sexo de la cría, presencia de enfermedades metabólicas y reproductivas, problemas podales y tasa de concepción a primer servicio por número de lactación.
- Determinar el impacto de días en leche, número de lactación y sexo de la cría, sobre la tasa de concepción a primer servicio.
- Determinar el periodo de espera voluntario en un establo comercial.

VI MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Cumplimiento de normas éticas

Este estudio fue aprobado por el comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales con el oficio 55FCN2020.

6.2 Ubicación y condiciones climáticas

El estudio se llevó a cabo en un establo comercial ubicado en El Marqués, Querétaro, México (20°37' N). El clima es semi-seco en el 80% del municipio y el resto clima templado-húmedo, la temperatura promedio anual está comprendida entre 18 y 24°C, mientras que para el clima templado húmedo el rango es de 14 a 16 °C. La unidad de producción posee 116 hectáreas, de las cuales 8 hectáreas están destinadas al establo y 108 hectáreas pertenecen al área agrícola.

6.3 Manejo en la unidad de producción

6.3.1 Manejo general del establo

La sala de ordeño es tipo tándem, con dos salas en espejo y cada sala cuenta con 14 plazas para un total de 28 plazas. Se realiza la ordeña tres veces al día 12:00 pm, 8:00 pm y 4:00 am; las instalaciones tienen 11 corrales con asoleadero y 8 corrales sin asoleadero para las vacas en línea de ordeño. Los registros corresponden al periodo enero 2019-diciembre 2019.

En el año 2019 el promedio de vientres fue de 1241, con un promedio de 1095 vacas en línea de ordeña, el promedio de litros de vaca por día fue de 33.7 litros, desecho anual acumulado de 36% y desecho en los primeros 60 DEL con un promedio anual de 5.4%.

6.3.2 Manejo al secado y parto

La gestación se confirma mediante palpación transrectal cuando tienen entre 213 y 220 días post-inseminación. Una vez confirmada la preñez, se inmuniza contra los siguientes agentes: *Clostridium* sp (10 serotipos), Rotavirus-coronavirus,

Virus de rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR), Diarrea viral bovina (BVD tipo 1 y 2), Parainfluenza 3 (PI3), Virus respiratorio sincitial bovino (BRSV) y cultivos avirulentos de *Mannhemia haemolytica* y *Pasteurella multocida*. Una vez que se han realizado estos manejos ingresan a la sala de ordeño para que se ordeñen por última vez y se aplique al final el tubo intramamario a base de Cefalexina, una vez aplicado el tubo se aplica el sellador de pezones y las vacas se envían al corral de vacas secas. En el corral de vacas secas permanecen mínimo 30 días, para después cambiarlas de lote al corral de vacas próximas al parto cuando tienen 250 días de gestación. Al momento de cambiarlas de corral se aplica una segunda dosis de *Clostridium sp.* (10 serotipos).

En el corral de vacas próximas al parto permanecen en promedio 21 días donde se brinda una dieta aniónica (Orosecas próximas). Este corral cuenta con un paridero, pero se procura dejar que el parto se desarrolle en el corral.

Una vez que la vaca pare, se extrae el calostro con ayuda de una ordeñadora de una plaza. La vaca se marca en el anca con la fecha de parto y se coloca un collar con una cinta para identificar el corral al que va a ingresar. Las vacas recién paridas permanecen en el corral de frescas de 15-21 días, dentro de estas primeras semanas en lactación se monitorea de manera especial la salud de los bovinos. Posteriormente, se cambian de corral a los corrales de formación, en éste se realiza la primera revisión reproductiva del ganado a los 35-42 días post parto, también aquí se lleva a cabo una segunda inmunización con agentes virales.

6.3.3 Manejo de la alimentación

En el año 2019 la base de la alimentación es el silo de maíz, concentrado para producción, concentrado para las vacas que se encuentran en el periodo de reto, salvado húmedo y maíz rolado para las vacas en producción. Como excepción se tiene al grupo de vacas en el lote de reto o próximas al parto y las vacas frescas o recién paridas, las cuales tenían incluida alfalfa en la ración. La dieta proporcionada tiene una relación 50% forraje-50% concentrado y se busca tener un

mínimo de 20% de proteína cruda. El responsable de la alimentación proporciona las dietas y se monitorea por medio del sistema Tracker.

El silo de maíz es el principal ingrediente en la dieta y todos los días se realiza limpieza con la finalidad de retirar todo el material que no se encuentre en condiciones visuales para ser ofrecido como alimento a las vacas en producción. Esta acción se realiza con ayuda de bieldo y pala, este material se aparta del silo de maíz que será utilizado para el transcurso del día, se trata de que solo se manipule el silo de maíz necesario para alimentar por día.

Se inicia a preparar las dietas a las 5:45 AM, para tener la primera ración a las 6 AM. Se inicia con los corrales de recién paridas, para continuar con los corrales de alta producción, posteriormente se alimenta las vacas y vaquillas próximas al parto, seguido de las vacas secas y por último los lotes de becerras. Se ofrece una vez al día dieta por corral y en el transcurso del día y la noche, se acerca la pastura con ayuda de un tractor con un aditamento a los corrales con pesebre tipo banqueteta.

La limpieza de los comederos tipo banqueteta de la dieta que se ofrece un día antes, la retira una persona con ayuda de una pala para despegarla del muro que divide el comedero y el corral. Posteriormente, con ayuda de una escrepa y un tractor, se barre el sobrante hasta la orilla del comedero y se junta por corral. A diferencia de los corrales con comedero tipo canoa, se retira el sobrante de manera manual con ayuda de una pala y se deja sobre el pasillo para ser retirado por un tractor con pala, todos los sobrantes se pesan y se colocan en la misma área.

El manejo de las vacas de primera lactación y las de 2 o más es diferente, se inicia con los lotes separados en los corrales de vacas próximas donde se encuentran vacas de una lactación o más, mientras que existe otro lote con vaquillas próximas al parto. Posterior al parto, las vacas de 2 o más lactaciones se ubican en el corral 1, mientras que las vacas de una lactación se ubican en el corral 12, se realiza un cambio de corral alrededor de las 14-21 días a los corrales de formación (corrales 2-11), donde siguen separadas ya que las vacas de dos o más lactaciones se colocan en corrales aparte de las vacas de una lactación.

6.3.4 Manejo reproductivo

El PEV es de 55 días en leche (DEL), lo que quiere decir que si una vaca tiene menos de 55 DEL no es elegible para inseminar. Las vacas que muestran celo sin recibir un tratamiento hormonal son inseminadas después de los 55 DEL, de manera natural. Para el control del estro y del primer servicio se utiliza el protocolo Presynch-Ovsynch; a las vacas se les aplica la primera PGF2 α cuando tienen entre 51 y 57 DEL y la segunda aplicación entre 65 y 71 DEL, esta aplicación se realiza todos los martes. Si una vaca no se insemina a los 79 DEL, se considera vaca problema y es elegible a revisión por palpación transrectal para dar tratamiento/seguimiento por medio de tratamientos hormonales dirigidos de manera individual.

La detección de celos se lleva a cabo todos los días, en la mañana (7:00 am) a medio día (12:00 pm) y en la tarde (3:00 pm) por el responsable del área de reproducción; en la noche (6:00 pm y 10:00 pm) y madrugada (12:00 am, 4:00 am y 6:00 am). por el responsable del turno de noche. Se insemina dos veces al día, las vacas detectadas en celo en la tarde-noche se inseminan en la mañana (8:00 am) y las vacas detectadas en la madrugada y mañana se inseminan en la tarde (1:00 pm).

6.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos correspondieron al periodo entre el 1 de enero del 2019 y el 31 de diciembre del 2019. Los registros de número de lactación, fecha de parto o aborto, leche corregida a 305 días, fecha de primera inseminación, código de primer inseminación y resolución de primer servicio se obtuvieron a través del programa Dairy Comp 305. Los eventos de problemas podales, parto, sexo de la cría, presencia de enfermedades metabólicas (hipocalcemia y cetosis) y presencia de enfermedades reproductivas (retención parcial de membranas fetales y metritis) se obtuvieron de agendas, hojas de registros de eventos y tratamientos. Todos los datos fueron exportados a hojas de Microsoft Excel 2007.

Una vez obtenida la base de datos se trabajó en el programa SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Utilizando los procedimientos CONTENTS, UNIVARIATE,

FREQ y MEANS se validó la integridad de la información y cuando se encontraron inconsistencias se aclararon con los registros del establo y con los responsables de la unidad de producción.

