



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA  
SALUD ANIMAL

Análisis financiero de las decisiones reproductivas en hatos lecheros

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

**JULIA ALEJANDRA RIOS MOHAR**

Tutor: Rafael Trueta Santiago

Comité Tutoral: Joel Hernández Cerón  
Héctor Raymundo Vera Ávila

MEXICO, D. F.

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

### *A mis padres*

*A quienes les estaré agradecida toda mi vida por su amor, apoyo incondicional, paciencia y sabios consejos. Este triunfo también es de ustedes, los quiero mucho.*

### *A mi hermano*

*Por estar siempre a mi lado y ser parte importante de mi vida.*

### *A mi amor*

*Por compartir tantas experiencias, momentos difíciles y maravillosos, por darme fortaleza para lograr mis sueños y disfrutarlos a mi lado, por ser mi amor.*

*A Roselia, Marthita, Mireya, Flor, Enrique, Judith, Jesy, Gaby y Memo*

*Gracias por sus palabras de aliento y apoyo en todo momento.*

### *A Pam, Dei y Armando*

*Por su maravillosa amistad y por dejarme aprender de ustedes.*

*A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM*

*Me siento muy orgullosa y agradecida por formar parte de esta gran institución educativa.*

*A Carlos Antonio López Díaz y Rafael Trueta Santiago*

*Por todo su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional durante el desarrollo de este proyecto. Gracias por compartir conmigo sus conocimientos y sobre todo muchas gracias por su amistad.*

*A Roberto Ruiz Díaz*

*Por su amabilidad, tiempo y apoyo durante mi estancia en Querétaro.*

*Al Comité tutorial y miembros del jurado*

*Por sus aportaciones para el mejoramiento de esta tesis.*

*A los ranchos "X"*

*Por facilitarme valiosa información sobre su empresa.*

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	VIII
<b>ABSTRACT</b>	IX
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Producción de leche de bovino en México	1
1.1.1 Principales estados productores de leche de bovino	3
1.1.2 Sistemas de producción de leche de bovino	4
1.2 Eficiencia reproductivo	6
1.2.1 Detección de estros	6
1.2.1.1 Métodos de detección de estros	8
1.3 Eficiencia económica	9
1.4 Modelos de simulación	9
1.4.1 Metodología Monte Carlo	11
1.5 Justificación	13
<b>2. OBJETIVOS</b>	13
2.1 Objetivo General	13
2.2 Objetivos Específicos	13
<b>3. HIPÓTESIS</b>	14
<b>4. METODOLOGÍA</b>	14
4.1 Descripción de la empresa pecuaria en estudio	14
4.2 Diseño del modelo de simulación	15
4.2.1 Manejo reproductivo de la empresa	17
4.2.2 Determinación de variables	17
4.3 Recolección de información	18
4.4 Determinación del tamaño de muestra	21
4.5 Obtención de parámetros reproductivos y productivos de la empresa	23
4.5.1 Espera voluntaria	24
4.5.2 Porcentaje de detección de estros	25
4.5.3 Porcentaje de concepción	29
4.5.4 Porcentaje de vacas vacías en el diagnóstico de gestación	31

4.5.5	Porcentaje de vacas sincronizadas	33
4.5.6	Periodo comprendido entre la última inseminación–diagnóstico de gestación	34
4.5.7	Duración de la gestación	35
4.5.8	Porcentaje de abortos	35
4.5.9	Duración del periodo seco	36
4.5.10	Producción láctea	36
4.5.11	Resumen de parámetros reproductivos calculados	37
4.6	Elaboración del modelo de simulación	39
4.6.1	Sección Reproductiva	39
4.6.2	Sección Productiva	45
4.6.2.1	Leche	45
4.6.2.2	Crías	45
4.6.3	Sección Económica	46
4.6.3.1	Costos	46
4.6.3.2	Beneficios	49
4.6.3.3	Utilidad Parcial	50
4.6.3.4	Utilidad Ajustada	50
4.6.4	Simulaciones	51
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>53</b>
5.1	Comportamiento Reproductivo	53
5.2	Comportamiento Económico	57
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>63</b>
6.1	Utilización de modelos de simulación	63
6.2	Elementos económicos relacionados con modificaciones en la tasa de detección de estros	64
6.2.1	Costos	64
6.2.2	Beneficios	65
6.2.3	Utilidad	66
<b>7</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>70</b>
<b>8</b>	<b>ABREVIATURAS Y SIGLAS EMPLEADAS</b>	<b>71</b>

<b>9</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>72</b>
9.1	Anexo 1. Rubros incluidos en la categoría Otros costos	72
9.2	Anexo 2. Precios de una dosis de semen	72
9.3	Anexo 3. Precio de venta de la producción de leche	72
9.4	Anexo 4. Precio de venta de las crías	72
<b>10</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Variables que integran el modelo	18
Cuadro 2.	Registros recolectados	19
Cuadro 3.	Conceptos de costos	20
Cuadro 4.	Tamaño de muestra por estrato	23
Cuadro 5.	Porcentaje de los parámetros reproductivos del hato	38
Cuadro 6.	Media y desviación estándar de parámetros reproductivos	38
Cuadro 7.	Variables reproductivas	40
Cuadro 8.	Códigos para cada ciclo estral	42
Cuadro 9.	Significado de códigos	44
Cuadro 10.	Costos de las dietas proporcionadas	47
Cuadro 11.	Resultados reproductivos	54
Cuadro 12.	Costos	58
Cuadro 13.	Beneficios y utilidad ajustada	61
Cuadro 14.	Utilidad ajustada marginal del hato	68
Cuadro 15.	Utilidad ajustada marginal por vaca	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Importaciones de leche de bovino	2
Figura 2. Participación de los estados en la producción nacional	3
Figura 3. Producción nacional	5
Figura 4. Parche detector de estros	8
Figura 5. Eventos reproductivos en vacas lecheras	16
Figura 6. Primer estro después de la espera voluntaria	26
Figura 7. Segundo y tercer estro después de la espera voluntaria	27
Figura 8. Cuarto, quinto y sexto estro después de la espera voluntaria	29
Figura 9. Concepción de vacas detectadas en estro y sincronizadas	31
Figura 10. Vacas vacías en el diagnóstico de gestación	32
Figura 11. Sección reproductiva del modelo de simulación	43
Figura 12. Días abiertos para diferentes porcentajes de detección de estros	55
Figura 13. Intervalo entre partos para diferentes porcentajes de detección de estros	56
Figura 14. Días secos para diferentes porcentajes de detección de estros	57
Figura 15. Costo total para diferentes porcentajes de detección de estros	59
Figura 16. Utilidad ajustada del hato para diferentes porcentajes de detección de estros	62

## RESUMEN

Debido a la importancia económica que representa para la empresa ganadera bovina la detección de estros, se diseñó un modelo matemático de simulación para hatos lecheros (MOSEPLE) basado en la metodología Montecarlo con el cual se estimó el costo económico de diferentes porcentajes de detección de estros (PDE). El modelo, que se elaboró utilizando una hoja de cálculo electrónica, simula el comportamiento de un hato lechero y estima la utilidad de distintos PDE. Los resultados muestran que por cada punto porcentual que aumente el PDE en el intervalo que va de 28% a 38%, la utilidad margina (Umg) de la empresa aumenta en \$35,210.04, mientras que cada punto porcentual en el intervalo de 58% a 78% representa \$19,614.65. Esto significa que implantar tecnologías y prácticas de manejo que aumenten el PDE a partir de los porcentajes bajos, es más rentable que mejorar el PDE a partir de porcentajes altos. En principio, de acuerdo con la teoría de costos, se espera que el costo de las tecnologías se incremente conforme aumenta la eficiencia en el PDE. Así, para pasar de un porcentaje de 28 a 38% pueden ser necesarias sólo algunas modificaciones en los procedimientos del personal de la empresa, mientras que para aumentar de 58 a 78% se puede requerir la contratación de personal extra y la implementación de tecnologías costosas. Para hacer uso práctico de los resultados de este trabajo, el empresario deberá estimar el costo que para su empresa tiene implantar tecnologías y prácticas de manejo que incrementen el PDE y compararlo con la Umg que corresponda a su PDE objetivo.

Palabras clave: Detección de estros, Montecarlo, MOSEPLE, costos, economía.

## ABSTRACT

Due to the economic importance that heat detection represents in a cattle operation a mathematical simulation model for dairy herds (MOSEPLE) based in the Montecarlo method, was designed to estimate the economic cost of different percentages of heat detection (PDE, initials in Spanish). The model was made using a spread sheet simulating the behavior of a dairy herd and estimating the profit with different PDEs. The results show that for every percentage point that the PDE increases in the interval from 28% to 38%, the marginal profit (Umg) of the operation increases in \$35,210.04, whereas every percentage point in the interval of 58% to 78% represents \$19,614.65. This means that to implement technology and management practices that increase the PDE from low percentages, is more profitable than improving the PDE than from high percentages. At first, according with the cost theory, it's expected that the cost of technologies increases according to the PDE efficiency. So, to pass from a percentage of 28% to 38% some modifications could be necessary in the procedures of the dairy staff, whereas to increase 58% to 78% could need hiring personnel and implementing costly technologies. To use in a practical way the results of this work, the owner of the dairy has to estimate the cost for their operation to implement technologies and management practices to increase the PDE and compare with the Umg that corresponds to the target PDE.

Key words: Estrus detection, Montecarlo, MOSEPLE, costs, economy.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los países con una mayor participación en las exportaciones de productos lácteos en el mundo son Australia y Nueva Zelandia, juntos sus exportaciones netas (en equivalente a leche fluida) son de alrededor de una tercera parte de las exportaciones mundiales (FAO, 2009).

En el año 2005, México ocupó el lugar número quince en producción de leche de bovino en el mundo; el país con mayor producción fue Estados Unidos, seguido de India, Federación Rusa, Alemania, Francia, China, Brasil, Nueva Zelandia, Reino Unido, Ucrania, Polonia, Países Bajos, Italia y Australia (FAO, 2009).

### **1.1 Producción de leche de bovino en México**

La producción de leche de bovino es de gran importancia a nivel nacional, por su papel en la economía del sector primario e industrial, sin embargo la oferta nacional es deficitaria por lo que tiene un gran potencial de expansión y con ello la posibilidad de sustituir las importaciones de leche y derivados lácteos. Hasta el año 2006 México era el segundo país importador de productos lácteos en el mundo (FAO, 2009).

La proyección de FAO para la producción de leche en México, para el año 2010 la estima en 10,491 mil toneladas y el consumo en 14,670 mil toneladas (FAO, 2009).

En la actualidad, para cubrir el déficit en la producción, México importa leche fluida, en polvo (entera y descremada) y derivados lácteos. Del total de las importaciones una parte es destinada al Programa de Abasto Social a precios subsidiados a través de SEDESOL LICONSA (SAGAR, 2010). En el caso de las importaciones de leche fluida, los datos publicados correspondientes al periodo 2005-2009 muestran que hubo un decremento en 2006, en 2007 aumentó en

mayor proporción de lo que disminuyó en el año previo y a partir del 2008 las importaciones disminuyeron; a pesar de lo anterior, en el primer bimestre del 2010 las importaciones rebasaron las cantidades importadas durante el mismo periodo en el 2009 (SIAP, SAGARPA, 2010) (Figura 1).



**Figura1.** Comportamiento de las importaciones de leche de bovino.

Fuente: Elaboración propia en base a SIAP, SAGARPA, 2010.

México ocupa el primer lugar en América Latina en la importación de leche en polvo, sin embargo, a partir del año 2002 LICONSA ha fortalecido su programa de adquisición de leche fluida de ganaderos nacionales; de acuerdo a la información que se ha publicado, la adquisición de este tipo de leche se ha incrementado en 70% durante los primeros tres años de la actual Administración, en 2007 se captaron 382.5 millones de litros de leche, en el año 2009 la compra de leche a ganaderos mexicanos fue superior en casi 26 millones de litros respecto a 2008, el volumen se ha ido incrementando año con año hasta alcanzar los 635 millones de litros en 2009. Actualmente más del 60% de la leche que se distribuye por medio del Programa de Abasto Social es comprada a productores nacionales (LICONSA, 2010).

#### 1.1.1 Principales estados productores de leche de bovino

De acuerdo a los datos publicados por el Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, SAGARPA, 2010) los seis estados con mayor producción de leche de bovino, durante el año 2009, aportaron 61% del total

nacional, éstos fueron: Jalisco (17.2%), Coahuila (12.1%), Durango (10.1%), Chihuahua (8%), Veracruz (7.7%) y Guanajuato (6.4%) (Figura 2).



**Figura 2.** Porcentaje de aportación al sector lechero bovino de los estados con mayor producción en México durante el 2009. Fuente: Elaboración propia en base a SIAP, SAGARPA, 2010.

### 1.1.2 Sistemas de producción de leche de bovino

La producción láctea se desarrolla en condiciones heterogéneas desde el punto de vista tecnológico, socioeconómico (Mariscal *et al.*, 2008) y ambiental. En México se han identificado cuatro sistemas de producción de leche de bovino: especializado, semiespecializado, de doble propósito y familiar; cada uno de ellos con una participación diferente en la producción de leche nacional debido a las características particulares de cada uno de ellos (Figura 3).

El sistema especializado aporta el 51% de la producción nacional y está ubicado, principalmente, en la región centro y norte del país, son empresas con ganado especializado para la producción de leche, predomina la raza Holstein y en menor medida Pardo Suizo y Jersey; producen de 4 a 6 mil kg de leche por vaca al año, tienen lactancias de 10 meses en promedio, el ganado está estabulado, la dieta es a base de forrajes de corte y alimento balanceado, utilizan procesos mecanizados para la producción de forraje y el ordeño; importan vaquillas de reemplazo, semen, máquinas ordeñadoras, equipo agrícola, entre otros; producen con altos costos unitarios y las empresas que producen una media inferior a 25 kg de leche por vaca por día corren el riesgo de no ser rentables (Ortiz, *et al.*, 2008; SIAP, SAGARPA, 2004; Peralta y Lastra, 1999).

El sistema semiespecializado produce el 21% de la producción nacional a pesar de que las razas que predominan en este sistema son Holstein y Pardo Suizo, el ganado está semiestabulado y se pastorea en pequeñas extensiones de terreno, el ordeño puede ser mecanizado con máquinas individuales o con pocas unidades debido a que en este sistema se tiene un nivel medio de tecnología (Ortíz, *et al.*, 2008; SIAP, SAGARPA, 2004).

El sistema de producción de doble propósito aporta el 18% de la producción nacional, se ubica en regiones tropicales y subtropicales del país, predominan las razas cebuinas y sus cruzas, generalmente con razas especializadas en producción de leche, son explotaciones de ganado bovino para la producción de carne y de leche, el manejo del ganado es de forma extensiva por ello mantienen un bajo costo de producción debido a la poca utilización de alimento balanceado comercial, escaso uso de tecnología y producción estacional (Ortiz, *et al.*, 2008; SIAP, SAGARPA, 2004), además del aprovechamiento de pastos nativos.

Por último, el sistema de producción familiar produce el 10% del total nacional, las razas utilizadas son Holstein, Suizo Americano y sus cruzas, la ordeña es manual, este sistema se caracteriza por el uso intensivo de mano de obra familiar, la alimentación del ganado es por medio del pastoreo o suministro de forrajes y esquilmos producidos en la explotación (Ortiz, *et al.*, 2008; SIAP, SAGARPA, 2004).



**Figura 3.** Porcentaje de la aportación a la producción de leche nacional de los diferentes sistemas de producción. Fuente: Elaboración propia en base a SIAP, SAGARPA, 2004.

La producción de leche, independientemente del sistema de producción, está relacionada, entre otros factores, con la capacidad de la vaca para gestarse, sin embargo a través de los años se ha conseguido obtener una mayor producción de leche por vaca por lactancia y ello ha tenido un impacto en la eficiencia reproductiva del hato; en una investigación que relacionó la producción de leche y los parámetros reproductivos, se encontró que al aumentar la capacidad productiva, el desempeño reproductivo del hato disminuyó, incrementándose el intervalo entre partos (Córdoba y Pérez, 2005).

## **1.2 Eficiencia reproductiva**

Para lograr la eficiencia reproductiva de un hato lechero, además de tener un buen manejo, es necesario llevar registros que permitan detectar cualquier cambio en el desempeño productivo de la empresa y tomar decisiones oportunas para corregir posibles desviaciones en los objetivos de la empresa, particularmente en los parámetros que tienen mayor influencia en los resultados económicos de la empresa.

### **1.2.1 Detección de estros**

La eficiencia económica de una empresa lechera es el resultado de la interacción de diversos parámetros, entre los cuales uno de los más importantes es la eficiencia reproductiva de las vacas, medida en última instancia por la duración del intervalo entre partos y del número de partos de cada vaca (Wattiaux, 2010), ya que de éstos dependen tanto la producción láctea como el número de crías que se pueden obtener durante la vida productiva de la vaca. Estos últimos tienen una incidencia directa en los ingresos y costos unitarios.

En el intervalo entre partos, uno de los factores que están bajo control del productor es el porcentaje de detección de estro (PDE). Este parámetro se refiere al número de vacas que se detectaron en estro con relación al total que lo presentaron (Ortiz y Hernández, 2007), en otras palabras, la suma del total de vaquillas que han llegado al peso y edad para mostrar el estro, y de las vacas con más de 60 días posparto, no inseminadas y sin enfermedades reproductivas. Para realizar el cálculo del PDE del hato, pasados un máximo de 24 días, se revisan los registros reproductivos de las vacas con las características mencionadas para saber cuántas vacas fueron observadas en estro y esa cifra se divide entre el total de vacas en esa categoría. Normalmente y de acuerdo a la literatura, la mitad de estas vacas: “elegibles” son detectadas (50% de eficiencia), sin embargo, con observación continua una meta alcanzable es de 75%. Otra forma indirecta de conocer la eficiencia en la detección de estros, es a través del porcentaje de vacas que llegan vacías al diagnóstico de gestación debido a que no se detectaron los estros posteriores a la inseminación y anteriores al diagnóstico de preñez, las que fueron inseminadas y no quedaron gestantes deben presentar el comportamiento característico del estro en el siguiente ciclo (21 días después). Normalmente, las vacas no gestantes muestran signos de estro entre 21 y 24 días después del servicio, cuando esto no ocurre se diagnostica la gestación entre los días 40 y 45. Se espera que menos del 20% de estas vacas resulten vacías; un porcentaje mayor al 20% indica una baja eficiencia en la detección de estros (Ortiz y Hernández, 2007).

La disminución en el PDE, provoca un retraso en la gestación de una vaca y pérdidas económicas debidas principalmente a que:

- ❖ Aumentan los costos asociados al mantenimiento de vacas improductivas.
  
- ❖ El número de lactancias promedio por vaca es menor al esperado.

- ❖ El número de crías producidas es menor y por lo tanto disminuye el ingreso total por su venta, además de incrementarse el número de reemplazos que tendrán que ser adquiridos, a costos mayores que los de producción de la empresa. ((Wattiaux, 2010).

#### 1.2.1.1 Métodos de detección de estros

Para que se logre un mayor porcentaje de gestación es necesario, además de un programa reproductivo eficiente, realizar una adecuada detección de estros. Para ello hay diferentes métodos y el adecuado para cada empresa dependerá del tamaño del hato y del personal disponible para realizar esta actividad. Algunos de ellos son: la observación, la utilización de toros celadores (también llamados indicadores), podómetros, crayones marcadores, Kamar TM, Estrotec, Bovine Beacon <sup>TM</sup>, Hot Flash, Heat Watch, entre muchas otras herramientas (Figura 4). Sin embargo en un estudio en el que compararon 4 métodos para detectar estro el más efectivo técnicamente resultó ser la observación (Jiménez *et al.*, 2007).



**Figura 4.** Parche detector de estros. Fuente: <http://handresen.perulactea.com>

Es importante tener presente que un aumento en el tamaño de los hatos lecheros es un factor que dificulta mejorar la detección de estros.

### **1.3 Eficiencia económica**

El principal objetivo de todos los productores comerciales es la maximización de las utilidades, estas dependen de diversos factores, muchos de los cuales no están en la esfera de decisión del productor individual, como los precios de los insumos y de sus productos, por lo tanto el productor debe focalizar su atención en los factores que están directamente bajo su control, a esta tarea contribuye de manera importante la utilización de modelos que simulen el comportamiento de los hatos, a través del análisis de diferentes escenarios que permiten conocer el impacto económico que ocasionan cambios en las variables reproductivas y económicas.

### **1.4 Modelos de simulación**

Una definición de simulación se refiere a la generación de datos artificiales de las variables relacionadas con los objetivos, generalmente con apoyo de una computadora.

Una definición de simulación se refiere a la introducción de cambios en los valores de las variables que tienen la mayor influencia en el comportamiento económico de la empresa y que tienen probabilidades de ocurrir, lo que generalmente se lleva a cabo con apoyo de una computadora.

Para realizar una simulación se requiere de la elaboración de un modelo matemático que describa, por medio de algoritmos de cálculo, la relación que

tienen en la realidad las diferentes variables que lo integran. Es importante mencionar que cuando el modelo trata de comportamientos reproductivos, con múltiples alternativas de la realidad, se considera como un método eficiente y económico para obtener conocimiento acerca del sistema y substituir la experimentación en la operativa de la empresa que es muy costosa y arriesgada.

En los modelos de simulación, en ocasiones se incluyen variables aleatorias con diferentes distribuciones de probabilidad, por ello se requiere de contar con algoritmos para generar las distribuciones de acuerdo a las de las variables que integran el modelo.

Con la finalidad de estimar el valor económico que los diferentes niveles de eficiencia reproductiva, las decisiones reproductivas, y otros componentes tienen en las empresas pecuarias, se han desarrollado diversos modelos de simulación para sistemas de producción de leche. Uno de ellos, realizado por Gröhn *et al.*, (2003) demuestra el impacto económico de las enfermedades más comunes en vacas lecheras, y cómo modifican las recomendaciones sobre el reemplazo, en donde los datos que se consideran como de mayor relevancia son los costos por tratamientos y veterinarios, la alteración en la producción láctea, porcentaje de fertilidad y sobrevivencia. Otro modelo elaborado por Ibendahl y Anderson (2001) determina a qué edad una vaca no gestante (abierta) debe ser reemplazada por una novilla; a través de la comparación de costos e ingresos. En ese análisis se establece cómo las diferencias en productividad, afectan las decisiones sobre el reemplazo. De Vries (2006) diseñó el modelo “Dairy VIP” para optimizar las decisiones sobre crianza y desecho de ganado lechero, basándose en el comportamiento de la curva de lactación, porcentaje de concepción, servicios y precios, que representan el comportamiento típico de un hato lechero en Estados Unidos. Gartner (1981) elaboró un modelo para evaluar la rentabilidad de distintas tasas de detección de reemplazo en cuencas lecheras.

#### 1.4.1 Metodología Monte Carlo

Los métodos para realizar procesos de simulación son diversos, Monte Carlo es uno de ellos y está considerado como uno de los más eficientes para la estimación de parámetros de un sistema real (López, 2008).

La simulación con metodología Monte Carlo (MC) es una técnica cuantitativa que utiliza la estadística mediante procesos informáticos para imitar el comportamiento aleatorio de sistemas reales. Esta simulación se ha utilizado como una metodología alterna al uso de modelos matemáticos exactos o como la única forma de estimar soluciones a problemas complejos. Actualmente se pueden encontrar modelos con simulación Montecarlo en diversas áreas como informática, empresarial, sociales, económica e industrial (Faulín, 2008).

La simulación Monte Carlo consiste en crear un modelo matemático del sistema que se quiere estudiar, para ello se identifican las variables que determinan su comportamiento general. Posteriormente, por medio de la computadora se generan muestras aleatorias para las variables seleccionadas, y se analiza el comportamiento del sistema a través de los nuevos valores generados. Después de realizar las repeticiones, se tendrán las observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el

funcionamiento del mismo en el caso de que la variación introducida se presente en la realidad. El análisis será tanto más preciso cuanto mayor sea el número de repeticiones (Faulín, 2008; CYTA, 2008).

Para realizar este tipo de simulaciones, se puede optar por la utilización de hojas de cálculo debido a su uso fácil, a su capacidad para recalcular valores y las posibilidades del análisis de escenarios. Además existen diversos complementos de Excel que facilitan la realización de las simulaciones como es el caso de @Risk, Crystall Ball, SimTools.xla, Insight.xla, entre otros (Faulín, 2008).

Diversos investigadores en el área biológica han optado por la utilización de esta técnica. Entre los trabajos publicados se encuentran el realizado por Schweizer *et al.*, (2005) en el que estimó las pérdidas económicas asociadas a la infección del ganado por *Fasciola hepática*, con la finalidad de estimar la relación beneficio costo de la implantación de estrategias de intervención ante esta parasitosis, los datos simulados en el modelo incluyeron la variabilidad en la prevalencia, disminución en la ganancia de peso, disminución de la producción de leche, incremento en el número de días a la concepción, número de servicios extras por concepción, valor económico del hígado, número de animales en tratamiento y número de vacas por explotación. Díaz *et al.*, (2009) determinaron la factibilidad del establecimiento de un sistema de producción de engorde de búfalos en pastoreo, evaluando el riesgo por medio de la metodología Montecarlo, el modelo incluyó las variables ganancia de peso diario, precio por kilogramo de peso vivo a la compra y precio por kilogramo de peso vivo a la venta; simulando 3000 escenarios determinaron la distribución del valor actual neto obteniendo así la probabilidad de lograr un resultado positivo en la utilidad. Shallo *et al.*, (2004) presentan la descripción y validación de un modelo llamado Moorepark Dairy System, el cual al contener una sección con características estocásticas utiliza metodología Montecarlo para determinar el efecto de las variaciones en el precio de la leche, costo del concentrado y calidad del ensilaje sobre la rentabilidad de

las granjas a través de la simulación de diversos escenarios. Hyde y Engel, (2002) emplean la simulación de Monte Carlo para estimar el punto de equilibrio en un sistema de ordeño robotizado, el análisis simula diversos escenarios bajo tres diferentes tamaños de hato de 60, 120 y 180 vacas. Rekaya *et al.*, (2000) desarrollaron un procedimiento Bayesiano para inferir los parámetros que integran la ecuación de Wood, la cual simula la curva de la lactancia; una vez estimados estos parámetros procedieron al cálculo de las variables: persistencia, día en el que se alcanza el pico de producción, producción obtenida en el pico de la lactancia y la producción de leche a los 305 días. St-Pierre y Thraen, (1999) utilizaron la metodología Montecarlo para realizar simulaciones de poblaciones de vacas alimentadas con diferentes cantidades de energía y proteína en las dietas, obteniendo la concentración óptima de ambos elementos y estimaron la manera en que este óptimo es afectado por las variables: potencial de producción del hato, precio de los insumos y la incertidumbre de los parámetros.

## **1.5 Justificación**

Debido a la importancia económica que representa para la empresa ganadera la detección de estros, se diseñó un modelo basado en la metodología Montecarlo para hatos lecheros (MOSEPLE), que estimó el valor económico de diferentes porcentajes de detección de estros (PDE).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Determinar el costo de la no detección de estros en vacas lecheras a través de un modelo de simulación utilizando la metodología Montecarlo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Determinar el PDE del hato lechero.
- ❖ Calcular los costos y beneficios de la empresa pecuaria.
- ❖ Elaborar escenarios para calcular la utilidad de la empresa con diferentes PDE.

### **3 HIPÓTESIS**

Las utilidades derivadas del incremento del PDE tienen rendimientos marginales decrecientes, por lo que en términos económicos no es adecuada una estrategia de manejo reproductivo que tenga como objetivo aumentar al máximo posible este parámetro.

### **4 METODOLOGÍA**

Para verificar la hipótesis de trabajo, se elaboró un modelo matemático de simulación (MOSEPLE), utilizando una hoja de cálculo electrónica basándose en la metodología Montecarlo, que simula el comportamiento de un hato lechero y estima la utilidad de distintos PDE. Para alimentar este modelo se utilizó información obtenida del procesamiento de registros de una empresa pecuaria cuyas características se describen a continuación.

#### **4.1 Descripción de la empresa pecuaria en estudio**

La información utilizada corresponde a una empresa pecuaria ubicada en el estado de Querétaro, dedicada a la producción de leche, la cual es vendida principalmente a una pasteurizadora y en menor cantidad a una cremería.

Esta empresa se maneja bajo un sistema de producción intensivo similar al que se utiliza en la mayoría de las empresas de su tipo, con bovinos de raza Holstein. El inventario es de 966 vacas, de las cuales 131 (13.56%) son de primer parto, 371 de segundo parto (38.4%), 255 de tercero (26.39%), 151 de cuarto (15.63%) y 58 (6%) de quinto y más partos.