Las clases para lactación fueron 1a lactación, 2a lactación y 3a o más lactaciones. Para sexo de la cría se consideró macho y hembra. Los partos gemelares fueron descartados por representar menos del 1% de los registros. Para la variable continua días en leche al primer servicio, se consideraron los efectos lineal y cuadrático con un rango entre los 28 y 151 DEL.

Para el análisis de regresión logística múltiple se utilizó la metodología propuesta por Potter *et al.* (2010). Las variables independientes fueron: 1.- Días en leche (efecto lineal y efecto cuadrático); 2.- Sexo de la cría (macho y hembra) y 3.- Número de lactación (lactación 1, lactación 2 y lactación 3 o más); la variable dependiente utilizada fue: gestante a primer servicio, mediante la TC1S. El primer paso para elaborar los modelos de regresión múltiple fue realizar pruebas de regresión logística simple para cada variable independiente, con un nivel de significancia para retener la variable de $P < 0.35$. Con las variables retenidas se construyeron los modelos de regresión logística múltiple, con un valor de significancia de $P < 0.1$. A partir de este análisis se crearon dos modelos de regresión logística múltiple; ambos incluyeron el efecto de DEL y cada uno con efecto lactación y sexo de la cría, respectivamente.

VII RESULTADOS

7.1 Estadísticas descriptivas

Se obtuvieron un total de 1062 registros de partos que cumplieron las características establecidas para este estudio. En los cuadros 2, 3 y 4, se muestran los porcentajes de animales por número de lactación, tipo de parto y sexo de la cría respectivamente. Las vacas de primera, segunda y tercera lactación o más, representan el 46.42%, 23.82% y 29.76% respectivamente.

Cuadro 2. Cantidad de partos por número de lactación.

| Lactación | Frecuencia | Frecuencia acumulada | Porcentaje (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|--------------|------------|----------------------|----------------|--------------------------|
| 1 | 493 | 493 | 46.42 | 46.42 |
| 2 | 253 | 746 | 23.82 | 70.24 |
| 3 + | 316 | 1062 | 29.76 | 100.00 |
| Total | 1062 | | 100.00 | |

En el Cuadro 3 se muestra el tipo de parto registrado; del total de los registros el 76.08% corresponde a parto normal, 21.09% parto que requirió ayuda, el 0.66% a distocia y el 2.7% a abortos.

Cuadro 3. Distribución de los eventos de acuerdo con el tipo de parto.

| Tipo de parto | Frecuencia | Frecuencia acumulada | Porcentaje (%) | Porcentaje acumulado |
|---------------|------------|----------------------|----------------|----------------------|
| Normal | 808 | 808 | 76.08 | 76.08 |
| Asistido | 224 | 1032 | 21.09 | 97.17 |
| Distocia | 7 | 1039 | 0.66 | 97.83 |
| Aborto | 23 | 1062 | 2.17 | 100.00 |
| Total | 1062 | | 100.00 | |

En el Cuadro 4 se indica la frecuencia de nacimientos por el sexo de la cría, donde el 65.35% de los partos corresponden a sexo de la cría hembra, el 30.95% a sexo de la cría macho y por último 3.66% corresponde a nacimientos gemelares.

Cuadro 4. Frecuencia de partos por sexo de la cría.

| Sexo | Frecuencia | Frecuencia acumulada | Porcentaje (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|----------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Hembra | 679 | 679 | 65.35 | 65.35 |
| Macho | 322 | 1001 | 30.99 | 96.34 |
| Gemelar | 38 | 1039 | 3.66 | 100.00 |
| Total | 1039 | | 100.00 | |

En el Cuadro 5 se muestra la proporción de vacas en la inseminación a primer servicio, teniendo como resultados más importantes que el 64.31% de los primeros servicios se brinda después de la aplicación de prostaglandina programada (Presynch), seguido de la inseminación de manera natural con un 13.75%. Posteriormente, la aplicación de prostaglandina dirigida con 11.96%, para finalizar con la inseminación por CIDR y Ovsynch con 9.51% y 0.47% respectivamente.

Cuadro 5. Frecuencia de inseminación a primer servicio por código de inseminación.

| Código inseminación | Frecuencia | Frecuencia acumulada | Porcentaje (%) | Frecuencia acumulada (%) |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Natural | 146 | 146 | 13.75 | 13.75 |
| Presynch | 683 | 829 | 64.31 | 78.06 |
| Prostaglandina | 127 | 956 | 11.96 | 90.02 |
| CIDR | 101 | 1057 | 9.51 | 99.53 |
| Ovsynch | 5 | 1062 | 0.47 | 100.00 |
| Total | 1062 | | 100.00 | |

En el Cuadro 6 se muestra la tasa de concepción global a primer servicio, obtenida con las vacas que quedaron gestantes después de la primera inseminación, el resultado fue de 38.14%.

Cuadro 6. Gestante a primer servicio.

| Resolución primer servicio | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Vacía | 657 | 61.86 |
| Gestante | 405 | 38.14 |
| Total | 1062 | 100 |

En el Cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos de la frecuencia en la presentación de enfermedades metabólicas en el inicio de la lactación, con las enfermedades hipocalcemia, cetosis y desplazamiento de abomaso, con una incidencia de 1.60%, 3.67% y 1.60% respectivamente; en el 93.13% de los casos, no se presentaron enfermedades metabólicas al inicio de la lactación.

Cuadro 7. Frecuencia de eventos metabólicos en la lactación temprana.

| Evento | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Hipocalcemia | 17 | 1.60 |
| Cetosis | 39 | 3.67 |
| Desplazamiento abomaso | 17 | 1.60 |
| Sin evento | 989 | 93.13 |
| Total | 1062 | 100 |

La prevalencia en retención de membranas fetales y metritis fue de 7.25% y 5.27%, respectivamente. En cuanto a enfermedades podales, el 7.63% de las vacas presentaron algún problema podal en los primeros 100 DEL.

7.2 Resultados de los análisis de regresión logística.

En el Cuadro 8 se indican los estimadores para la variable días en leche con el efecto lineal y cuadrático. En la Figura 3 se presenta la gráfica de TC1S por efecto de días en leche (efecto lineal y efecto cuadrático). En la gráfica se observa el efecto cuadrático, donde la TC1Salcanza un valor máximo de 40.30% a los 74 DEL.

Cuadro 8. Estimadores para el modelo de regresión logística con las variables días en leche efecto lineal y días en leche efecto cuadrático.

| Parámetro | Estimador | Error | Chi-Cuadrada | P | Exp(Est) |
|-------------------|-----------|----------|--------------|--------|----------|
| Intercepto | -2.7181 | 1.3069 | 4.3256 | 0.0375 | 0.066 |
| DEL1SER | 0.0625 | 0.0356 | 3.0799 | 0.0793 | 1.065 |
| DEL1SER2 | -0.00042 | 0.000233 | 3.1689 | 0.0751 | 1 |

DEL1SER, Días en leche a primer servicio efecto lineal; DEL1SER, Días en leche a primer servicio efecto cuadrático; P, valor de probabilidad; Exp(Est), exponencial del estimador.

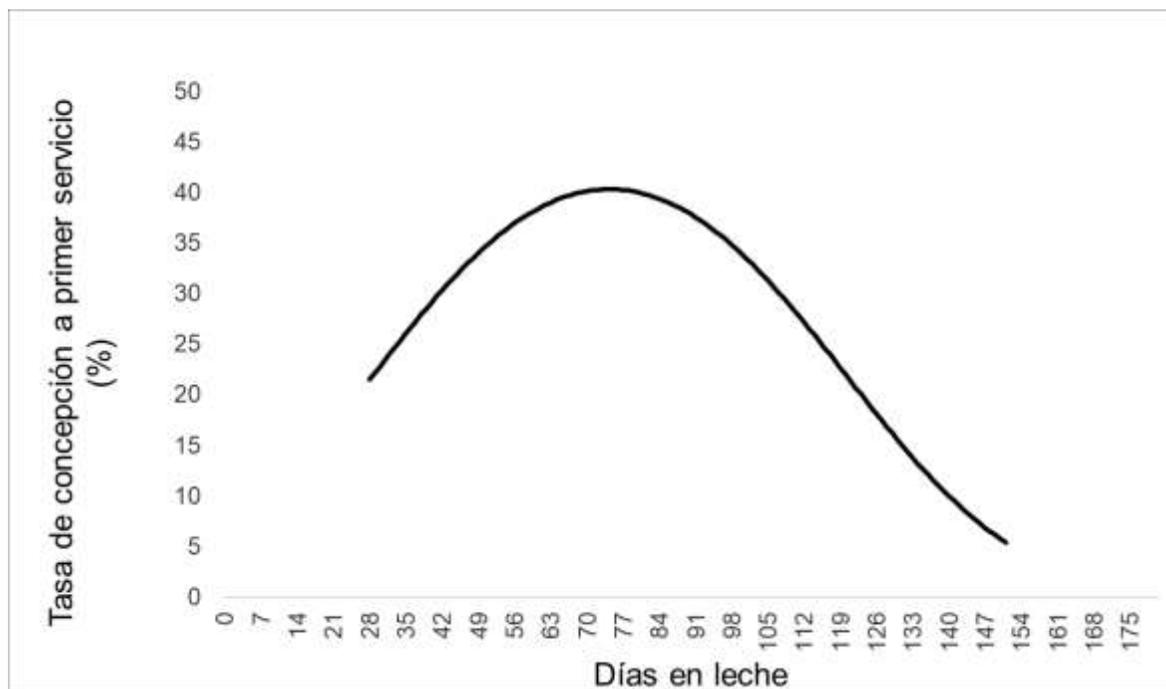


Figura 3. Tasa de concepción a primer servicio por días en leche.

En el Cuadro 9 se muestran los estimadores para la variable días en leche con efecto lineal y cuadrático, con la variable número de lactación. En la Figura 4 se presenta la gráfica obtenida, se observa el efecto cuadrático significativo, la TC1S alcanza un valor máximo de 42.12% de TC1S a los 75 DEL para lactación 1 (línea continua), mientras que para lactación 2 (línea punteada con las líneas más

grandes), con un valor máximo de TC1S 45.22% a los 75 DEL y finalmente lactación 3 (línea punteada con las líneas más pequeñas) con un valor máximo de TC1S de 34.74% los 75 DEL.

Cuadro 9. Estimadores para el modelo de regresión logística múltiple para las variables días en leche y número de lactación.

| Parámetro | Estimador | Error | Chi-Cuadrada | P | Exp(Est) |
|-------------------|-----------|-------|--------------|-------|----------|
| Intercepto | -2.729 | 1.319 | 4.279 | 0.039 | 0.065 |
| DEL1SER | 0.063 | 0.036 | 3.041 | 0.081 | 1.065 |
| DEL1SER2 | 0.000 | 0.000 | 3.128 | 0.077 | 1.000 |
| LACT 1 | 0.064 | 0.086 | 0.557 | 0.455 | 1.066 |
| LACT 2 | 0.190 | 0.100 | 3.634 | 0.057 | 1.209 |

DEL1SER, Días en leche a primer servicio efecto lineal; DEL1SER, Días en leche a primer servicio efecto cuadrático; LACT1, Lactación 1; LACT2, Lactación 2; P, valor de probabilidad; Exp(Est), exponencial del estimador.

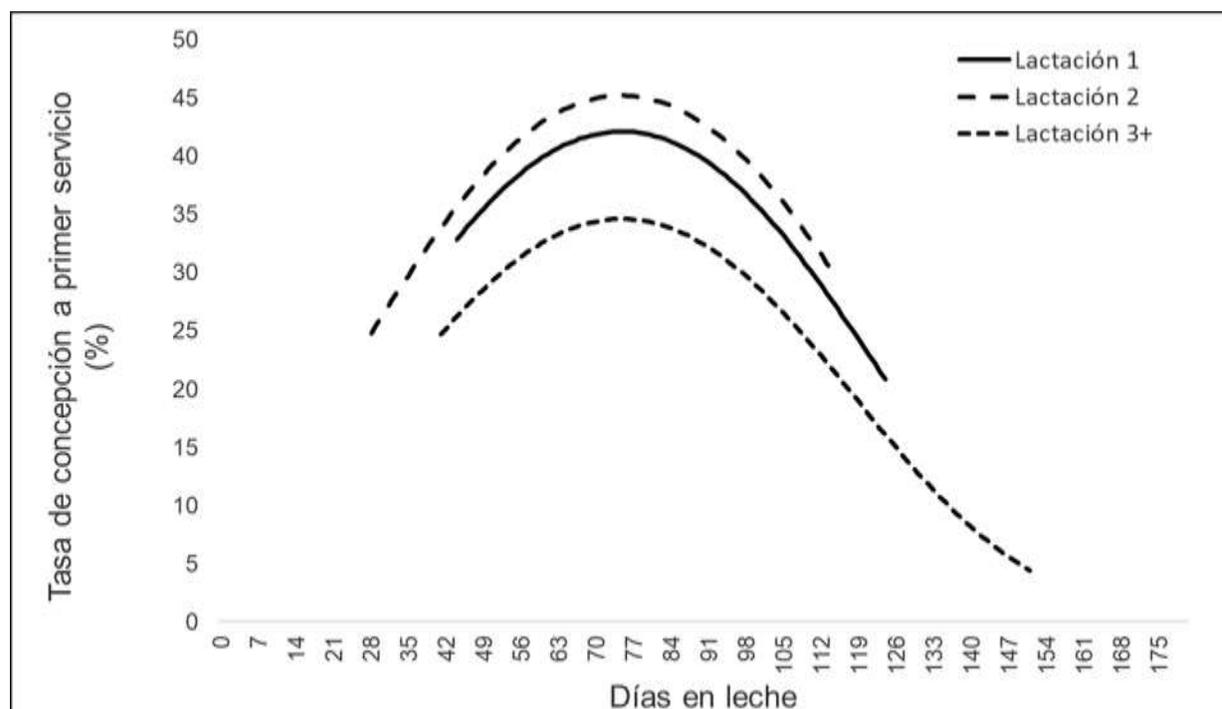


Figura 4. Tasa de concepción a primer servicio por días en leche con la variable número de lactación.

Por último, se realizó el modelo de regresión logística múltiple para las variables días en leche y sexo de la cría, obteniendo los resultados que se muestran en el Cuadro 10, las gráficas obtenidas se muestran en la Figura 5.

Cuadro 10. Estimadores para el modelo de regresión logística múltiple con las variables días en leche y sexo de la cría.

| | Estimador | Error | Chi-Cuadrada | P | Exp(Est) |
|--------------------|-----------|-------|--------------|-------|----------|
| Intercepto | -3.006 | 1.388 | 4.692 | 0.030 | 0.050 |
| Sexo hembra | 0.123 | 0.071 | 3.018 | 0.082 | 1.130 |
| DEL1SER | 0.070 | 0.038 | 3.425 | 0.064 | 1.072 |
| DEL1SER2 | 0.000 | 0.000 | 3.538 | 0.060 | 1.000 |

DEL1SER, Días en leche a primer servicio efecto lineal; DEL1SER2, Días en leche a primer servicio efecto cuadrático; P, valor de probabilidad; Exp(Est), exponencial del estimador.

Los resultados del modelo de regresión múltiple con el efecto cuadrático de días en leche, para la variable sexo de la cría se muestran en la Figura 5.