Para el estudio se obtuvieron registros de 2,532 lactancias, clasificadas de la siguiente manera: 966 de primera lactancia (38%), 835 de segunda lactancia

(33%), 464 de tercera lactancia (18%), 209 de cuarta lactancia (8%) y 58 de quinta y más lactancias (2%).

## **4.2 Diseño del modelo de simulación**

Para realizar el diseño del modelo de simulación se identificaron los diferentes eventos reproductivos que ocurren durante la vida productiva de una vaca lechera (Figura 5).

## EVENTOS REPRODUCTIVOS EN VACAS LECHERAS



**Figura 5.** Diferentes eventos reproductivos que ocurren durante la vida productiva de una vaca partiendo del parto.

### 4.2.1 Manejo reproductivo de la empresa

Se tomó como punto de inicio el parto, a partir del cual las hembras pasan por un periodo de espera voluntario; transcurrido este periodo son sometidas a observación para detección de estro, solo una parte del hato es detectado en estro e inseminado, el resto es sometido a un protocolo de sincronización para su posterior inseminación. Las vacas que no quedan gestantes son detectadas en estro en los siguientes ciclos estrales o llegan al diagnóstico de gestación vacías ( $48 \pm 3$  días posteriores a la inseminación). La mayoría de las vacas que se encuentran en éste último caso son sometidas a un segundo protocolo de sincronización y su posterior inseminación.

### 4.2.2 Determinación de variables

Al conocer los eventos sobresalientes que ocurren en la vida productiva de una vaca y el manejo reproductivo y productivo de la empresa analizada, se determinaron las variables a incluir en el modelo de simulación, así como las probabilidades de ocurrencia de cada uno de estos eventos, y otros parámetros productivos. Las variables reproductivas, productivas y económicas que se consideraron para la elaboración del modelo se muestran en el cuadro 1.

---

**Cuadro 1.**

---

**VARIABLES QUE INTEGRAN EL MODELO**

---

<b>Reproducción</b>	<b>Producción</b>	<b>Económicos</b>
Espera voluntaria (días)	Duración de la lactancia (días)	Costos de alimentación
Detección de estros (probabilidad)	Número de lactancia	Costos reproductivos
Concepción (probabilidad)	Producción láctea (kg)	Amortización de la vaca
Vacías en el test de preñez (probabilidad)	Número de becerros nacidos	Ingresos venta de crías
Sincronización (probabilidad)	Número de becerras nacidas	Ingresos venta de leche
Días abiertos (días)		Utilidad equivalente
Gestación (días)		
Intervalo entre partos (días)		
Periodo seco (días)		
Servicios por concepción (número)		
Abortos (probabilidad)		
Inseminación		

---

### **4.3 Recolección de información**

Una vez identificadas las variables para la integración del modelo, se procedió a obtener los registros reproductivos, productivos y económicos (costos de insumos y precios de venta de los productos) de la empresa. Los ingresos se calcularon por medio de los registros productivos, el precio de venta de la leche y de los becerros y el precio en el mercado de las becerras.

Debido a que la empresa no tenía un software para la captura de información antes del año 2008, solo se contó con registros de los pesajes de la

producción de leche que se realizaron cada 14 días durante el periodo comprendido de febrero de 2008 a septiembre de 2009.

Los registros reproductivos proporcionados por la empresa son individuales y comprenden los diferentes sucesos de la vida de la vaca. La información reproductiva y productiva se muestra en el cuadro 2.

<b>Cuadro 2.</b>	
<b>REGISTROS RECOLECTADOS</b>	
<b>Reproducción</b>	<b>Producción</b>
Identificación de la vaca	Fecha de pesaje de la leche
Número de parto	Producción láctea
Fecha de parto	Sexo de las crías
Fecha de sincronización	
Fecha de inseminación	
Fecha del test de preñez	
Fecha de aborto	
Fecha de secado	
Fecha de revisión veterinaria	
Observaciones en la revisión veterinaria	

Con base en el análisis del sistema de costos de la empresa, se identificó que los costos asociados a cambios en la detección de estro son los relativos a: alimentación, reproducción y la amortización de la vaca. En la alimentación, es

importante considerar que la vaca tiene diferentes requerimientos nutricionales de acuerdo a su estado fisiológico y a la cantidad de leche que produce, por ello en la mayoría de las empresas se proporcionan diferentes dietas. En los costos reproductivos se considera que los más significativos son los asociados a la inseminación y a la aplicación de protocolos de sincronización (Cuadro 3).

**Cuadro 3.**  
**CONCEPTOS DE COSTOS**

<b>Alimentación</b>	<b>Reproductivos</b>	<b>Productivos</b>
Dieta para Altas	Inseminación	Amortización de la vaca
Dieta para Medias	Sincronización	
Dieta para Bajas		
Dieta para Secas		

Así como se identificaron los costos, también fue necesario identificar los rubros en los que la empresa genera beneficios. En el caso de esta empresa la venta de leche es su principal fuente de ingresos, sin embargo, es necesario considerar los ingresos por la venta de las crías. A pesar de que las crías hembras no son comercializadas ya que son utilizadas en su totalidad para reemplazar a las existentes en producción, se les adjudicó un valor monetario (costo de oportunidad).

Una vez identificadas y cuantificadas las actividades que generan beneficios en la empresa, se investigaron los precios de venta de las

producciones, para posteriormente cuantificarlas y determinar los ingresos en un periodo determinado.

#### **4.4 Determinación del tamaño de muestra**

Para el diseño y alimentación del modelo de simulación se requirió obtener parámetros de distintas variables reproductivas a partir de los registros de la empresa estudiada. Esto significó analizar los registros individuales de las vacas. Se tuvo acceso a una base de datos que abarca todas las lactancias de las vacas del establo, esto incluía 2,532 lactancias y registros de acciones zootécnicas, tales como diagnósticos de gestación, protocolos de sincronización, tratamientos médicos, partos, secados, entre otros. La falta de homogeneidad en los registros impidió que el análisis de la información se pudiera hacer con la ayuda de filtros u otros procedimientos semiautomáticos disponibles en las hojas de cálculo y las bases de datos electrónicas. La información de la empresa que sirvió de base contenía identificadores distintos para los mismos procedimientos, además de presentar inconsistencias. Todo ello obligó a que el análisis de la información se hiciera revisando lactancia por lactancia y registro por registro. Dada la dimensión de la base de datos, la labor de revisar todas las lactancias disponibles resultó inalcanzable en un tiempo razonable, por lo que se tomó la decisión de obtener los parámetros necesarios para el modelo de simulación, a partir de un muestreo por estratos, en el que los elementos muestrales fueron las lactancias individuales y el criterio de estratificación fue el número de parto que representaba cada lactancia (1er parto, 2do parto, etc.). Se establecieron cinco estratos: vacas de primer parto, de segundo, de tercero, de cuarto, de quinto o más partos. Se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 \Sigma Ni pi qi}{N^2 d^2 + Z^2 \Sigma Ni pi qi}$$

Dónde:

n: número de elementos que integran la muestra

N: población (2,532)

Z: nivel de confianza 95% (1.96)

p: proporción esperada (0.5)

q: 1-p

d: precisión (0.05)

Con base en esta fórmula se determinó que la muestra estaría compuesta por 334 lactancias divididas por estratos como se muestra en el cuadro 4. Las muestras se seleccionaron con base en números aleatorios generados en MS Excel©.

---

**Cuadro 4.**

**TAMAÑO DE MUESTRA POR ESTRATO**

	<b>Parto 1</b>	<b>Parto 2</b>	<b>Parto 3</b>	<b>Parto 4</b>	<b>Parto 5</b>
<b>Elementos en el estrato</b>	966	835	464	209	58
<b>Tamaño de muestra del estrato</b>	127	110	61	28	8

En una hoja de Excel se generaron 127 números aleatorios del 1 al 966 que corresponden al número de vacas con registros de su primer parto, 110 números aleatorios del 1 al 835 que corresponde al número de vacas con registros de su segundo parto, 61 números aleatorios del 1 al 464 que corresponden a registros de tercer parto, 28 del 1 al 209 del cuarto parto y 8 del 1 al 58 del quinto y más partos.

#### **4.5 Obtención de parámetros reproductivos y productivos de la empresa**

Teniendo la identificación de las vacas integrantes de la muestra aleatoria, se procedió a capturar en hojas de Excel las fechas de sus eventos reproductivos como el parto, la aplicación del protocolo de sincronización, inseminaciones, diagnóstico de gestación, aborto y secado; de manera cronológica para realizar el análisis de los registros y calcular los parámetros necesarios para alimentar el modelo de simulación, en algunos casos como en la detección de estros, abortos y la aplicación de protocolos de sincronización se requirió del cálculo de la probabilidad de ocurrencia de dichos eventos. Los parámetros: porcentaje de detección de estro, porcentaje de concepción y de vacas vacías al diagnóstico de gestación se calcularon para cada ciclo estral a partir del primero después del periodo de espera voluntaria; el porcentaje de vacas sincronizadas se calculó en el primer ciclo estral posterior al periodo de espera voluntaria y después del tercer

ciclo estral para cada ciclo siguiente de acuerdo con el manejo de la empresa, ya que no lleva a cabo protocolos de sincronización en el segundo y tercer ciclo estral de la vaca.

Las vacas detectadas con alguna patología se descartaron y fueron reemplazadas aleatoriamente sin modificar el tamaño de la muestra.

A continuación se describen las variables cuantificadas y el procedimiento seguido para ello.

#### *4.5.1 Espera voluntaria*

La espera voluntaria es el periodo de tiempo posparto en el que las vacas no son inseminadas aunque lleguen a presentar estro.

Posterior a la espera voluntaria la vaca que sea detectada en estro es inseminada y aquellas que no lo presentan o no son detectadas, son sincronizadas.

De acuerdo a lo mencionado, para conocer este parámetro se calculó la diferencia en días entre la fecha del último parto y la de inseminación o sincronización según el caso, el algoritmo utilizado fue el siguiente.

Algoritmo

Espera voluntaria:

**Fecha de inseminación o sincronización – Fecha de parto**

Este periodo es decidido por el encargado del manejo reproductivo del hato.

Debido a que se refiere a una práctica de manejo reproductivo, esta variable es una media calculada a partir de los resultados del algoritmo y se maneja como un valor constante para todas las vacas.

#### *4.5.2 Porcentaje de detección de estros*

En este trabajo se requirió obtener porcentajes de detección de estros (PDE) para cada ciclo posterior al periodo de espera voluntaria, por lo que no fue posible utilizar los procedimientos mencionados previamente (Ortiz y Hernández, 2007).

Cada vez que se insemina una vaca, se asume que se detectó un estro; si la vaca queda gestante, no se registrarán más inseminaciones hasta después del parto. En caso de que la vaca no haya quedado gestante, será necesaria otra inseminación, si ésta ocurre en un periodo mayor a 24 días, se asume que el estro anterior no fue detectado. De esta manera se revisaron los registros de todas las vacas de la muestra y se calcularon los PDE para cada ciclo posterior a la espera voluntaria. Por ejemplo, si una vaca es inseminada y tiene registro de una segunda inseminación 48 días después, se considera que no se detectó el estro en el ciclo estral anterior.

En el caso del primer estro, después de la espera voluntaria, el cálculo se hizo dividiendo el número de vacas detectadas en estro entre el total de vacas que debieron presentarlo después de la espera voluntaria (vacas que reunían las condiciones necesarias para mostrar signos de estro). En el total están incluidas las vacas que se detectaron y las que fueron sincronizadas (Figura 6).

Se eliminaron las vacas con problemas reproductivos que impedían que entraran en estro, por ello no se incluyen en el total de vacas que reúnen las condiciones para presentar signos de estro.

## PRIMER ESTRO DESPUÉS DE LA ESPERA VOLUNTARIA



**Figura 6.** Para realizar el cálculo del PDE del primer estro después de la espera voluntaria se consideraron todas las vacas aptas para presentar signos de estro, de este total de vacas algunas son detectadas y otras son sincronizadas.

Algoritmo

Detección del estro:

$$x = \frac{\text{Número de vacas detectadas en estro no sincronizadas}}{\text{Número de vacas que debieron presentar estro después de la espera voluntaria}} \times 10$$

Para el cálculo de este parámetro en el segundo y tercer ciclo estral, se requirió el número de vacas detectadas en el estro correspondiente, el cual se dividió entre el total de vacas que no han gestado y por lo tanto deben presentar signos de estro; en el caso del tercer estro las vacas que debieron presentarlo son todas aquellas que no fueron detectadas en el estro anterior y las que no quedaron gestantes en la inseminación anterior (Figura 7).

## SEGUNDO Y TERCER ESTRO DESPUÉS DE LA ESPERA VOLUNTARIA



**Figura 7.** Para realizar el cálculo del porcentaje de detección del segundo y tercer estro después de la espera voluntaria se consideraron todas las vacas que no gestaron después de la última inseminación.

Es importante mencionar que de acuerdo a los registros de la empresa, las vacas que no gestaron después de la primera inseminación no son sincronizadas durante los dos siguientes ciclos estrales, es decir, se espera que retornen al estro naturalmente para proceder a realizar la segunda inseminación. A partir del cuarto

ciclo estral nuevamente aparece la posibilidad de aplicar el protocolo de sincronización, esto ocurre en el caso de que la vaca no quede gestante después de la primera inseminación y llegue al diagnóstico de gestación vacía, debido a la falta de observación de signos de retorno al estro en el segundo y tercer ciclo estral.