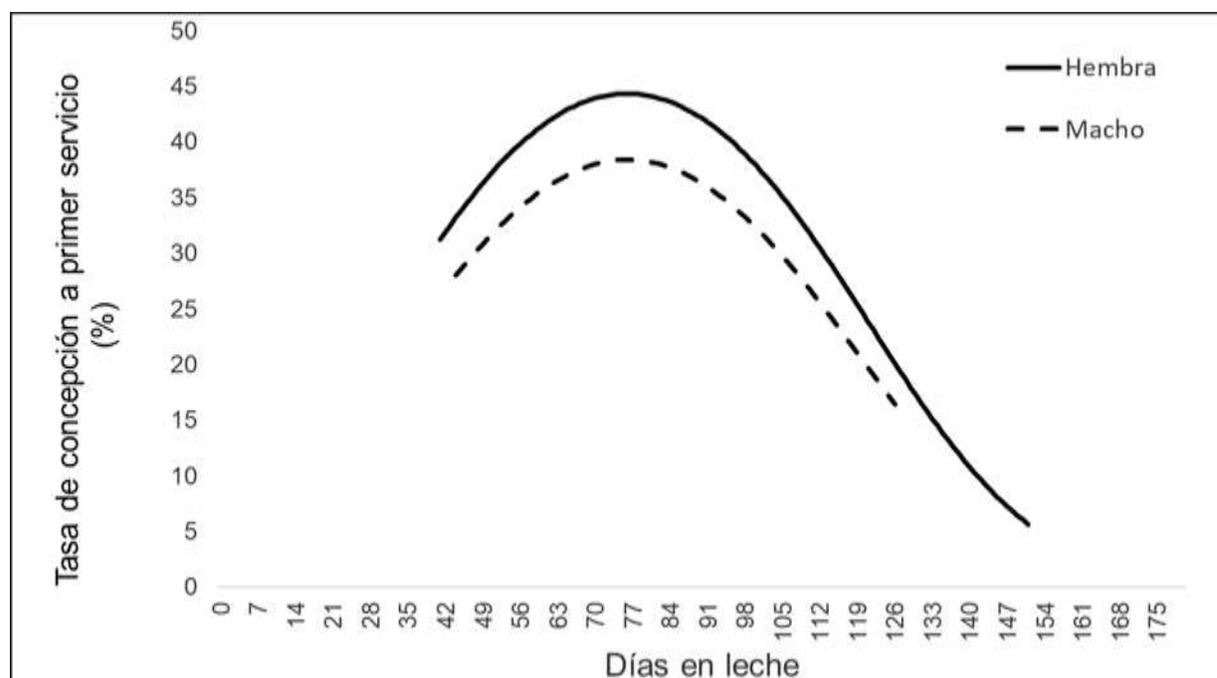


Figura 5. Tasa de concepción días en leche con el efecto sexo de la cría.

En la Figura 5 se observan las gráficas obtenidas para las variables días en leche y sexo de la cría, la línea continua es la gráfica obtenida para la TC1S, cuando el sexo de la cría es hembra (línea continua), con un valor máximo de TC1S de 44-33% a los 76 DEL. Después, se encuentra la gráfica obtenida cuando el sexo de la cría es macho (línea punteada), con un valor máximo para TC1S de 38.89% a los 76 DEL.

VIII DISCUSIÓN

La rentabilidad de la empresa lechera está fuertemente asociada con el desempeño reproductivo (Gröhn y Rajala- Schultz, 2000; Inchaisri *et al.*, 2010). En los sistemas de producción tecnificados se genera una gran cantidad de información diariamente, la cual puede ser analizada para desarrollar estrategias o políticas de manejo con la finalidad de incrementar los resultados positivos y con ello la rentabilidad de la empresa (Crowe *et al.*, 2018). Por lo tanto, en el presente estudio se llevó a cabo un análisis retrospectivo de la información reproductiva en un establo comercial con el objetivo de identificar áreas de oportunidad.

La composición del hato se refiere al porcentaje de animales de primera, segunda y tercera o más lactaciones en el establo. La composición del hato es importante porque a través de su análisis se puede tener una idea acerca del desecho y reemplazos (o compra), que se lleva a cabo en la unidad de producción. La composición del hato productivo está estimada en 35.1% primera lactación, 33.5% segunda lactación y 31.4% en vacas de tercera o más lactaciones (Abadía *et al.*, 2016). Los resultados de la composición de hato en la unidad de producción indican que es un establo joven donde el 46.4% está representado por vacas de primera lactación. Esto pudiera indicar que el desecho del hato es alto y/o que se está incrementando el número de vacas de primer parto con el objetivo de aumentar el tamaño del hato. Referente a las vacas de segunda y tercera o más lactaciones, éstas representaron el 23.8% y 29.8%, respectivamente, obteniendo así un total de 52.6%, lo cual estaría por debajo del límite inferior esperado (64.88%; Abadía *et al.*, 2016). En este trabajo no se registró la tasa de desecho anual, sin embargo, la tendencia en el establo en los últimos años, así como el promedio nacional indican que se encuentra en un rango de 12-32.5% (Abadía *et al.*, 2016; Armengol y Fraile, 2018). En el 2017 se implementaron medidas en el establo en estudio, para incrementar el tamaño del hato tales como una menor venta de becerras y el uso de semen sexado para vaquillas, lo cual es reflejado en la composición del hato en el 2019. Lo anterior explica la composición del hato en esta unidad de producción (mayor proporción de vacas de primera lactación).

Por otra parte, la asistencia al parto es un evento que repercute negativamente en la salud reproductiva de las vacas lecheras durante el puerperio (Sheldon *et al.*, 2009). En el establo trabajado se reporta un 21.1% de asistencias al parto y 0.7% de distocias. Las asistencias al parto en este establo se refieren a la ayuda menor que incluye correcciones en la presentación, posición y postura de la cría (Noakes *et al.*, 2011). Las distocias son muy bajas ya que se reporta en el 0.7% de los nacimientos, mientras que el ideal tiene como valor máximo 7% (Mee, 2008^b; Atashi *et al.*, 2012). Si se juntan ambas categorías (asistencias al parto y distocia) se tiene un 21.7% de incidencia, este porcentaje se encuentra por encima del límite superior sugerido por Núñez *et al.* (2009) y al encontrado por Atashi *et al.*, (2012) con un 10.8%. Esto pudiera indicar que las distocias se reportaron como asistencias al parto, lo que modifica el porcentaje para cada grupo. Independientemente de lo anterior, las asistencias al parto son un área de oportunidad en esta unidad de producción.

En el caso del sexo de la cría se obtuvo un 65% de los nacimientos con sexo de la cría hembra. Este valor se encuentra por encima de la meta establecida en la unidad de producción, en donde el valor establecido mínimo es 60% de los nacimientos. El porcentaje de hembras en la unidad de producción está influenciado por la cantidad de partos de primera lactación, ya que las vaquillas reciben la primera y segunda inseminación artificial con semen sexado, lo que incrementa la probabilidad de que la cría sea hembra; en este estudio, en el 84.7% de nacimientos de vaquillas de primer parto el sexo de la cría fue hembra.

Referente a las enfermedades puerperales, la prevalencia de hipocalcemia posparto en establos tecnificados se encuentra entre 6-16% (Corbellini, 2000; Contreras, 2002; Goff, 2008). En esta unidad de producción se tiene una prevalencia del 1.6%, por lo que los resultados obtenidos se encuentran por debajo del límite, mientras que la meta establecida en esta unidad de producción es una prevalencia máxima del 5%. Otra patología registrada es la cetosis, para la cual se han establecido en la literatura valores de referencia que se encuentran en un rango del 5% hasta un 12% (Duffield *et al.*, 2009; McArt *et al.*, 2012). La prevalencia de cetosis

fue de 3.67%, este valor se encuentra por debajo de los valores de referencia. La siguiente patología registrada es el desplazamiento de abomaso, la prevalencia registrada (1.6%) contrasta con los resultados reportados en otros estudios donde se reporta una prevalencia de hasta el 5% (Geishauser *et al.*, 1999; LeBlanc *et al.*, 2005).

Dentro de las enfermedades reproductivas en el periodo post parto, se tienen datos de la retención de membranas placentarias, la cual tiene una prevalencia que oscila entre un 4% hasta 22% en establos tecnificados (Córdova *et al.*, 2017; Taguesu y Ahmed, 2017), mientras que Núñez *et al.*, (2009) reportan una prevalencia en la presentación de esta patología con un rango que oscila entre un 3-10%, con una meta menor a 7% de prevalencia para retención de placenta. Al momento de realizar este estudio en la unidad de producción se tenía una meta de máximo el 5% en la presentación de dicha patología, por lo que los resultados obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los valores y rangos reportados por los diferentes autores, aunque ligeramente por encima del valor óptimo establecido por Núñez *et al.*, (2009) <7% versus lo obtenido en la unidad de producción (7.3%). Este indicador se encuentra por encima de la meta establecida en la unidad de producción. Estos resultados pueden estar asociados con el manejo al parto, ya que el 24% de los partos requieren algún tipo de asistencia. Cuando el parto es distócico se disminuye el tono muscular, se daña el útero por la manipulación, provocando un desprendimiento anormal de la placenta (Kumari *et al.*, 2015), incrementando el riesgo de sufrir retención de placenta.

La retención de membranas placentarias es un factor de riesgo para desarrollar metritis y endometritis (Córdova *et al.*, 2017; Barajas *et al.*, 2018). La metritis y endometritis clínica pueden tener prevalencias hasta del 15 y 40%, respectivamente (Sheldon *et al.*, 2006; Nak *et al.*, 2011). En esta unidad de producción la prevalencia de metritis es de 5.3% encontrándose en el límite inferior, lo que indica buena salud uterina en el periodo post parto. Es probable que esta baja prevalencia, sea en parte por el uso de semen sexado en vaquillas, con lo que e incrementa el nacimiento de crías con sexo hembra y el consecuente menor riesgo

de desarrollar enfermedades puerperales (Potter *et al.*, 2010; Montiel *et al.*, 2019). Los eventos mencionados anteriormente son importantes porque afectan la involución uterina post parto y el reinicio de la actividad cíclica estral (Hossain *et al.*, 2015).

Por último, referente a la prevalencia de problemas podales los cuales pueden llegar hasta el 6% (González y Castrillon, 2017), encontrándose en un rango de 2 al 20% en unidades de producción del sistema intensivo (Melendez *et al.*, 2003). En la unidad de producción se tiene una prevalencia de 7.6% para la presentación de problemas podales, por lo que este valor se encuentra por encima del valor reportado por González y Castrillon (2017), lo cual puede estar influenciado por las instalaciones, el manejo de pediluvios, la alimentación, entre otros. La importancia de esta patología es que causa molestia para que los bovinos se desplacen, disminuyendo la ingesta de alimento y agua, disminuye la producción de leche, la presentación de signos de estro y afecta el comportamiento normal de los bovinos (Melendez *et al.*, 2003; Morris *et al.*, 2011; Somers *et al.*, 2015).

La TC1S obtenida en este estudio es de 38%, lo cual es superior a lo sugerido por Núñez *et al.* (2009) para establos del sistema tecnificado, donde debe ser igual o mayor a 35%. Este valor contrasta con la meta establecida en esta unidad de producción, donde la TC1S debe ser igual o mayor a 32%. Este indicador está influenciado por diversos factores, dentro de los que destacan la alimentación, la involución uterina, el manejo en el periodo de transición y las enfermedades reproductivas y metabólicas en el post parto (Tillard *et al.*, 2008; Kim y Kwa, 2019). Aunado a esto, desde un punto de vista de manejo, el PEV es una herramienta que puede ser utilizada para modificar la TC1S.

El PEV se debe establecer considerando eventos reproductivos, dentro de los más importantes se encuentran el inicio de la lactación, la involución uterina, la primera ovulación post parto, la TC1S y el reinicio de la actividad cíclica (Inchaisri *et al.*, 2010; Inchaisri *et al.*, 2011; Stangaferro *et al.*, 2017). El PEV tiene un impacto sobre la TC1S y sobre días abiertos. Los días abiertos, están relacionados con la TC1S y los días a primer servicio, en este punto existe una asociación importante

en la rentabilidad de la empresa, esto con la eficiencia lechera ya que conforme transcurren los días en leche disminuye la eficiencia lechera, con lo que se disminuye la rentabilidad de la empresa (Britt *et al.*, 2003).

En este establo se alcanza la meta de TC1S establecida por Núñez *et al.* (2009) de 35%, mientras que la meta interna del establo se encuentra en 32%. Sin embargo, el objetivo de este proyecto fue identificar áreas de oportunidad con el análisis de la información reproductiva. Por lo tanto, se planteó la hipótesis de que algunos factores con mayor prevalencia a nivel de individuo pudieran estar impactando la tasa de concepción y, por lo tanto, existir la posibilidad de establecer periodos de espera voluntarios *ad hoc* (Stangaferro *et al.*, 2018).

El primer factor explorado fue el efecto de número de lactación sobre la TC1S. Las vacas de primera lactación mostraron una menor TC1S, comparado con las vacas de segunda lactación. Una posible explicación radica en que las vacas de primera lactación aún continúan creciendo mientras inician la producción de leche, lo cual afecta su desempeño (Banos *et al.*, 2006). Por otra parte, las vacas de tercera o más lactaciones mostraron el menor desempeño en este indicador. Esto puede ser explicado porque las vacas en esta categoría tienen un mayor desgaste metabólico acumulado (por tener mayor producción) y una mayor prevalencia de enfermedades en el periodo post parto (hipocalcemia, cetosis, balance de energía negativo, retención de membranas fetales, metritis). Todo lo anterior disminuye su fertilidad, lo cual tiene repercusiones negativas en el desempeño reproductivo, medido a través de la TC1S.

El segundo factor explorado fue el posible efecto de sexo de la cría, donde una posible razón de una menor TC1S para sexo de la cría macho, en comparación a hembra observado en este estudio, es que en el ganado Holstein existe un dimorfismo sexual asociado al peso al nacimiento (Atashi *et al.*, 2012; Carrera *et al.*, 2017). Los machos presentan mayor peso-talla, lo que predispone a un mayor riesgo de distocia y con ello a la presencia de enfermedades puerperales (Weigel, 2004; Atashi *et al.*, 2012; Holden y Butler, 2018). Estas enfermedades impactan negativamente a la TC1S posteriormente. En este caso se tiene un mejor

desempeño cuando el sexo de la cría es hembra, por lo que establecer el PEV con base en el sexo de la cría tendría un mayor impacto por el porcentaje de nacimientos hembra que se tuvo en el 2019.

Un tercer factor analizado fueron los días en leche a primer servicio. Los análisis de regresión logística indicaron un efecto cuadrático significativo donde la TC1S aumenta hasta alcanzar el 35% a los 52 días en leche, alcanzando un valor máximo a los 74 días, para posteriormente disminuir. El hecho de que las vacas muestren una menor fertilidad inicial se explica porque tal vez fueron inseminadas cuando aún no se completaba totalmente el puerperio y/o la presencia de enfermedades metabólicas y puerperales en el periodo post parto o un efecto acumulativo de las anteriores (Inchaisri *et al.*, 2010; Inchaisri *et al.*, 2011). Por otra parte, referente a la menor fertilidad en el extremo opuesto, las vacas que son inseminadas muy tarde pueden ser vacas que presentaron problemas puerperales con retraso en el primer servicio y por lo tanto mostraron una fertilidad disminuida (Gilbert *et al.*, 2005).

La prevalencia de los factores lactación, sexo de la cría, así como el efecto significativo de días en leche al primer servicio permitieron plantear un análisis de modelos múltiples para explorar una posible estrategia de manejo: periodos de espera voluntarios diferenciados (Stangaferro *et al.*, 2018).

Para el modelo de regresión logística múltiple con las variables días en leche y número de lactación, se observó un efecto cuadrático donde las vacas de primera lactación se encuentran intermedio en la TC1S entre las vacas de segunda y las de tercera o más lactaciones. Es importante considerar que las vacas de primera lactación sufren cambios dentro de los más importantes se encuentran el inicio de la lactación y que continúan con creciendo, lo cual tiene un impacto en el desempeño reproductivo por lo que tienen un menor desempeño que las vacas de segunda lactación (Coffey *et al.*, 2006). De estos resultados, lo más destacado es el bajo desempeño obtenido para el grupo de 3 lactaciones o más, con una TC1S de 32.3%, y no alcanzan el 35% de TC1S teniendo su mejor resultado a los 75 días en leche con un valor máximo de 34.6%. Estos resultados están asociados a que las vacas que se encuentran en esta categoría tienen un mayor desgaste metabólico

por mayor producción de leche y una mayor prevalencia de enfermedades en el periodo post parto (hipocalcemia, cetosis, balance de energía negativo, retención de membranas fetales, metritis), además del efecto acumulativo de los eventos a lo largo de las lactaciones previas (Chebel *et al.*, 2004; Dubuc y Denis-Robichaud, 2017). Estos resultados permitirían plantear una posible estrategia de manejo para establecer un PEV dependiendo del número de lactación. Para primera lactación de 48 días, segunda lactación 43 días. Sin embargo, la categoría de tercera o más lactaciones sería necesario realizar un análisis a fondo ya que no alcanzan el 35% mínimo en la TC1S.

El establecer un PEV con base al número de lactación tendría un impacto potencial positivo sobre el 70.2% de los animales que se analizaron. Los grupos de primera lactación (46.4%) y segunda lactación (23.8%) representan el porcentaje mencionado y ambos grupos alcanzan el 35% mínimo de TC1S antes de los 55 días. Sin embargo, por cuestiones de manejo, implementar esta medida resultaría poco práctico ya que en la unidad de producción después del parto se hacen dos grupos, uno con las vacas de primera lactación y el otro con las vacas de segunda y tercera o más lactaciones (tres PEV). Esto incrementa las posibilidades de error y el manejo a realizar por parte de los técnicos en inseminación.