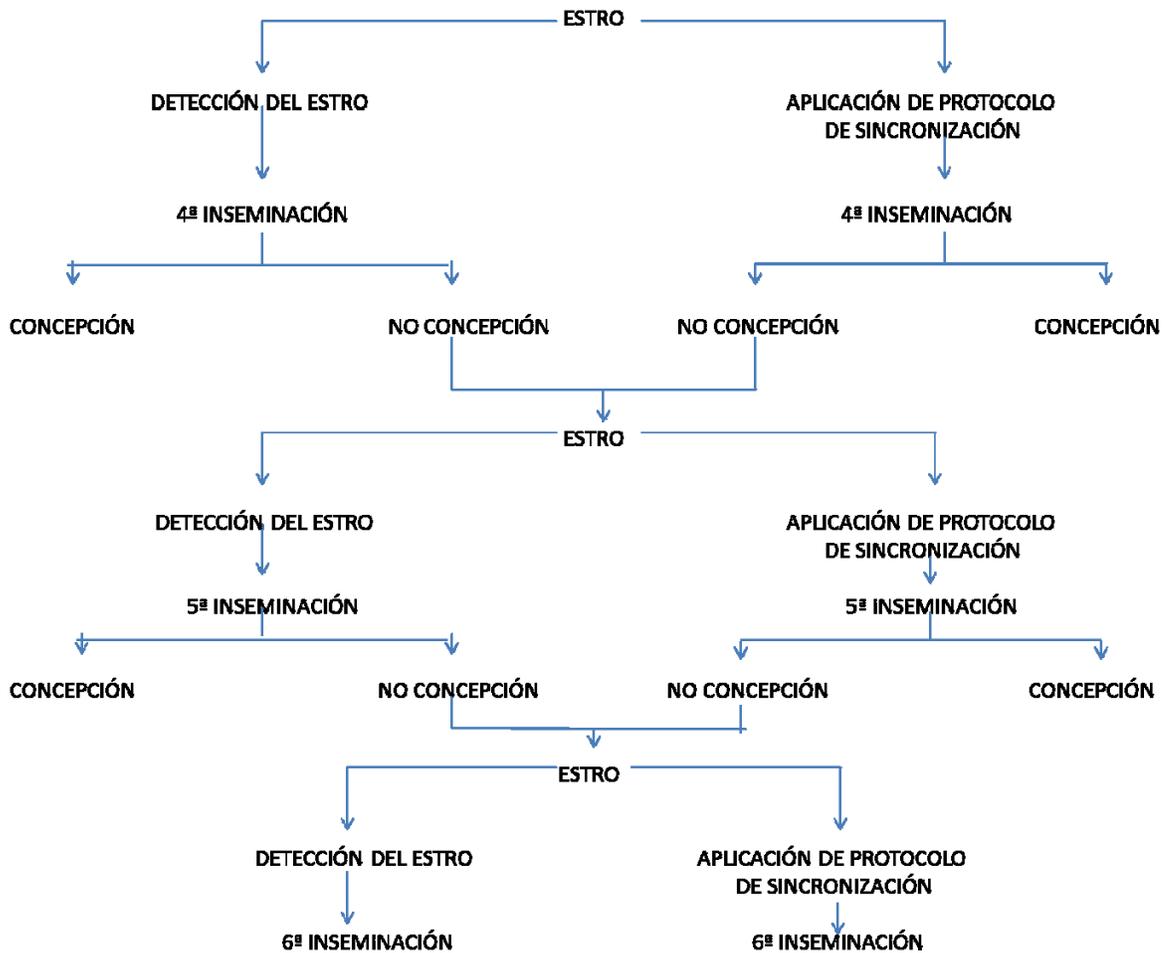
En la detección del cuarto al octavo estro, el total de vacas consideradas como candidatas a presentar estro está formado por el número de vacas que no gestaron, independientemente de si fueron sincronizadas o no en el ciclo estral anterior, o que no fueron detectadas en el estro anterior. En el cálculo, se dividió el número de vacas detectadas en el estro correspondiente entre el total de vacas no gestantes como lo muestra el algoritmo (Figura 8).

Algoritmo

Detección del estro:

$$x = \frac{\text{Número de vacas detectadas en estro}}{\text{Número total de vacas no gestantes en el estro anterior}} \times 100$$

## CUARTO, QUINTO Y SEXTO ESTRO DESPUÉS DE LA ESPERA VOLUNTARIA



**Figura 8.** Para realizar el cálculo del porcentaje de detección del

cuarto, quinto, sexto, séptimo y octavo estro después de la espera voluntaria se consideran todas las vacas que no gestaron después de la inseminación correspondiente.

### 4.5.3 Porcentaje de concepción

Para el cálculo de este parámetro el número de vacas gestantes se divide entre el total de vacas inseminadas. El cálculo se realizó para todas las vacas inseminadas

en cada ciclo estral posterior a la espera voluntaria y también de manera independiente para vacas detectadas en estro y vacas que recibieron un protocolo de sincronización (Figura 9). En éste último caso, es necesario recordar que en el segundo y tercer ciclo estral posterior a la espera voluntaria no se realizó alguna sincronización.

Se encontraron registros de vacas detectadas en estro e inseminadas, sin embargo por el periodo de tiempo transcurrido entre la inseminación y el momento de la obtención de los registros, aún no se tenía confirmada la gestación, por lo tanto esas vacas no fueron contabilizadas para obtener este dato.

Para el grupo de vacas detectadas en celo y, por lo tanto, que no fueron sincronizadas, el algoritmo usado para conocer el parámetro es el siguiente:

Algoritmo

Porcentaje de Concepción:

$$x = \frac{\text{Número de vacas gestantes}}{\text{Número total de vacas inseminadas que fueron detectadas en estro}} \times 100$$

Para las vacas sometidas al protocolo de sincronización el cálculo se realizó de la siguiente manera:

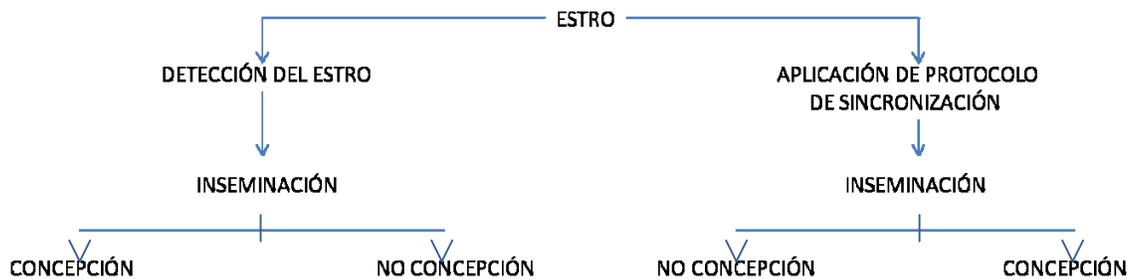
Algoritmo

Porcentaje de Concepción:

$$x = \frac{\text{Número de vacas gestantes}}{\text{Número total de vacas inseminadas después de la sincronización}} \times 100$$

Estos mismos cálculos se realizaron para obtener el porcentaje de concepción de las inseminaciones en los estros subsecuentes.

#### CONCEPCIÓN DE VACAS DETECTADS EN ESTRO Y VACAS SINCRONIZADAS



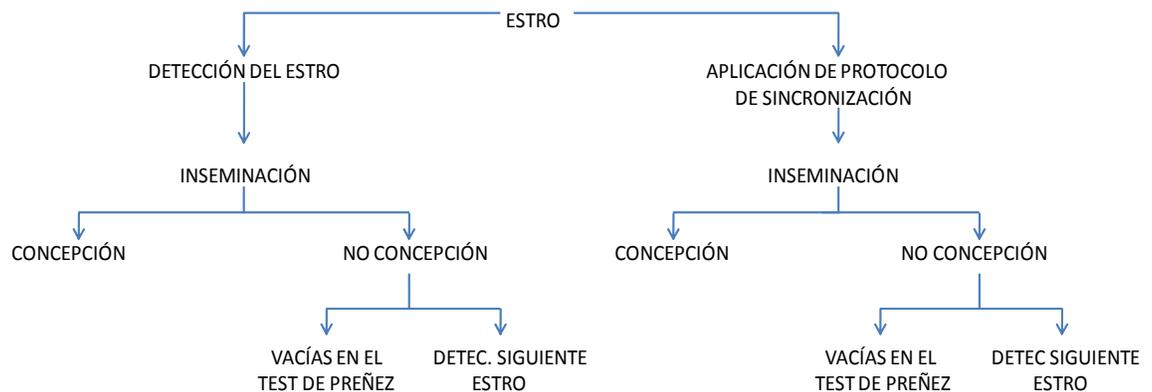
**Figura 9.** El porcentaje de concepción se calcula para vacas detectadas en estro y para vacas sincronizadas de manera independiente.

#### 4.5.4 Porcentaje de vacas vacías en el diagnóstico de gestación

Del total de vacas inseminadas, existe un porcentaje que llegan al diagnóstico de gestación estando vacías. El número de estros posteriores que no fueron

detectados depende del intervalo de tiempo transcurrido entre la inseminación y el momento en el que se lleve a cabo el diagnóstico de gestación. De acuerdo al manejo en la empresa evaluada, si una vaca es inseminada y llega al diagnóstico de gestación vacía se debe a la no detección de dos ciclos estrales. Posteriormente es decisión del encargado del manejo reproductivo del hato si procede a sincronizar a la vaca o espera a la presentación de signos estrales en el siguiente ciclo.

### VACAS VACÍAS EN EL DIAGNÓSTICO DE GESTACIÓN



**Figura 10.** El porcentaje de concepción se calcula para vacas detectadas en estro y para vacas sincronizadas de manera independiente

Estos cálculos se realizaron de manera similar que en el parámetro anterior, es decir, posterior a las inseminaciones en cada ciclo estral y de manera independiente para vacas detectadas en estro y vacas sincronizadas. El algoritmo utilizado fue el siguiente:

Algoritmo

Porcentaje de vacas negativas en el diagnóstico de gestación:

$$x = \frac{\text{Número de vacas vacías en el diagnóstico de gestación}}{\text{Número de vacas no gestantes después de la inseminación correspondiente}} \times 100$$

Dónde:

Número de vacas no gestantes después de la inseminación:

Número de vacas que presentaron estro después de la inseminación + Número de vacas

no gestantes en el diagnóstico de gestación

Este dato se obtuvo en los casos de detección de estro sin sincronización y con sincronización por separado en cada ciclo estral.

#### 4.5.5 *Porcentaje de vacas sincronizadas*

Del total de vacas candidatas a presentar estro, solo algunas de ellas son detectadas y el resto son sometidas a un protocolo de sincronización, ya que no presentan signos de estro en el periodo esperado por el responsable; en este hato más de una vez puede ser sincronizada una vaca en un periodo comprendido entre dos partos. Es necesario recordar que en el segundo y tercer ciclo estral no se realiza sincronización.

Para obtener este porcentaje se contabilizaron las vacas que fueron sometidas a un protocolo de sincronización del total de vacas que no se gestaron en la inseminación realizada en el ciclo estral anterior, el algoritmo se presenta a continuación.

Algoritmo

Sincronización:

$$x = \frac{\text{Número de vacas sincronizadas e inseminadas}}{\text{Número de vacas no gestantes en el ciclo estral anterior}} \times 100$$

#### 4.5.6 *Periodo comprendido entre la última inseminación – diagnóstico de gestación*

Se requirieron las fechas de realización del diagnóstico de gestación y la fecha de la última inseminación, posteriormente se obtuvo la diferencia en días entre estos eventos reproductivos, así como lo muestra el siguiente algoritmo.

Algoritmo

Periodo comprendido entre la última inseminación – diagnóstico de gestación:

**Fecha de la realización del diagnóstico de gestación – Fecha de la última inseminación**

#### *4.6.7 Duración de la gestación*

Para obtener este parámetro se necesitó calcular la diferencia en la fecha de parto y la fecha de la última inseminación como lo muestra el algoritmo, de esta manera se calculó la duración de la gestación.

Algoritmo

Gestación:

**Fecha de parto - fecha de última inseminación**

#### 4.5.8 Porcentaje de abortos

Para calcular la ocurrencia de abortos se requirieron las fechas de partos, así como las fechas de abortos de cada vaca. Se procedió a contabilizar el número de abortos y partos ocurridos, con esta información y el siguiente algoritmo se obtuvo el dato buscado que corresponde al 15%.

Algoritmo

Porcentaje de abortos:

$$x = \frac{\text{Número de abortos}}{\text{Número de diagnósticos de gestación positivos}} \times 100$$

#### 4.5.9 Duración del periodo seco

Los días secos fueron calculados obteniendo la diferencia en días en la fecha del parto y la fecha de secado como lo muestra el algoritmo.

Algoritmo

Periodo seco:

$$\text{Fecha de parto} - \text{Fecha de secado}$$

#### 4.5.10 Producción láctea

La simulación de la curva de la lactancia se basó en la ecuación de Wood (Wood, 1967) o Gama incompleta, que estima la curva de lactancia en bovinos lecheros.

Fórmula:

$$Y = a * t^b * e^{-c * t}$$

Dónde:

Y: producción de leche en kg

a: producción inicial

t: día de la lactancia

b: tasa de aumento

e: constante

c: tasa de descenso

Para obtener la producción total de cada vaca fue necesario el cálculo de los parámetros a, b y c que integran la ecuación de Wood, por lo que se creó una

base de datos que incluyera las siguientes variables: identificación de cada vaca, número de lactancia, día de la lactancia en cada pesaje y la producción en cada pesaje que se realizó cada quince días. Esta información se ingresó al programa estadístico SAS y se obtuvo la media de cada parámetro para el número de lactancia respectiva.

En el cálculo de estos parámetros se consideraron sólo datos de lactancias completas. Se eliminaron también las lactancias que mostraran incongruencias evidentes, por ejemplo, vacas que en el inicio de su lactancia tuvieran una producción mayor a la registrada en el pico de lactancia o con fluctuaciones anormales a lo largo de la lactancia.

#### 4.5.11 Resumen de parámetros reproductivos calculados

El objetivo del procesamiento y análisis de los registros reproductivos de la empresa fue el obtener los parámetros reproductivos necesarios que alimentaron el modelo de simulación construido, algunos de ellos se presentan como porcentaje pero serán introducidos como probabilidad. Los parámetros se muestran en los cuadros 5 y 6.

**Cuadro 5.**

**% DE PARÁMETROS REPRODUCTIVOS DEL HATO**

**Estros**

<b>Parámetros</b>	<b>Primero</b>	<b>Segundo</b>	<b>Tercero</b>	<b>Cuarto</b>	<b>Quinto</b>	<b>Sexto</b>	<b>Séptimo</b>	<b>Octavo</b>
<b>Detección del estro (%)</b>	32	40	49	30	41	35	13	28
Concepción (%)	42	50	44	42	42	69	20	100
Vacías al dx gx (%)	28	18	24	33	36	14	0	0

<b>Sincronización (%)</b>	68	41	47	13	47	28
Concepción (%)	37	43	0	77	47	55
Vacías al dx gx (%)	30	48	50	50	70	75

**Cuadro 6.**  
**MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE PARÁMETROS**  
**REPRODUCTIVOS**

<b>Parámetro</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Espera voluntaria</b>	60	11
<b>Periodo insem –dx de gx</b>	48	3
<b>Gestación</b>	278	5
<b>Periodo seco</b>	74	27

#### **4.6 Elaboración del modelo de simulación**

El MOSEPLE consta de tres hojas de cálculo y un módulo de Visual Basic que contiene un macro para realizar de manera automática las simulaciones de cada escenario. Las hojas de cálculo se titulan: datos, repeticiones y salida. En la hoja de datos se introducen los valores de las variables utilizadas en la simulación. La hoja de repeticiones contiene el modelo en sí, y en ella se expresan las relaciones entre las variables productivas, reproductivas y económicas. La hoja de salida se genera automáticamente con el macro mencionado y contiene los resultados parciales y totales de cada simulación.