Por otra parte, para el modelo de regresión logística múltiple con las variables días en leche y sexo de la cría, se obtuvo una TC1S de 35% a los 54 días en leche. Se tiene una mejor respuesta cuando el sexo de la cría es hembra alcanzando el 35% de TC1S a los 47 días en leche, llegando a un valor máximo de 44.3% a los 76 días en leche. Por otra parte, para el sexo de la cría macho la TC1S de 35% se alcanza a los 59 días en leche, teniendo un valor máximo de 38.4% a los 76 días en leche, para posteriormente disminuir en ambos casos. Estos resultados permitirían plantear una estrategia de manejo para establecer un PEV dependiendo del sexo de la cría. Para sexo de la cría hembra 47 días y para sexo de la cría macho 59 días. Con esta estrategia de manejo se tendría un potencial impacto al reducir los días abiertos ya que la TC1S de 35% se alcanza 8 días antes de los 55 días que están establecidos para el PEV en el 65.35% de las vacas. Por otra parte, cuando

el sexo de la cría es macho, la TC1S mínima de 35% se alcanza a los 59 días post parto; 4 días después del PEV establecido en el 2019. La ventaja de esta estrategia es que a pesar de que se hacen dos grupos, solamente se tendrían dos PEV para realizar la primera inseminación artificial. Teóricamente, al implementar esta estrategia en un establo como la unidad de producción trabajada (1241 vacas) se pudiera obtener el siguiente beneficio:

Periodo de espera voluntario *ad hoc*.

Datos:

- 1.- Vientres promedio en hato en 2019: **1241**
- 2.- Porcentaje vacas que el sexo de la cría fue hembra: **65.35%**.
- 3.- Porcentaje vacas que el sexo de la cría fue macho: **30.99%**.
- 4.- PEV establecido en el 2019: **55 días**.
- 5.- Días a los que se alcanza el 35% de TC1S cuando el sexo de la cría es hembra: **47 días**.
- 6.- Días a los que se alcanza el 35% de TC1S cuando el sexo de la cría es macho: **59 días**.
- 7.- Costo promedio de un día abierto: **5 USD** (De Vries, 2006)^a.
- 8.- Tipo de cambio: **\$20.5796** (promedio del mes de marzo).

(1) Sexo de la cría hembra

(1) (1241 vacas X 65.35%) X 8 días [55pev-47 días a TC1S 35%]= 6488 días.

Al implementar esta estrategia de manejo en vacas con parto sexo de la cría hembra se obtendrían 6488 días abiertos en el hato (ganancia en días abiertos) (1). El resultado se obtiene de multiplicar el número de vacas en el hato, por el porcentaje de vacas que paren hembra (1241 vacas X 65.35%), multiplicado por la

diferencia en días entre ambos periodos de espera voluntarios (55 días- 47 días= 8 días); $811 \times 8 \text{ días} = 6488$.

(2) Sexo de la cría macho

(2) $(1241 \text{ vacas} \times 30.99\%) \times -4 \text{ días} [55\text{pev}-59 \text{ días a TC1S } 35\%] = -1538$ días.

Por otra parte, cuando el sexo de la cría es macho se obtendrían -1538 días abiertos en el hato (pérdida en días abiertos) (2). El resultado se obtiene de multiplicar el número de vacas en el hato, por el porcentaje de vacas que paren macho (1241 vacas X 30.99%), multiplicado por la diferencia en días entre ambos periodos de espera voluntarios (55 días- 59 días= -4 días); $384.5 \times -4 \text{ días} = -1538$.

(1) 6488 días – (2) 1538 días= 4950 días X 5 USD= 24,750 USD.

Total= $24,750 \text{ USD} \times \$20.5796 = \$509,345.10$.

Con estos resultados se obtiene una diferencia de 4950 días abiertos (6488 días-1538 días), al multiplicar por el costo promedio de día abierto (5 USD; De Vries, 2006), se obtiene un total de \$24,750 USD; multiplicado por el tipo de cambio (\$20.5796) se tiene como resultado final \$509,345.10 pesos.

Es decir, teóricamente para un hato de 1241 vacas se podría obtener un menor gasto anual de \$509,345.10.

IX CONCLUSIONES

En conclusión, el desempeño reproductivo del establo en estudio tiene las siguientes áreas de oportunidad: TC1S para vacas de 3 lactaciones o más y la TC1S. La TC1S para vacas de 3 lactaciones o más, el cual no alcanza el mínimo de 35%, efecto que puede estar asociado con el desgaste metabólico acumulado y una prevalencia mayor de enfermedades en el periodo post parto, lo cual tiene un impacto negativo en el desempeño reproductivo. En este grupo es requerido un análisis especial para determinar sus causas. Otra área de oportunidad identificada es la TC1S porque presenta un efecto cuadrático por los días en leche. El PEV ideal desde un punto de vista reproductivo se pudiera establecer con base a las variables días en leche y número de lactación o sexo de la cría; debido al impacto potencial en la rentabilidad y por requerir menor manejo, con base en el sexo de la cría pudiera ser la mejor estrategia.

BIBLIOGRAFIA

Abadía, J., Ruíz, F., Vega, V., Montaldo, H. (2016). Genetic analysis of productive life in Holstein cattle in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 7(1): 1-14.

Armengol, R. y Fraile, L. (2018). Descriptive study for culling and mortality in five high-producing Spanish dairy cattle farms (2006-2016). *Acta Veterinaria Scandinavica*. 60 (45): 1-11.

Atuesta, J. y Diaza, G. (2011). Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos. *Revista Spei Domus*. 7(14): 15-25.

Atkinson, O. (2016). Management of transition cows in dairy practice. In *Practice*. 38: 229–240.

Bach, A. (2002). La reproducción del vacuno lechero: Nutrición y fisiología. FEDNA. España. XVII Curso de especialización FEDNA.

Brusveen, D., Souza, A., Wiltbank, M. (2009). Effect of additional prostaglandin F2 α and estradiol 17- β during Ovsynch in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92: 1412-1422.

Banos, G., Coffey, M., Wall, E., Brotherstone, S. (2006). Genetic relationship between first- lactation body energy and later-life udder health in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 89: 2222-2232.

Barajas, J., Hernández, J., García, A., Martínez, E., Juárez, N., Bedolla, M., Luzbel, R. (2018). Subclinical endometritis and pregnancy rate in dairy cows in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 9(1): 135-146.

Britt, J., Thomas, R., Speer, N., Hall, M. (2003). Efficiency of converting nutrient dry matter to milk in Holstein herds. *Journal of Dairy Science*. 86: 3796-3801.

Butler, S., Pelton, S., Butler, W. (2006). Energy balance, metabolic status, and the first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propylene glycol. *Journal of Dairy Science*. 89: 2938-2951.

Carrera, J., Marmolejo, C., Escárcega, M., Itzá, M., Orozco, E., Pérez, E., Quintero, J., Quezada, A. (2017). Risk factors associated with retained placenta in dairy cattle in northern Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 6 (18): 573-579.

Carvalho, P., Souza, A., Amundson, M., Hackbart, K., Fuenzalida, M., Herlihy, M., Ayres, H., Dresch, A., Vieira, L., Guenther, J., Grummer, R., Fricke, P., Shaver, R., Wiltbank, M. (2014). Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 97: 366- 3683.

Coffey, M., Hickey, J., Brotherstone, S. (2006). Genetic aspects of growth of Holstein-Friesian dairy cows from birth to maturity. *Journal of Dairy Science*. 89: 322-329.

Colazo, M. y Mapletoft, R. (2014)^a. Fisiología del ciclo estral bovino. Alberta, Canadá. *Revista Ciencias Veterinarias*, N°2, 16: 31- 46.

Colazo, M. y Mapletoft, R. (2014)^b. A review of current timed- IA (TAI) programs for beef and dairy cattle. *The Canadian Veterinary Journal*. 55: 772-780.

Contreras, P. (2002). Paresia puerperal hipocalcémica. VII Congreso de la Sociedad Española de Medicina Interna Veterinaria. León. Universidad de León. 30-34.

Corbellini, C. (2000). Influencia de la nutrición en las enfermedades de la producción de las vacas lecheras en transición. XXI Congreso Mundial de Buiatria, Punta del Este, Uruguay.

Córdova, A., Espinosa, R., Peña, S., Villa, E., Huerta, R., Juárez, M., Gómez, A., Cansino, G., Olivares, J., Sánchez, P. (2017). Effect of placental

retention on open days in cows. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria. 18 (9): 1-4.

Crowe, M., Hostens, M., Opsomer, G. (2018). Reproductive management in dairy cows- the future. Irish Veterinary Journal. 71 (1): 1-13

De Vries, A. (2006)^a. Determinants of the cost of days open in dairy cattle. Proceedings of the 11th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics.

De Vries, A. (2006)^b. Economic value of pregnancy in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 89: 3876-3885.

Doll, K., Sickinger, M., Seeger, T. (2009). New aspects in the pathogenesis of abomasal displacement. The Veterinary Journal: 181 (2): 90-96.

Dubuc, J. y Denis-Robichaud, J. (2017). A dairy herd-level study of postpartum diseases and their association with reproductive performance and culling. Journal of Dairy Science. 100: 3068-3078.

Dubuc, J., Duffield, T., Leslie, K., Walton, J., LeBlanc, S. (2010). Risk factors for postpartum uterine diseases in dairy cows. Journal of Dairy Science. 93: 5764-5771.

Dubuc, J., Duffield, T., Leslie, K., Walton, J., LeBlanc, S. (2012). Risk factors and effects of postpartum anovulation in dairy cows. Journal of Dairy Science. 95: 1845-1854.

Duffield, T. (2000). Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 16: 231-253.

Duffield, T. y Bagg, R. (2002). Herd level indicators for the prediction of high-risk dairy herds for subclinical ketosis. In American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference. 75-176.

Duffield, T., Lissemore, K., McBride, B., Leslie, B. (2009). Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*. 92: 571-580.

Erpen, M., Cassal, C., Oliveira, V., Tavares, A., Gularte, E., Burkert, F., Rabassa, V., Nunes, M. (2015). Reproductive responses of lactating dairy cows according to estrus behavior and CIDR uses in heatsynch protocol. *Acta Scientiae Veterinariae*. 43: 1-7

Fetrow, J., McClary, D., Harman, R., Butcher, K., Weaver, L., Studer, E., Ehrlich, J., Etherington, W., Guterbock, W., Klingbord, D., Reneau, J., Williamson, N. (1990). Calculating selected Reproductive Indices: Recommendations of the American Association of Bovine Practitioners. *Journal of Dairy Science*. 73: 78-90.

Firk, R., Stamer, E., Junge, W., Krieter, J. (2002). Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livestock Production Science*. 75 (3): 219-232.

Forde, N., Beltman, M., Lonergan, P., Diskin, M., Roche, J., Crowe, M. (2011). Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 124: 163-169.

Galvao, K., Frajblat, M., Butler, W., Brittin, S., Guard, C., Gilbert, R. (2010). Effect of early postpartum ovulation on fertility in dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 45: 207-211.

Geishauser, T., Leslie, K., Duffield, T. (1999). Prevention and prediction of displaced abomasum in dairy cows. In *American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference*. 203-207.

Gilbert, R., Shin, S., Guard, C., Erb, H., Frajblat, M. (2005). Prevalence of endometritis and its effects on reproductive performance of dairy cows, *Theriogenology*. 64 (9): 1879-1888.

Giordano, J., Wiltbank, M., Guenther, J., Pawlisch, R., Bas, S., Cunha, P., Fricke, P. (2012). Increased fertility in lactating dairy cows resynchronized with

Double-Ovsynch compared with Ovsynch initiated 32 d after timed artificial insemination. *Journal of Dairy Science*. 95: 639–653.

Giordano, J., Fricke, P., Cabrera, V. (2013). Economics of resynchronization strategies including chemical tests to identify nonpregnant cows. *Journal of Dairy Science*. 96: 949-961.

Goff, J. (2008). The monitoring prevention and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *The Veterinary Journal*. 176: 50-57.

Goff, J. (2014). Calcium and magnesium disorders. *The Veterinary clinics of North America. Food Animal Practice*. 30: 359–381.

Goff, J. y Koszewski, N. (2017). Comparison of 0.46% calcium diets with and without added anions with a 0.7% calcium anionic diet as a means to reduce periparturient hypocalcemia. *Journal of Dairy Science*. 101: 5033-5045.

González, L. y Castrillón, M. (2017). Problemas podales en bovinos de establecimientos lecheros de los departamentos de Florida y San José. [Tesis de grado para obtener el título de Doctor en Ciencias Pecuarias Veterinarias]. Universidad de la República de Uruguay.

Gröhn, Y. y Rajala-Schultz, P. (2000). Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 60-61: 605-614.

Grummer, R., Mashek, D., Hayirli, A. (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 20 (3): 447-470.

Haimerl, P. y Heuwieser, W. (2014) Invited review: Antibiotic treatment of metritis in dairy cows: A systematic approach. *Journal of Dairy Science*. 97: 6649-6661.

Hernández, J. (2016). Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros. Primera Edición. Ciudad de México.

Hiew, M. y Constable, P. (2015). The usage of pelvimetry to predict dystocia in cattle. *Jurnal Veterinar Malaysia*. 27 (2): 1-4.

Holden, S. y Butler, S. (2018). Review: Applications and benefits of sexed semen in dairy and beef herds. *Animal*. 12 (S1) :97-103

Hossain, M., Billah, M., Aziz, S., Rahman, M., Islam, M., Muslehuddin, A., Lucky, N., Hossain, M., Aktaruzzaman, M., Islam, M. (2015). Factors affecting retained fetal membrane and its therapeutic management in dairy cows. *International Journal of Natural Sciences*. 5 (2): 93-97.

Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P., Van der Weijden, G., Hogeveen, H. (2010). Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*. 74 (5) :835- 846.

Inchaisri, C., Jorritsma R., Vos, P., Van der Weijden, G., Hogeveen, H. (2011). Analysis of the economically optimal voluntary waiting period for first insemination. *Journal of Dairy Science*. 94: 3811-3823.

Kim, H. y Kwan, J. (2019). Risk factors limiting first service conception rate in dairy cows and their economic impact. *Asian- Australasian Journal of Animal Sciences*. 32 (4): 519-526.

LeBlanc, S., Leslie, K., Duffield, T. (2005). Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 88: 159-170.

Maineau, E. y Manteca, X. (2011). Pain and discomfort caused by parturition in cows and sows. *Applied Animal Behaviour Science*. 135: 241–251.

Martins, T. y Borges, A. (2012). Avaliação uterina em vacas durante o puerpério Uterine monitoring cows during the puerperium. *Revista Brasileira de Reproducao Animal*. (35) 4: 433-443.

McArt, J., Nydam, D., Oetzel, G. (2012). Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 95: 5056-5066.

Mee, J. (2008)^a. Managing the cow at calving time. American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference. Vol 41; 46-53.

Mee, J. (2008)^b. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: a review. The Veterinary Journal. 176-1: 93-101.

Meléndez, R., Valdivia, A., Rangel, E., Díaz, E., Segura, J., Guerrero, A. (2010). Abortion risk factors and reproductive performance of dairy cattle in Aguascalientes, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. (1) 4: 391-401.

Melendez, P., Donovan, A., Risco, C., Hall, M., Litte, R., Goof, J. (2002) Metabolic responses of transition Holstein cows fed anion salts and supplemented at calving with calcium and energy. Journal of Dairy Science. 85: 1085-1092.

Melendez, P., Bartolome, J., Archbald, L., Donovan, A. (2003). The association between lameness, ovarian cyst and fertility in lactating dairy cows. Theriogenology. 59: 927-937.

Miller, A., Williams, E., Sibley, K., Heraath, S., Lane, E., Fishwick, J., Nash, D., Rycroft, A., Dobson, H., Bryant, C., Sheldon, I. (2007)^a. The effects of Arcanobacterium pyogenes on endometrial function in vitro, and on uterine and ovarian function in vivo. Theriogenology. 68: 972-980

Miller, R., Norman, H., Kuhn, M., Clay, J., Hutchison, J. (2007)^b. Voluntary waiting period and adoption of synchronized breeding in Dairy Herd improvement herds. Journal of Dairy Science. 90: 1594:1606.