#### 4.6.1 Sección Reproductiva

Para la construcción de esta sección se identificaron y procesaron las variables que la integran; se determinó para cada una de ellas el tipo de distribución teórica que mejor se ajustó a la distribución observada, y se obtuvieron los estadísticos necesarios para la generación de los números aleatorios de acuerdo a su distribución (Cuadro 7).

---

**Cuadro 7.**  
**VARIABLES REPRODUCTIVAS**

<b>Variables</b>	<b>Tipo de distribución</b>
Detección de estros (probabilidad)	Binomial
Concepción (probabilidad)	Binomial
Vacías en el test de preñez (probabilidad)	Binomial Binomial

Sincronización (probabilidad)

Duración de la gestación (días)

Normal

Abortos (probabilidad)

Binomial

---

Los estadísticos que se requirieron calcular, en el caso de una distribución normal, fueron la media y la desviación estándar; en la distribución binomial se requirió de la probabilidad de ocurrencia de esa variable. Con la información anterior, se realizó la simulación Montecarlo que consistió en generar números aleatorios, para variables con una distribución normal a través de la función estadística que se localiza en Excel, “dist. norm. inv.”. Para variables con distribución binomial, fue necesario hacer uso de un software que contiene un complemento de Excel llamado SimTools, éste permite agregar funciones estadísticas para realizar la simulación Montecarlo, de esta manera se utilizó la función “binominv”, que calcula y devuelve un valor al proporcionar una probabilidad siguiendo una distribución Binomial.

Teniendo los números aleatorios se simulan todos los eventos reproductivos mencionados para cada vaca y con el objetivo de que la ocurrencia de cada uno fuera coherente, se diseñaron códigos que permitieron evitar errores en este punto.

La primera variable en el modelo es la “espera voluntaria”, como se trata de una práctica de manejo se consideró como una constante.

La siguiente parte de esta sección está constituida de la siguiente manera. La variable detección de estros presenta una distribución Binomial, por ello genera de manera aleatoria el número 1 y 0, el número 1 indica que sí se detectó el estro y el 0 indica que no fue detectado. Las vacas en este último caso son sincronizadas, por ello en la variable sincronización estas vacas tendrán un

número 1. Las vacas detectadas o sincronizadas pasan a la siguiente variable que es “concepción” en dónde se generan los números 0 y 1 de manera aleatoria, si la opción es 0 pasan a la siguiente variable “vacía en el diagnóstico de gestación”, aquí nuevamente se generan los números aleatorio y puede resultar 1 ó 0, si la opción es 0, el código correspondiente es 10 que indica que esa vaca fue detectada en estro, no quedó gestante y no llegó vacía al diagnóstico de gestación, por lo tanto llegará a la siguiente variable que es “detección del segundo estro”. Si el número generado en el diagnóstico de gestación es 1, el código correspondiente es 11 indicando que la vaca fue detectada en estro, no quedó gestante y no fue detectado el estro en el siguiente ciclo estral sino que llegó hasta el diagnóstico de gestación vacía; las vacas con 1 en la detección de estro y 1 en concepción le corresponde 110 en la casilla de código, indicando que la vaca quedó gestante en ese estro, por lo tanto ya no se generan números aleatorios en los siguientes estros. Las vacas con código 10 tendrán número aleatorio en el estro del siguiente ciclo estral (Cuadro 8).

**Cuadro 8.**

**CÓDIGOS PARA CADA CICLO ESTRAL**

Estro o Sincronización	Concepción	Test de preñez	Código
0	0	0	0
1	0	0	10
1	0	1	11
1	1	0	110

Las variables reproductivas mencionadas se muestran en la siguiente figura.

El procedimiento se repite hasta el estro número 8, aunque en los registros reproductivos de la empresa existen vacas con 9 inseminaciones, sin embargo estos casos son mínimos, por esta razón se tomó la decisión de incluir hasta 8 ciclos estrales en el modelo.

La inserción de códigos permite calcular los días abiertos, ya que cada uno equivale a un número específico de días, los cuales se van sumando de acuerdo al tiempo que tarde cada vaca en quedar gestante. El número 24 corresponde a la duración del ciclo estral, 48 tiempo de espera para la realización del diagnóstico de gestación y 0 días indica que en esa inseminación la vaca quedó gestante, por lo tanto ya no se suman más días a la variable días abiertos (Cuadro 9).

**Cuadro 9.**  
**SIGNIFICADO DE**  
**CÓDIGOS**

Código	Días
0	24
10	24
11	48
110	0

La siguiente variable es la duración de la gestación, los números aleatorios sólo se generan cuando se detecta un código 110 (significa vaca gestante), en caso contrario la casilla correspondiente a esta variable queda vacía. Sumando las variables duración de la gestación, espera voluntaria y días abiertos, se obtiene el intervalo entre partos.

La variable aborto, también está incluida en el modelo, para determinar si ocurrió este evento se generan números aleatorios de acuerdo a la distribución de probabilidad que se ingresó en el modelo. El número de servicios por concepción, se calcula sumando el valor obtenido en las variables detección de estro y sincronización, considerando que posterior a estos eventos las vacas se inseminaron.

#### 4.6.2 Sección Productiva

##### 4.6.2.1 Leche

En la sección producción de leche, el modelo incluye las siguientes variables: número de lactancia, duración y producción total de la lactancia.

La duración de la lactancia se calcula a través de una fórmula insertada en el modelo, la que permite calcular la diferencia entre los días secos y la duración del intervalo entre partos, esta operación se realiza para cada vaca. Teniendo las dos primeras variables y los valores de a, b y c para cada lactancia, el modelo calcula la producción total para la lactancia correspondiente a través de la programación de la función por medio del Editor Visual Basic, por lo tanto de acuerdo al número de lactancia en el que se encuentra la vaca será el valor de a, b y c que se considera y, además como se mencionó la variable duración de la lactancia es fundamental en la ecuación de Wood para simular la curva de la lactancia.

##### 4.6.2.2 Crías

Parte del manejo reproductivo de la empresa es la utilización de semen sexado en las primeras tres inseminaciones artificiales, si en algún caso son necesarias más inseminaciones entonces se aplica semen convencional. La probabilidad del

nacimiento de una hembra con semen sexado es de 0.9 y con semen convencional es de 0.5.

En la primera parte, se determina la producción de hembras con semen sexado a través de la generación de números aleatorios siguiendo una distribución Binomial y considerando una probabilidad de 0.9. En la siguiente parte, se determina la producción de hembras nacidas de vacas inseminadas con semen convencional. Por último, se determina la producción de machos, aquí incluye el 10% nacidos de vacas inseminadas con semen sexado y el 50% de machos nacidos de vacas inseminadas con semen convencional. De esta manera se conoce probabilísticamente el sexo de la cría de cada vaca, dato indispensable para calcular el ingreso asociado a la venta de becerros.

#### 4.6.3 Sección Económica

Se realizó el análisis de los costos y beneficios asociados a los cambios en el PDE, considerando que los costos que principalmente se ven afectados son los relacionados con la alimentación, los reproductivos que incluyen la inseminación y sincronización, la amortización de la vaca, y en una sola categoría otros costos (Ver anexo 1), en ella se incluyen los rubros sueldos, biológicos, material de curación, insumos, diesel, energía eléctrica, servicios de la sala de ordeño y maquinaria, análisis de laboratorio, teléfono, nextel, gasolina y papelería; los beneficios que considera el modelo son los obtenidos por la venta de crías y de leche.

##### 4.6.3.1 Costos

Para calcular el costo total de la alimentación, el modelo contempla las diferentes etapas productivas y fisiológicas. Entre dos partos, a la vaca se le suministran

## SECCIÓN REPRODUCTIVA DEL MODELO DE SIMULACIÓN

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Formula Bar:**  $=SI(B28=0,0,SI(C28=1,0,SI(C28=0,BINOMINV(ALEATORIO(),1,$D$5))))$
- Columns (A-T):**
  - A: ESPERA VOLUNTARIA
  - B: ESTRO 1
  - C: CONCEP
  - D: VACÍA AL DX GX
  - E: COD
  - F: DIAS
  - G: SINCR0
  - H: CONCEP
  - I: VACÍA AL DX GX
  - J: COD
  - K: DIAS
  - L: VACAS NO GX
  - M: ESTRO 2
  - N: CONCEP
  - O: VACÍA AL DX GX
  - P: COD
  - Q: DIAS
  - R: VAC. NO C
- Rows (4-30):** Simulation iterations with numerical values for each variable.
- Bottom Status Bar:** Shows zoom levels (52%, 48%, 44%, 24%, 53%, 40%, 37%) and sheet names (DATOS, REPETICIONES, SALIDA).

Figura 11. Variables reproductivas y códigos utilizados en la sección reproductiva del modelo de simulación.

cuatro dietas de acuerdo a la etapa en la que se encuentre, por lo tanto el modelo obtiene el costo por concepto de alimentación para cada etapa al multiplicar el tiempo que cada dieta es ofrecida a cada vaca por su costo. Una vez calculado el costo de alimentación en las diferentes etapas, éstas se suman y se obtiene el costo total por concepto de alimentación para cada vaca durante el intervalo entre partos.

Los costos de las diferentes dietas fueron proporcionados por la empresa analizada. En la siguiente tabla se muestran los costos de las dietas suministradas (Cuadro 10).

<b>Dieta</b>	<b>Costo</b>
Dieta alta	\$ 96.88
Dieta media	\$ 89.50
Dieta baja	\$ 56.93
Dieta para Secas	\$ 21.80

En los costos reproductivos, se incluyen los costos por dosis de semen y los costos del protocolo de sincronización.

La empresa proporcionó diferentes precios de dosis de semen que se han adquirido; debido a que en el modelo sólo se considera un valor asignado para este concepto, se procedió a obtener un promedio ponderado con ayuda de los

registros reproductivos. Insertando este valor en el modelo, este calcula el número de inseminaciones que cada vaca requirió para gestarse, las cuales son multiplicadas por el costo calculado (Ver anexo 2).

De la misma manera, se decidió calcular el promedio ponderado del costo del protocolo de sincronización y utilizarlo en el modelo de simulación, el cual identifica el número de sincronizaciones por vaca y las multiplica por el costo ponderado.

Por último se suman los costos por inseminación y sincronización con la finalidad de obtener el costo total por concepto de manejo reproductivo.

La información necesaria para realizar los dos cálculos anteriores fue proporcionada en los registros a partir de enero de 2008 hasta marzo de 2009.

El desgaste de la vaca se introdujo en el modelo calculando la amortización, a través del siguiente algoritmo:

Algoritmo

Amortización:

$$x = \frac{(\$ \text{reemplazo} - \$ \text{vacas de desecho}) \cdot (\text{Vida útil})}{\text{Intervalo entre partos}} \times (\text{días abiertos} + \text{gestación})$$

Dónde:

\$ reemplazo: \$17,000

\$ vacas de desecho: \$7,800

Vida útil: 3.5 partos

Intervalo entre partos: 381 días.

Días abiertos: valor variable de acuerdo a cada vaca.

Gestación: valor variable de acuerdo a cada vaca.

El precio de las vacas de desecho, reemplazo y el número de partos durante la vida productiva de la vaca fueron proporcionados, basándose en los registros, por el encargado de la empresa.

También se recopiló información sobre otros costos y se calculó el costo por vaca por día, dato que se ingresó al modelo.

Los valores obtenidos, por los conceptos anteriores, se suman para obtener los costos totales que se consideran en el MOSEPLE.

#### 4.6.3.2 Beneficios

La actividad principal de la empresa pecuaria es la producción de leche, misma que vende a dos empresas, a precios distintos, por tal motivo se calculó el precio ponderado por volumen, que al ingresar al modelo se multiplica por la cantidad de leche producida por lactancia por vaca, la que se obtiene mediante la ecuación de Wood, para así generar el ingreso por concepto de venta de leche (Ver anexo 3).

La venta de becerros también es una fuente de ingresos para la empresa. En el caso de las becerras producidas todas son utilizadas como reemplazos, sin embargo, es necesario adjudicarles un valor monetario correspondiente al valor de los reemplazos en el mercado para incluirlo en los ingresos de la empresa, pues un PDE mayor permitirá obtener más becerras. El precio de venta de los becerros fue proporcionado por la empresa, el valor de las becerras representa un promedio

de los precios de venta de becerras calostradas en la región (Ver anexo 4). El ingreso por venta de las crías es asignado por el modelo al detectar el sexo, de tal manera que habrá un ingreso diferente si la cría es macho o hembra. Los valores obtenidos por los conceptos anteriores son sumados con la finalidad de obtener los beneficios totales que considera el modelo.

#### 4.6.3.3 Utilidad Parcial

En vista de que no se toman en cuenta todos los costos sino únicamente los que se consideraron que están relacionados con modificaciones en la eficiencia reproductiva, se tuvo la necesidad de introducir este parámetro al que se le denomina utilidad parcial.

#### 4.6.3.4 Utilidad Ajustada

La duración del intervalo entre partos representa el ciclo productivo de la vaca, éste se ve afectado por el PDE porque cuando ésta aumenta las vacas se gestan antes y viceversa. La duración del intervalo entre partos afecta los costos y beneficios del hato porque estos dependen de los días que dure el ciclo productivo de las vacas. Por tal motivo, no es adecuado comparar las utilidades de los distintos PDE, pues para cada uno de ellos, la duración del ciclo productivo (intervalo entre partos) es diferente. Por tal motivo se diseñó un indicador para ajustar las utilidades a un mismo tamaño del ciclo productivo, que se decidió fuera de 380 días. Este valor se eligió porque es el intervalo entre partos de una vaca promedio en la empresa estudiada.

La utilidad ajustada se calculó por hato al dividir la utilidad parcial entre la duración del intervalo entre partos para cada tasa y multiplicarla por 380 días.