Molina, R. y Lucy, M. (2018). Uterine inflammation affects the reproductive performance of dairy cows: Uterine Disease in Dairy Cattle. Costa Rica Agronomía Mesoamericana. 29 (2): 449-468.

Montiel, L., Estrada, E., Espinosa, M., Mellado, M., Hernández, J., Martínez, G., Vera, H. (2019). Risk factors associated with reproductive performance in small-scale dairy farms in Mexico. Tropical Animal Health and Production. 51 (1): 229-236.

Morris, M., Kaneko, K., Walter, S., Jones, D., Routly, J., Smith, R., Dobson, H. (2011). Influence of lameness on follicular growth, ovulation, reproductive hormone concentrations and estrus behavior in dairy cows. *Theriogenology*. 76: 658-668.

Nak, Y., Dagalp, S., Cetin, C., Nak, Y., Alkan, F., Borum, E. (2011). Course and severity of postpartum metritis cases following antibiotic and PGF2 α administration in postpartum metritis cows infected with BoHV-4. *Transboundary and Emerging Diseases*. 58: 31-36.

Neves, R., Leno, B., Curler, M., Thomas, M., Overton, T., McArt, J. (2018). Association of immediate postpartum plasma calcium concentration with early-lactation clinical diseases, culling, reproduction, and milk production in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 101: 547-555.

Noakes, D., Parkinson, T., England, G. (2011). *Veterinary Reproduction and Obstetrics*. Elsevier. Ninth Edition. 209-297.

Núñez, G., Díaz, E., Espinosa, J., Ortega, L., Hernández, L., Vera, H., Román, H., Medina, M., Ruiz, F. (2009). Producción de leche de bovino en el sistema intensivo INIFAP. Libro Técnico Número 23. Veracruz, México.

Oetzel, G. (2007). Herd-level ketosis-diagnosis and risk factors. American Association of Bovine Practitioners 40th Annual Conference. September 19. Vancouver, BC, Canada. 67-91.

Ospina, P., Nydam, D., Stokol, T., Overton, T. (2010). Evaluation of nonesterified fatty acids and B-hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science*. 93: 546-554.

Piccardi, M. (2014). Indicadores de eficiencia productiva y reproductiva en rodeos lecheros. [Tesis para optar al grado académico de Doctora en Ciencias Agropecuarias]. Universidad Nacional de Córdoba.

Potter, T., Guitian, J., Fishwick, J., Gordon, P., Sheldon, M. (2010). Risk factors for clinical endometritis in post partum dairy cattle. *Theriogenology*. 74: 127-134.

Ptaszynska, M. y Molina, J. (2007). Compendium de reproducción animal, Sinervia Uruguay/Paraguay. Edición Latinoamericana.

Pursley, J., Mee, M., Wiltbank, M. (1995). Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 α and GnRH. *Theriogenology*. 44: 915-923.

Reineri, P. (2016). Fisiopatología del puerperio y manejo del rodeo de cría. INTA Ediciones. Argentina. 94: 1-79.

Roche, J., Friggens, C., Kay, J., Fisher, M., Stafford, K., Berry, D. (2009). Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*. 92: 5769-5801.

Roelofs, J., Van Erp- Van der Kooij, E. (2015). Estrus detection tools and their applicability in cattle: recent and perspectival situation. *Animal Reproduction*. 12 (3): 498-504.

Rorvang, M., Herskin, M., Jensen, M. (2016) Dairy cows with prolonged calving seek additional isolation. *Journal of Dairy Science*. 100: 2967-2975.

Saborío, A. y Sánchez, A. (2014). Evaluación de la condición corporal en un hato de vacas Jersey en pastoreo en la zona alta de Cartago. Variaciones durante el ciclo productivo. *Agronomía Costarricense*. 38: 55-65.

Santschi, D., Lefebvre, D., Cue, R., Girard, C., Pellerin, D. (2010). Complete-lactation milk and component yields following a short (35-d) or a conventional (60-d) dry period management strategy in commercial Holstein herds. *Journal of Dairy Science*. 94: 2302-2311.

Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, N., Vickers, L., Von Keyserlingk, M. (2013). Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 96: 7088–7092.

Schuenemann, G., Nieto, I., Bas, S., Galvao, K., Worman, J. (2011). Assessment of calving progress and reference times for obstetric intervention during dystocia in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94: 5494-550

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. Panorama de la leche en México 2018, Obtenido de http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche_Marzo2019.pdf Consultado: [5 de Octubre del 2019].

Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. Panorama de la lechería en México 2020; Obtenido de <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20Cuarto%20Trimestre%202019.pdf> Consultado: [2 de junio del 2020].

Sheetal, S., Choudhary, S., Pandey, R., Sengupta, D. (2015). Effect of season and parity on incidence of retention of placenta in crossbreed cattle. *Environment and Ecology*. 33: 232-234.

Sheldon, M., Lewis, G., LeBlanc, S., Gilbert, R. (2006). Defining postpartum uterine disease in cattle. *Theriogenology*. 65 (8): 1516-1530.

Sheldon, M., Cronin, J., Goetze, L., Donofrio, G., Schuberth, H. (2009). Defining postpartum uterine disease and the mechanisms of infection and immunity in the female reproductive tract in cattle. *Biology of Reproduction*. 81: 1025-1032.

Sierra, R., Medina, L., Ramos, M., García, Z., Cruz, C. (2011). Risk factors associated with *Neospora caninum* antibody seroprevalence in dairy cattle in Aguascalientes, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2: 15-24.

Somers, J., Huxley, J., Lorenz, I., Doherty, M., O'Grady, L. (2015). The effect of lameness before and during the breeding season on fertility in 10 pasture-based Irish dairy herds. *Irish Veterinary Journal*. 68 (14): 1-7

Soto, R., Valdivia, A., Rangel, E., Díaz, E., Segura, J., Guerrero, A. (2010). Abortion risk factors and reproductive performance of dairy cattle in Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1 (4): 391-401.

Souza, A., Gümen, A., Silva, E., Cunha, A., Guenther, J., Peto, C., Caraviello, D., Wiltbank, M. (2007). Supplementation with estradiol-17 β before the last GnRH of the Ovsynch protocol in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90: 4623–4634.

Stangaferro, M., Wijma, R., Masello, M., Thomas, M., Giordano, O. (2017). Extending the duration of the voluntary waiting period from 60 to 88 days in cows that received timed artificial insemination after the Double- Ovsynch protocol affected the reproductive performance, herd exit dynamics, and lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 101: 717-735.

Stangaferro, M., Wijma, R., Masello, M., Thomas, M., Giordano, O. (2018). Economic performance of lactating dairy submitted for first service timed artificial insemination after a voluntary waiting period of 60 or 88 days. *Journal of Dairy Science*. 101: 7500-7516.

Stevenson, J. y Pulley, S. (2012). Pregnancy per artificial insemination after presynchronizing estrous cycles with the Presynch-10 protocol or prostaglandin F2 α injection followed by gonadotropin-releasing hormone before Ovsynch-56 in 4 dairy herds of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 95 :6513–6522.

Taguesu, T. y Ahmed, W. (2017). Economic and reproductive Impacts of retained placenta in dairy cows. *Journal of Reproduction and Infertility*. 8 (1): 18-27.

Thatcher, W., Santos, J., Staples, C. (2011). Dietary manipulations to improve embryonic survival in cattle. *Theriogenology*. 76: 1619-1631.

Tillard, E., Humblot, P., Faye, B., Lecomte, P., Dohoo, I., Bocquier, F. (2008). Postcalving factors affecting conception risk in Holstein dairy cows in tropical and subtropical conditions *Theriogenology*. 69: 443–57.

Van Winden, S. y Kuiper, R. (2003) Left displacement of the abomasum in dairy cattle; recent developments in epidemiological and etiological aspects. *Veterinary Research*. 34 (1): 47-56.

Velázquez, M. y Hernández, J. (2008). Productive and reproductive efficiency evaluation Holstein- Friesian imported heifers to the Comarca Lagunera, Mexico. *Revista Chapingo Zonas Áridas*. 8: 91-105.

Weigel, K. (2004). Exploring the role of sexed semen in dairy production systems. *Journal of Dairy Science*. 87: 120-130.

Wittrock, J., Proudfoot, K., Weary, D., Von Keyserlingk, M. (2011). Short communication; Metritis affects milk production and cull rate of Holstein multiparous and primiparous dairy cows differently. *Journal of Dairy Science*. 94: 2408-2412.