#### 4.6.4 Simulaciones

Para realizar las 1,000 simulaciones de cada escenario es necesario recalcularse la hoja del modelo 1,000 veces y obtener los valores de cada simulación. Realizar esto de manera manual sería muy tardado y complicado. Por tal motivo se elaboró un macro, con ayuda del Editor Visual Basic de Excel, que recalcula la hoja automáticamente tantas veces como le sea requerido, extrae y almacena en otra hoja, los valores necesarios para el análisis de cada escenario.

En una hoja de Excel inmediata a la hoja que contiene el modelo del comportamiento reproductivo y productivo de la empresa, se ingresan las variables que se consideran que están relacionadas con lo que se desea evaluar, por ello se decidió tomar las variables días abiertos, intervalo entre partos, días secos, costos por alimentación, inseminación, sincronización, amortización, costos totales, ingreso por venta de leche, beneficio total, utilidad parcial y utilidad ajustada.

En el caso de las variables reproductivas, en cada repetición se genera un número aleatorio de acuerdo a la distribución de dicha variable para cada vaca, como se tiene una muestra de 334 vacas se calcula una media para cada variable. Además se programó una función en el Editor Visual Basic que permite transcribir esa media a la hoja inmediata posterior, por lo tanto, en cada repetición se genera una media de la muestra para cada variable de interés. Lo mismo sucede con las variables de costos, beneficios y utilidad marginal, sólo que en esos casos no se genera una media, en esta parte interesa conocer la cantidad total, por lo que los costos por alimentación de cada vaca se suman y el total es el valor que se transcribe a la siguiente hoja de Excel, lo mismo ocurre con las demás variables económicas.

De acuerdo al número de repeticiones es el número de medias o totales transcritas a la hoja de Excel inmediata con la finalidad de obtener una media final para cada variable y ésta es la que representa el comportamiento del hato.

Para determinar el número de repeticiones, se utilizó la siguiente fórmula, la cual fue aplicada a las variables de interés y el número de repeticiones seleccionada fue la de la variable con el valor más grande de n.

Fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{e^2}$$

Dónde:

Z: 1.96

$\sigma$ : desviación estándar

e: error aceptado

Del valor de n se calculó la media para cada variable de interés. Posteriormente se realizaron diversas simulaciones con el mismo número de repeticiones, modificando la variable de interés, es decir el PDE, manteniendo constantes el resto de ellas.

## 5 RESULTADOS

La empresa arrojó un PDE del 28%, a partir de este valor se realizaron simulaciones cada 5 puntos porcentuales adicionales hasta un porcentaje del 98%. Al realizarse estas simulaciones, se obtuvieron los valores correspondientes a las variables: días abiertos, intervalo entre partos, días secos, costo de la alimentación, otros costos, costos totales, ingresos asociados a la venta de leche, ingresos por venta de las crías, beneficios totales, utilidad parcial y utilidad ajustada.

### 5.1 Comportamiento Reproductivo

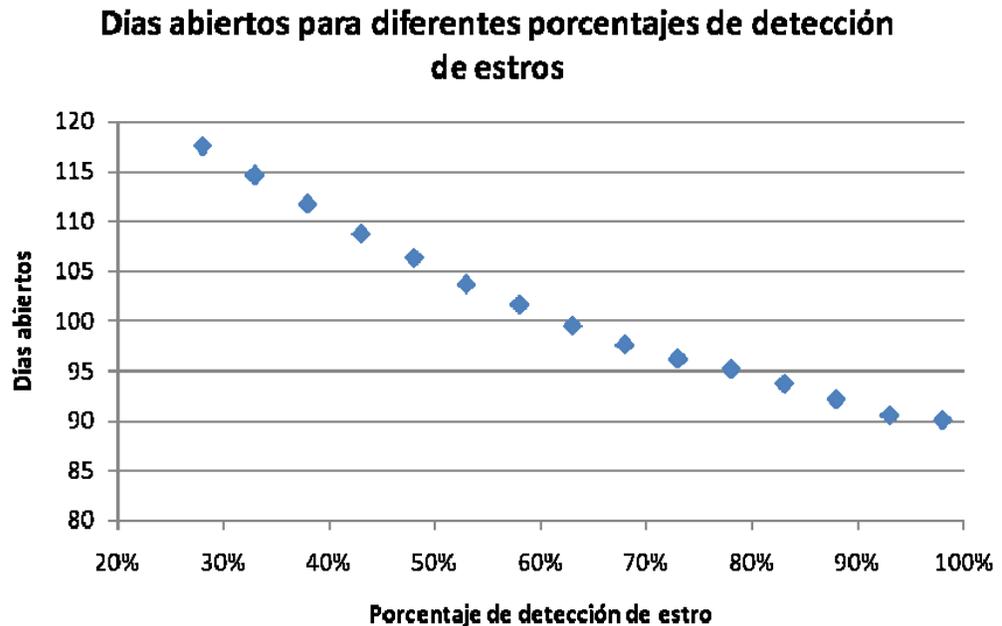
El implementar un cambio en el manejo reproductivo del hato con la finalidad de mejorar el PDE, tendrá un efecto en la variable reproductiva intervalo entre partos, debido a que una mayor eficiencia en detectar vacas en estro para inseminar, disminuye los días abiertos y con ello el intervalo entre partos. El siguiente cuadro muestra los resultados reproductivos arrojados por el modelo en cada simulación, en donde se consideran las variables reproductivas días abiertos, intervalo entre partos y días secos; debido a la relación directa que tienen con el PDE.

**Cuadro 11.**  
**RESULTADOS REPRODUCTIVOS**

<b>% Detección estro</b>	<b>Días abiertos</b>	<b>Intervalo entre partos</b>	<b>Días secos</b>
28	118	396	84
33	115	393	82
38	112	390	80
43	109	387	78
48	106	384	76
53	104	382	75
58	102	380	73
63	100	378	72
68	98	376	71
73	96	374	70
78	95	373	69
83	94	372	68
88	92	370	68
93	91	369	67
98	90	368	67

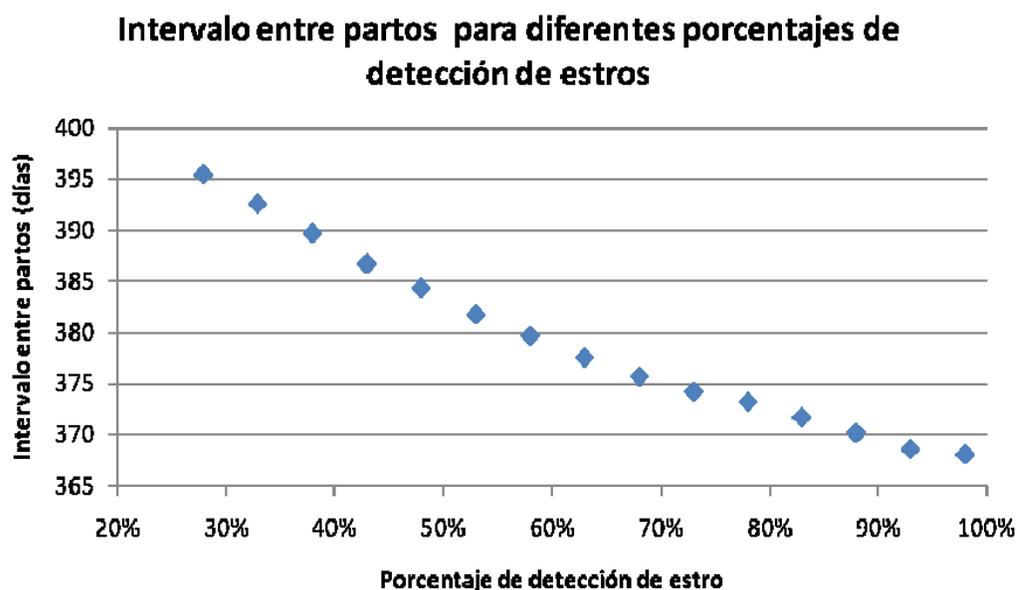
Los días abiertos es un parámetro reproductivo de interés para los productores, debido a que un manejo inadecuado del hato después de la espera voluntaria puede ocasionar una mayor duración de este periodo, que conlleva a un aumento en el intervalo entre partos. Al realizar las simulaciones con diferentes PDE y compararlos se observa que al mejorar la detección de vacas en estro, los

días abiertos disminuyen de 118 a 90 días (23.4%) al llegar a una tasa de 98% (Figura 12).



**Figura 12.** Comportamiento de los días abiertos al modificar el porcentaje de la detección de estros en el MOSEPLE.

En el caso de la variable intervalo entre partos, se encontró que al aumentar el PDE este disminuye, de tal manera que sí en la empresa se detectan el 28% de estros el intervalo entre partos corresponde 396 días y al implementar una estrategia para mejorar y detectar el estro del 63% de las vacas, el intervalo disminuye en 18 días (Figura 13).



**Figura 13.** Comportamiento de la duración del intervalo entre partos al modificar el PDE en el MOSEPLE.

La duración de los días secos depende de las prácticas de manejo del hato, generalmente, este periodo tiene una duración aproximada a 60 días, sin embargo se trata de una variable relacionada con los días abiertos y la producción de leche, por lo que este periodo puede ser mayor. Debido a ello sí el cambio en el PDE tiene un impacto sobre la media de los días abiertos del hato, entonces lo tendrá también en el número de días secos.

En las simulaciones realizadas con diferentes PDE, se encontró que sí esta acción mejora, los días secos disminuyen de 84 días, con un porcentaje del 28% a 72 días en caso de tener un porcentaje del 63%, es decir disminuye 12 días la variable (Figura 14).

### Días secos para diferentes porcentajes de detección de estros

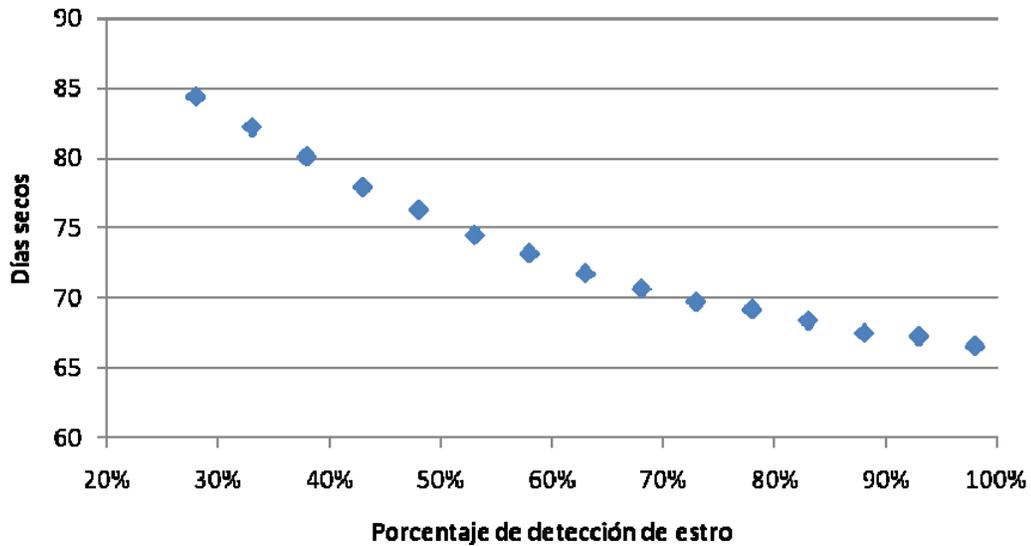


Figura 14. Comportamiento de la duración de los días secos entre al modificar el PDE en el MOSEPLE.

## 5.2 Comportamiento Económico

El implantar medidas en el manejo reproductivo del hato con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en la detección de estros tendrá un impacto sobre los costos e ingresos de la empresa.

El modelo que se diseñó considera los costos por concepto de alimentación, reproductivos, amortización de la vaca y otros costos, sin embargo de acuerdo a la estructura de costos de una empresa pecuaria, se considera que el rubro que tiene una mayor participación en los costos totales es la alimentación. El cuadro siguiente muestra los costos correspondientes a la alimentación, otros costos y los costos totales, resultados de las simulaciones con diferentes PDE. Los valores corresponden al total del hato.

---

**Cuadro 12.****COSTOS**

<b>% Detección estro</b>	<b>Costo alimentación</b>	<b>Otros costos</b>	<b>Costo total</b>
28%	\$ 29,066,734.18	\$ 14,909,969.80	\$ 47,268,279.77
33%	\$ 28,968,640.68	\$ 14,800,567.02	\$ 47,031,776.07
38%	\$ 28,865,164.86	\$ 14,690,011.41	\$ 46,787,423.25
43%	\$ 28,765,001.27	\$ 14,579,502.80	\$ 46,546,196.46
48%	\$ 28,677,881.02	\$ 14,489,698.63	\$ 46,343,933.95
53%	\$ 28,579,824.10	\$ 14,390,159.89	\$ 46,117,898.90
58%	\$ 28,500,575.44	\$ 14,313,907.40	\$ 45,940,406.44
63%	\$ 28,418,626.00	\$ 14,232,411.46	\$ 45,752,716.29
68%	\$ 28,342,855.14	\$ 14,162,064.58	\$ 45,585,135.42
73%	\$ 28,284,126.38	\$ 14,107,605.12	\$ 45,453,222.80
78%	\$ 28,238,374.52	\$ 14,069,675.71	\$ 45,351,276.85
83%	\$ 28,173,687.46	\$ 14,013,180.74	\$ 45,222,351.71
88%	\$ 28,105,407.50	\$ 13,953,569.72	\$ 45,086,328.85
93%	\$ 28,007,457.55	\$ 13,895,400.33	\$ 44,919,856.19
98%	\$ 28,000,900.78	\$ 13,873,784.49	\$ 44,894,055.83

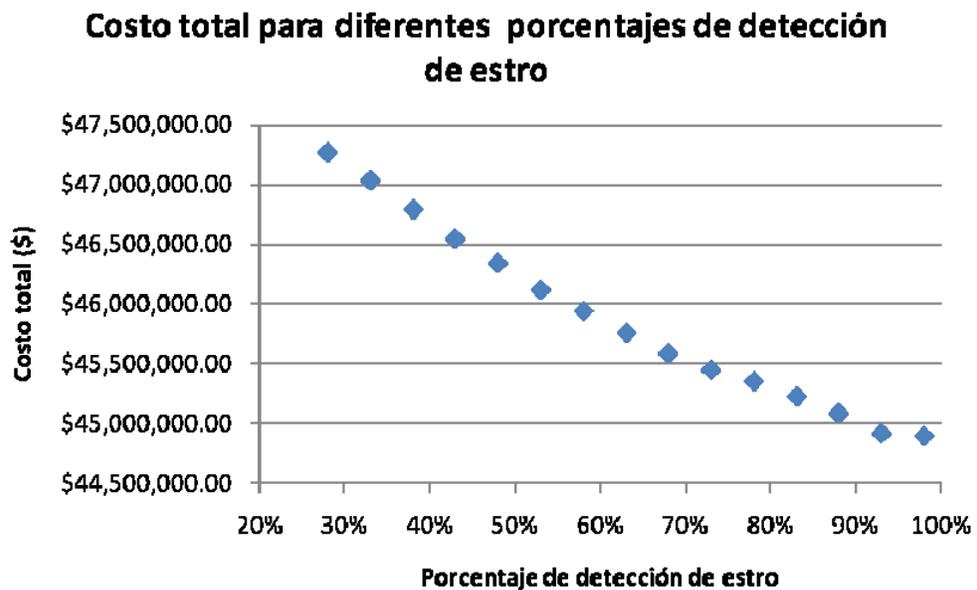
---

Los costos asociados a la alimentación disminuyen conforme aumenta la eficiencia en detectar vacas en estro, debido a la disminución del periodo entre partos, es decir entre menos tarde una vaca en gestar menor será este intervalo, que se traduce en menos días de alimentación por lactancia de una vaca. El costo

de la alimentación, en los días que se añaden por la no detección, dependerá de la productividad de la vaca, si es conveniente para el productor seguir ordeñando, el costo de la alimentación por día corresponderá al costo de la dieta para vacas medias, de lo contrario será el precio de la dieta para vacas secas que es un costo menor.

El rubro de otros costos tiene una tendencia a disminuir al aumentar la eficiencia en la detección de estros, ya que una vaca con una lactancia más larga que otra incurre en mayores costos en el rubro durante el periodo, debido a los costos fijos.

El comportamiento del costo total conforme se logra una mayor eficiencia en la detección de vacas en estro tiende a disminuir, esto se debe a la disminución de los conceptos mencionados (Figura 15).



**Figura 15.** Comportamiento del costo total al modificar el PDE en el MOSEPLE.

Así como los costos y beneficios disminuyen al modificar el PDE, la utilidad parcial calculada a partir de los costos y beneficios totales aumenta.

El siguiente cuadro muestra, para los diferentes PDE, los ingresos que la empresa obtendrá por la venta de leche, los beneficios totales corresponden a la suma de los ingresos por la venta de leche y los ingresos por la venta de crías, la utilidad parcial es calculada a partir de la diferencia entre los beneficios totales y costos totales, por último se muestra la utilidad ajustada obtenida a partir de la utilidad parcial entre la duración del intervalo entre partos.

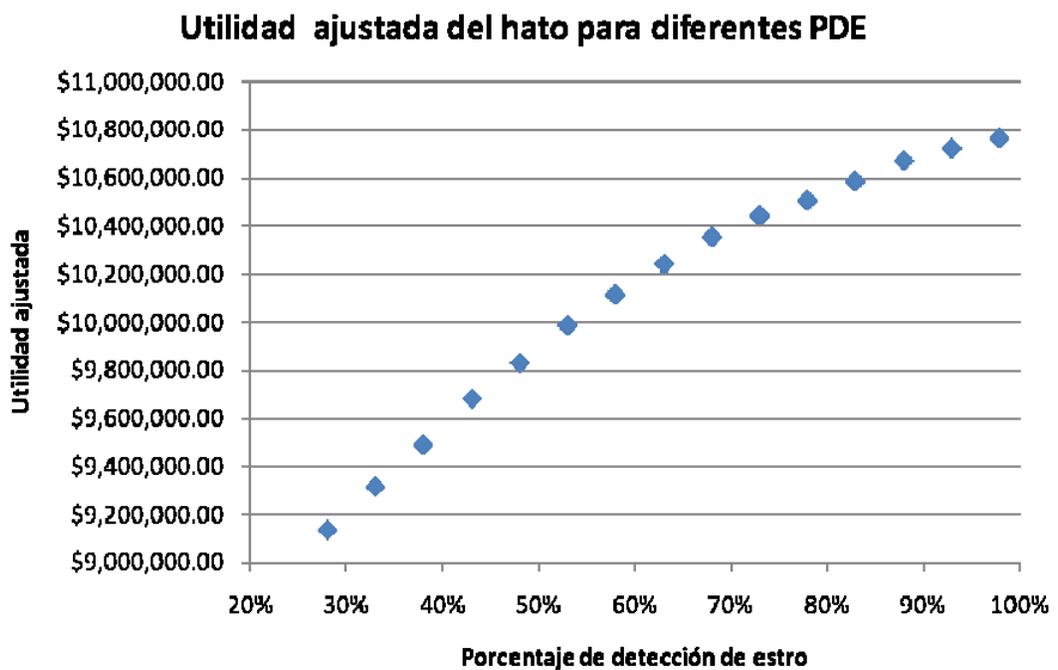
**Cuadro 13.**  
**BENEFICIOS Y UTILIDAD AJUSTADA**

<b>% Detección estro</b>	<b>Ingreso leche</b>	<b>Beneficio total</b>	<b>Utilidad Parcial</b>	<b>Utilidad ajustada</b>
28%	\$ 54,814,303.76	\$ 56,241,646.61	\$ 8,973,366.84	\$ 9,138,674.06
33%	\$ 54,730,563.12	\$ 56,155,135.82	\$ 9,123,359.76	\$ 9,317,567.02
38%	\$ 54,628,447.38	\$ 56,049,546.48	\$ 9,262,123.22	\$ 9,490,774.42
43%	\$ 54,547,241.54	\$ 55,968,398.34	\$ 9,422,201.87	\$ 9,682,826.79
48%	\$ 54,464,780.80	\$ 55,885,414.10	\$ 9,541,480.15	\$ 9,832,364.94
53%	\$ 54,360,429.30	\$ 55,781,442.45	\$ 9,663,543.54	\$ 9,988,527.15
58%	\$ 54,280,570.37	\$ 55,701,618.97	\$ 9,761,212.52	\$ 10,114,410.28
63%	\$ 54,190,286.31	\$ 55,610,746.46	\$ 9,858,030.17	\$ 10,241,890.94
68%	\$ 54,108,954.80	\$ 55,528,015.25	\$ 9,942,879.83	\$ 10,354,247.50
73%	\$ 54,045,363.56	\$ 55,464,312.71	\$ 10,011,089.91	\$ 10,443,761.62
78%	\$ 53,988,250.79	\$ 55,407,158.49	\$ 10,055,881.65	\$ 10,506,703.33
83%	\$ 53,909,273.54	\$ 55,328,261.84	\$ 10,105,910.13	\$ 10,584,929.11
88%	\$ 53,829,390.06	\$ 55,248,769.06	\$ 10,162,440.21	\$ 10,671,834.63
93%	\$ 53,677,919.74	\$ 55,096,241.89	\$ 10,176,385.70	\$ 10,724,389.40
98%	\$ 53,689,220.53	\$ 55,107,293.73	\$ 10,213,237.90	\$ 10,767,430.35

Los beneficios por venta de leche disminuyen al aumentar la eficiencia en la detección de vacas en estro debido a la disminución de la duración de la lactancia como consecuencia de la disminución en la duración del periodo abierto, lo cual repercute en los ingresos totales.

La utilidad parcial se incrementa conforme aumenta la detección de estros, este indicador se refiere a la diferencia de los beneficios totales y costos totales, por lo que a pesar de que los beneficios totales van disminuyendo, los costos totales disminuyen en mayor proporción al aumentar la eficiencia en la detección de vacas en estro.

Por último, la utilidad ajustada que se genera en la empresa durante un periodo, en este caso corresponde a la duración del intervalo entre partos que es diferente en cada simulación porque depende del porcentaje de detección de estros. Si la empresa en estudio, tuviera como objetivo mantener un PDE del 63%, su utilidad se incrementaría de \$9,138,674.06 a \$10,241,890.94 de acuerdo a las simulaciones realizadas, con ello podrá tomar decisiones acerca del método o tecnología que requiera implantar para llegar a ese objetivo desde el punto de vista económico (Figura 16).



**Figura 16.** Comportamiento de la utilidad ajustada al modificar el PDE en el MOSEPLE.

## 6 DISCUSIÓN

### 6.1 Utilización de modelos de simulación

Los modelos de simulación son específicos del problema que analizan y de las condiciones para las que se diseña. En la literatura se encuentran reportados varios modelos cuyo objetivo es evaluar la eficiencia reproductiva del ganado bovino lechero desde un punto de vista económico. A continuación se describirán algunas coincidencias y diferencias del MOSEPLE y algunos que se pueden encontrar en la literatura.

En este modelo las variables reproductivas incluyen la espera voluntaria, la simulación de 8 ciclos estrales a diferencia del modelo de Pecsok *et al.*, (1994) en el que incluyó 9 ciclos estrales posteriores a la espera voluntaria, la duración de la gestación y la probabilidad de ocurrencia de aborto; con estas variables el modelo calcula los días abiertos, intervalo entre partos, duración de la lactancia, días secos y número de servicios necesarios para que las vacas queden gestantes. El modelo de Vergas *et al.*, (2009) agrega además, las variables tasa de desecho involuntario, tasa de mortalidad, edad al primer parto, tasa de reemplazo y la incidencia de mastitis.

En la producción de leche, la ecuación de Wood es utilizada en la mayoría de los modelos para determinar la producción durante la lactancia, y en algunos casos este valor se ajusta a un año, como es el caso del modelo de Vergas *et al.*, (2009), el modelo de Pecsok *et al.*, (1994) y el modelo de Meadows *et al.*, (2005); sin embargo el MOSEPLE lo calculó a 380 días.

La simulación del sexo de las crías de acuerdo al tipo de semen utilizado en las empresas pecuarias, implica una diferencia en el número de hembras y machos nacidos destinados a la venta o crianza de reemplazos. Por esa razón, el MOSEPLE simula el sexo de la cría; en caso de no incluir semen sexado como el

de Pecsok *et al.*, (1994) consideran la mitad de crías nacidas hembras y la otra mitad machos.

El MOSEPLE incluye los costos asociados a la alimentación, costos reproductivos, amortización de la vaca y otros costos. En el caso de los beneficios calcula los ingresos por venta de las crías y venta de la leche producida; la diferencia con los elaborados por Vergas *et al.* (2009) y Pecsok *et al.* (1994) es que además incluyen los ingresos por venta de animales de desecho.

El modelo de simulación elaborado evalúa un periodo comprendido durante una lactancia. Para conocer el comportamiento reproductivo y productivo del hato posterior al periodo simulado y evaluado es necesario seguir trabajando en él con el objetivo de simular toda la vida productiva de una vaca. Además, será necesario conocer los costos asociados al aumento en la tasa de detección de estros para determinar si es rentable invertir en una tecnología o implantar alguna estrategia para mejorar la eficiencia en esta actividad.

## **6.2 Elementos económicos relacionados con modificaciones en la tasa de detección de estros**

### **6.2.1 Costos**

Al igual que Barr, (1975) consideramos que la principal causa del aumento en la duración del intervalo entre partos es la ineficiencia en la detección de estros, debido a que al aumentar la eficiencia en la detección de estros en el MOSEPLE, los costos totales disminuyen paulatinamente, lo cual se debe a que al detectar un mayor número de vacas en estro éstas tienen la oportunidad de inseminarse y gestarse en menos tiempo, con ello disminuyen los días abiertos y la duración del periodo comprendido entre dos partos.

Aunque los costos totales disminuyen conforme aumenta el PDE, al analizar rubro por rubro se identificó que los costos reproductivos aumentan. Esto se debe a que se incrementan los gastos en inseminación artificial y aunque por otro lado disminuyen los gastos por protocolos de sincronización, en general estos son menos costosos que las dosis de semen, por lo que en el total, los costos reproductivos se incrementan. Larson *et al.*, (1984) han reportado que los gastos en productos hormonales y dosis de semen se pueden reducir cuando el intervalo entre partos se extiende, si esto se hace mediante ampliar el periodo de espera voluntaria, ya que esta medida favorece la fertilidad de las vacas. En el MOSEPLE, el periodo de espera voluntario y las tasas de concepción son fijos en todos los escenarios, por lo que sus resultados no son comparables con los de Larson *et al.*, (1984), pero tampoco muestran contradicción. Sin embargo, el MOSEPLE posee la versatilidad para que, en un uso con objetivos distintos a los de éste trabajo, se puedan simular escenarios con tasas de concepción y periodos de espera variables.

De acuerdo al ajuste a 380 días de los costos totales, estos aumentan conforme mejora la detección de estros, debido, principalmente, a un aumento en los costos por la alimentación, ya que las dietas que se proporcionan cercanas al parto cuestan menos.

### 6.2.2 Beneficios

La producción de leche disminuye cuando aumenta el PDE debido a la disminución del intervalo entre partos y con ello la duración de la lactancia. Este comportamiento se observa cuando se consideran los períodos reales, sin embargo al ajustar a 380 días los beneficios por venta de leche, resultó un aumento considerable causado por un aumento en la producción promedio por vaca por día al mejorar el PDE, es decir, las vacas se vuelven más eficientes al evitar una lactancia larga con producciones mínimas al final de ella.

Además del aumento de los beneficios por venta de leche, los beneficios por venta de las crías incrementaron debido al nacimiento de un mayor número de becerras, debido a las prácticas de manejo que se llevan a cabo en la empresa que se tomó para el modelo. Esto provoca que cuando el PDE aumenta, también ocurran más gestaciones en estas primeras inseminaciones, en las cuales aproximadamente 90% nacerán becerras. Cabe recordar que el precio de las becerras calostradas es casi seis veces mayor que el de los becerros (\$2,000 y \$350 respectivamente).

Otros modelos de simulación han incluido las variables incidencia de mastitis, variaciones en el precio de la leche de acuerdo a la cantidad de grasa que contenga y los ingresos por venta de vaquillas (Vergas *et al.*, 2009). Las variables anteriores no se consideraron porque no son afectadas por el PDE.

### 6.2.3 Utilidad

A pesar del aumento en los costos totales ajustados a 380 días, la utilidad presentó un incremento, principalmente por el aumento en los beneficios asociados a la venta de la producción de leche en cada simulación.

La empresa analizada cuenta con una tasa de detección de estros del 28% y su utilidad ajustada promedio fue de \$9,138,674.06 para un período de 380 días. De acuerdo con el MOSEPLE un PDE de 63% generará una utilidad ajustada promedio de \$10,241,890.94 lo que implica una diferencia de \$1,103,216.87. Este dato representa el límite máximo que el productor puede gastar para mejorar el PDE hasta 63%, dependiendo del costo de la tecnología y prácticas necesarias.

El Cuadro 14 muestra la utilidad ajustada marginal (Umg) obtenida entre distintos intervalos de PDE. Este valor es muy útil para tomar decisiones con respecto a la implementación de prácticas de manejo y tecnologías destinadas a aumentar el PDE. Como puede observarse, la Umg presenta rendimientos

decrecientes, esto es, que conforme se incrementa el PDE, este aumento se traduce en un incremento menor de la Umg. Así, por cada punto porcentual que aumente el PDE en el intervalo que va de 28% a 38%, la Umg de la empresa aumenta en \$35,210.04, mientras que cada punto porcentual en el intervalo de 58% a 78% representa \$19,614.65. Esto significa que implantar tecnologías y prácticas de manejo que aumenten el PDE a partir de los porcentajes bajos, es más rentable que mejorar el PDE a partir de porcentajes altos. Aunado a esto, se espera que las tecnologías necesarias para aumentar el PDE a partir de porcentajes bajos sean menos costosas que las que se necesitan para hacerlo a partir de porcentajes altos. En principio, de acuerdo con la teoría de costos, se espera que el costo de las tecnologías se incremente conforme aumenta la eficiencia en el PDE. Así, para pasar de un porcentaje de 28 a 38% pueden ser necesarias sólo algunas modificaciones en los procedimientos del personal de la empresa, mientras que para aumentar de 58 a 78% se puede requerir la contratación de personal extra y la implementación de tecnologías costosas.

Estos resultados coinciden con los reportados por Plazier *et al.*, (1998) quienes estimaron los beneficios obtenidos al mejorar el PDE, concluyendo que en hatos con una alta eficiencia reproductiva un incremento en el porcentaje no tiene gran impacto en los beneficios obtenidos, sin embargo en hatos con una eficiencia baja, un incremento en el porcentaje tendrá un mayor impacto en los beneficios económicos resultantes.

---

**Cuadro 14**  
**UTILIDAD AJUSTADA MARGINAL**  
**DEL HATO**

<b>% Detección</b>	<b>Utilidad ajustada</b>
<b>estros</b>	<b>marginal</b>
28	
38	\$ 35,210.04
58	\$ 31,181.79
78	\$ 19,614.65
98	\$ 13,036.35

Para hacer uso práctico de los resultados de este trabajo, el empresario deberá estimar el costo que para su empresa tiene implantar tecnologías y prácticas de manejo que incrementen el PDE y compararlo con la Umg que corresponda a su PDE objetivo.

Con el fin de hacer más útil que se puedan comparar los resultados del MOSEPLE, se estimó la utilidad marginal por vaca (Cuadro 16). Este valor indica la cantidad de dinero que es factible invertir por vaca para incrementar un punto porcentual el PDE. Estos valores hay que usarlos con cautela, debido a que fueron calculados para una empresa con características particulares; sin embargo, pueden utilizarse como una guía general.

**Cuadro 15**  
**UTILIDAD AJUSTADA MARGINAL**  
**POR VACA**

% Detección estros	Utilidad ajustada marginal \$/VACA POR 380 DIAS
28	
38	\$ 36.45
58	\$ 32.28
78	\$ 20.31
98	\$ 13.50

De acuerdo a los resultados del cuadro anterior, mejorar el PDE de 38 a 58% los beneficios que genera este cambio son de \$645.6 por vaca en 380 días. El resultado anterior muestra una ligera diferencia con lo publicado por Oltenacu *et al.*, (1981) quienes calcularon un beneficio de US\$60 por vaca al año aumentar el PDE del 35 al 55%, y Peckson *et al.*, (1994) reportaron que al incrementar el PDE de 20 a 30% los beneficios obtenidos son de US\$83 por vaca al año. Teniendo un PDE del 53% y aumentarla un punto porcentual representa un beneficio de \$35.19 por vaca, resultado que difiere con los de Dijkhuizen y Stelwagen, (1988) quienes encontraron un incremento en los beneficios de US\$2.00, manteniendo una concepción del 40%.

## 7 CONCLUSIÓN

En este trabajo se comprobó la utilidad de las hojas de cálculo para diseñar modelos de simulación Monte Carlo, al crear con ellas el MOSEPLE que tiene la finalidad de estimar el valor económico del PDE en una empresa pecuaria dedicada a la producción láctea.

De acuerdo a los resultados generados con el MOSEPLE en diferentes escenarios, se concluye que contrariamente a lo que suele suponerse, las utilidades tienen rendimientos marginales decrecientes que condicionan el aumento en el PDE a un óptimo del que no es rentable pasar. Para tomar la mejor decisión es necesario estimar los costos asociados al aumento del PDE planeado, los cuales serán particulares a cada empresa y PDE.

Es importante tener en cuenta que los valores fueron calculados a partir de información y características específicas de una empresa pecuaria, por ello los resultados deben considerarse como valores aproximados a los correspondientes a otras empresas bajo el mismo sistema de producción y con costos de alimentación y reproductivos similares.

En el caso de vacas con altas producciones, el efecto de mejorar el PDE no será el mismo que en este trabajo, en ese caso alargar los días en leche ocasionará un aumento importante en los ingresos por venta de la producción de leche y no será necesario invertir en tecnologías y prácticas de manejo para mejorar el PDE con la finalidad de disminuir la duración del intervalo entre partos.

## 8 ABREVIATURAS Y SIGLAS EMPLEADAS

---

MC Monte Carlo

MOSEPLE Modelo de simulación económica para hatos lecheros

PDE Porcentaje de detección de estros

Dx gx Diagnóstico de gestación

Dist norm inv Distribución normal invertida

Umg Utilidad marginal

---

## **9 ANEXOS**

### **9.1 Anexo 1. Rubros incluidos en la categoría Otros costos.**

- Nómina
- Biológicos
- Material de curación
  
- Mantenimiento de maquinaria
  
- Diesel
  
- Gasolina
  
- Luz
  
- Análisis de laboratorio
  
- Teléfono
  
- Nextel
  
- Papelería

### **9.2 Anexo 2. Precios de una dosis de semen.**

- Dosis de semen 1 \$326.86
- Dosis de semen 2 \$136.49
- Dosis de semen 3 \$190.79
  
- Dosis de semen 4 \$250.02

### **9.3 Anexo 3. Precio de venta de la producción de leche.**

- Precio de venta a Alpura \$6.00
- Precio de venta a otra empresa \$4.66

### **9.4 Anexo 4. Precio de venta de las crías.**

- Precio de venta de los becerros \$350.00
- Precio de venta de las becerras \$2,000.00

## **10 REFERENCIAS**

BARR L. Influence of estrus detection on days open in dairy herds. J Dairy Sci 1975; 58:246.

CÓRDOBA A Y PÉREZ F. Relación reproducción - producción en vacas holstein. Revista electrónica de veterinaria REDVET 2005 [Citado 2009 Marzo 13]; VI (2). Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/636/63612654014.pdf>

DE VRIES A. Determinants of the cost of days open in dairy cattle. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics 2006. [Citado: 2009 Agosto 24] Disponible en: [http://www.animal.ufl.edu/devries/publications/2006/isv\\_11\\_1114.pdf](http://www.animal.ufl.edu/devries/publications/2006/isv_11_1114.pdf)

DÍAZ C, WINGCHING-JONES R, ROSALES R. Factibilidad del establecimiento de un sistema de producción de engorde de búfalos en pastoreo. Agronomía Costarricense 2009; 33: 183-191.

DIJKHUIZEN A, STELWAGEN J. An economic comparison of four insemination and culling policies in dairy herds, by method of stochastic simulation. Livest Prod Sci 1988; 18: 239-252.

FAULÍN J, JUAN A. Simulación de Montecarlo con Excel. Técnica Administrativa. 2005; 5: 1666-1680.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Perspectivas Alimentarias. Análisis del mercado mundial. Leche y productos lácteos. 2006 Junio. [Citado: 2010 Marzo 5] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/j7927s/j7927s09.htm>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Proyecciones a plazo medio sobre la carne y productos lácteos hasta 2010. 2002 Agosto 27-29. [Citado: 2009 Abril 20] Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/Y7022S/y7022s00.htm>.

GARNET A. Replacement policy in dairy herds on farms where heifers compete with the cows for grassland-Part 1: Model construction and validation. Agric Systems 1981; 7: 289-318.

GRÖHN T, RAJALA-SCHULTZ J, ALLORE G, DELORENZO A, HERTL A, GALLIGAN T. Optimizing replacement of dairy cows: modeling the effects of diseases. Vet. Prev. Med 2003; 61: 27-43.

HYDE J, ENGEL P. Investing a Robotic Milking System: A Monte Carlo Simulation Analysis. J Dairy Sci 2002; 85: 2207-2214.

IBENDAHL G, ANDERSON J. Open Cow Replacement Decisions: an Application of Asset Replacement Theory. Western Agricultural Economics Association Annual Meetings; 2001 July; Logan (Utah), 2001:1-19

JIMÉNEZ F, URDANETA M, GONZÁLEZ R, SANDOVAL J, URDANETA M, PARRA A. Evaluación de cuatro métodos de detección del celo en novillas de doble propósito. Sitio Argentino de Producción Animal 2007. [Citado: 2009 Abril 20] Disponible en: [http://www.produccionanimal.com.ar/informacion\\_tecnica/inseminacion\\_artificial/113-jimenez\\_celo.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/113-jimenez_celo.pdf)

LARSON K, JANSSON L, BERGLUND B, EDQUIST L, KINDAHL H. Postpartum reproductive performance in dairy cows. I. Influence of animal breed and parity. *Acta Veterinaria Scandinavica* 1984; 25: 445-461.

LICONSA, SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). Compra Liconsa cifra récord de 635 millones de litros de leche a ganaderos nacionales durante el 2009. 2010 Enero 5. [Citado: 2010 Marzo 3] Disponible en: <http://www.liconsa.gob.mx/liconsa/texto.jsp?contentid=1270&version=1&channel=liconsa>

LÓPEZ C. Guía Básica para la Simulación Monte Carlo, España, AENOR ediciones, 2008.

MARISCAL V, ESTRELLA H, RUIZ A, SAGARNAGA M, SALAS M, GONZÁLEZ M. La cadena productiva de bovinos lecheros y el TLCAN. En: *Presente y Futuro de los Sectores Ganadero, Forestal y de la Pesca Mexicanos en el contexto del TLCAN*. El Colegio de México, Universidad Autónoma de Chapingo. México 2004: 47-153.

MEADOWS C, RAJALA-SCHULTZ J, FRAZER S. A Spreadsheet-Based Model Demonstrating the Nonuniform Economic Effects of Varying Reproductive Performance in Ohio Dairy Herds. *J Dairy Sci* 2005; 88: 1244-1254.

OLTENACU A, ROUNDSVILLE R, MILLIGAN A, HINTZ L. Relationship between Days Open and Cumulative Milk Yield at various intervals from parturition for high and low producing cows. *J Dairy Sci* 1980; 63: 1317-1327.

ORTIZ O, HERNÁNDEZ J. Análisis de los parámetros reproductivos en hatos lecheros. En: Reproducción bovina. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División de Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia. México D.F. 2007: 212-213.

PECSON R, MCGILLIARD L, NEBEL L. Conception Rates. 1. Derivation and Estimates for Effects of Estrus Detection on Cow Profitability. J Dairy Sci 1994; 77: 3008-3015.

PÉRISSÉ M. Aplicación del Método de Monte Carlo en el Análisis de Riesgos de los Proyectos. Manual de Excel para el Cálculo Financiero. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Técnica Administrativa, 2002.

PLAIZIER C, KING J, DEKKERS M, LISSEMORE K. Modeling the relationship between reproductive performance and net-revenue in dairy herds. Agric Systems 1998; 56: 305-322.

REKAYA R, CARABAÑO J, TORO A. Bayesian Analysis of Lactation Curves of Holstein-Friesian Cattle Using a Nonlinear Model. J Dairy Sci 2000; 83: 2691-2701.

SCHWEIZER G, BRAUN U, DEPLAZES P, TORGERSON R, Estimating the financial losses due to bovine fasciolosis in Switzerland. The Veterinary Record 2005; 157: 188-193.

SHALLO L, DILLON P, RATH M, WALLACE M. Description and Validation of the Moorepark Dairy System Model. J Dairy Sci 2004; 87: 1945-1959

SISTEMA DE INFORMACIÓN Y ESTADÍSTICA AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP) SAGARPA. Comercio exterior de productos sensibles. Octubre 2007-febrero 2010. [Citado: 2010 Junio 23] Disponible en:

[http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/MargenesComercio/prodsens.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/MargenesComercio/prodsens.pdf)

SISTEMA DE INFORMACIÓN Y ESTADÍSTICA AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP) SAGARPA. Leche de Bovino Avance mensual de la producción pecuaria 2009. 2010. [Citado: 2010 Mayo 23] Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap/pecAvanceProd.jsp](http://www.siap.gob.mx/repoAvance_siap/pecAvanceProd.jsp)

SISTEMA DE INFORMACIÓN Y ESTADÍSTICA AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP) SAGARPA. Situación actual de la producción de leche de bovino en México 2004. 2004 Octubre 12. [Citado: 2010 Junio 21] Disponible en: <http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/pecuarios/lechebovino/situacion/descripcion.pdf>

STATISTICAL ANÁLISIS SYSTEM (SAS Institute Inc. US). 2002. SAS International guide for personal computers. Version 9.0.

ST-PIERRE R, THRAEN S. Animal grouping strategies, sources of variation, and economic factors affecting nutrient balance on dairy farms. *J Anim Sci* 1999; 77: 72-83.

VERGAS B, CUEVAS M. Modelo estocástico para estimación de valores económicos de rasgos productivos y funcionales en bovinos lecheros. *Agrociencia* 2009; 43: 881-893.

WATTIAUX M. Detección de celo, servicio natural e inseminación artificial. *Esenciales lecheras: reproducción y Selección Genética*. [Citado: 2010 Junio 23] Disponible en: <http://144.92.37.209/?q=node/159> 2011

WOOD P. Algebraic Model of the Lactation curve in cattle. *Nature* 1967; 216: 164-165.