



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Doctorado en Ciencias Biológicas

Estudio de la asociación e impacto de factores de riesgo para el desempeño reproductivo en establos del sistema de producción de leche a pequeña escala.

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Doctor en Ciencias Biológicas

Presenta:

M. en C. Luis Javier Montiel Olguín

Dirigido por:

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila
Presidente

Dr. Felipe de Jesús Ruiz López
Secretario

Dra. Juana Elizabeth Elton Puente
Vocal

Dr. Sergio Gómez Rosales
Suplente

Dr. Germinal Jorge Cantó Alarcón
Suplente

Dra. C.S. Juana Elizabeth Elton Puente
Director de la Facultad

JOOYLA
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo de 2019
México



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Estudio de la asociación e impacto de factores de riesgo para el desarrollo reproductivo en establos del sistema de producción de leche a pequeña escala.

por

Luis Javier Montiel Olguín

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: CNDCC-102233

RESUMEN

Estudios sugieren que el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala es deficiente, reduciendo la productividad de los establos. Identificar factores de riesgo asociados al desempeño reproductivo es fundamental para implementar un programa de mejora. Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el estatus del desempeño reproductivo, identificar factores de riesgo asociados al desempeño reproductivo y determinar el efecto de la calificación de la condición corporal (CC) y los niveles de producción de leche sobre la tasa de concepción al primer servicio. Se incorporaron 96 establos lecheros y se registró información de 1263 lactaciones con diferentes eventos reproductivos y productivos, así como seroprevalencias de enfermedades infecciosas como potenciales factores de riesgo. Se utilizaron modelos de regresión logística para evaluar la asociación y el impacto entre los posibles factores de riesgo y las variables reproductivas estudiadas. Los resultados indican que el promedio de los días a primer servicio, días abiertos y las tasas de asistencia al parto, retención de placenta y abortos son moderadamente altas comparado con los óptimos propuestos para este sistema, sin embargo, la variabilidad observada ofrece una oportunidad de mejora. Los principales factores de riesgo a nivel de individuo asociados con el desempeño reproductivo fueron: sexo de la cría macho (SCM), asistencia al parto, CC al parto baja y retención placentaria. Los factores identificados a nivel de establo fueron: inseminación artificial, hatos con 33 o más vacas y seroprevalencias altas de Neosporosis, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina y Diarrea Viral Bovina. Finalmente, la CC al parto no impacta la tasa de concepción al primer servicio en vacas con tres o más lactaciones, la CC al primer servicio ≤ 2.5 en vacas altas productoras está asociada negativamente con la tasa de concepción al primer servicio y la CC al parto está asociada positivamente con la producción de leche durante la lactación temprana. En conclusión, el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala es moderadamente subóptimo y el SCM y la CC son objetivos estratégicos para mejorar la productividad en este sistema.

(Palabras clave: sistema familiar/semitecnificado, factores de riesgo, condición corporal, retención de placenta, Neosporosis, BVD, IBR)

SUMMARY

Several studies suggest that reproductive performance in small-scale dairy farms is low reducing farms' productivity. Identifying risk factors associated with low reproductive performance is a key step to implement an improved reproductive management program. Therefore, the aims of the present study were to evaluate the reproductive performance status, to identify main risk factors associated with reproductive performance and to determine the impact of body condition score (BCS) and milk production levels on conception rate to first service. Ninety-six dairy herds were included and data from 1263 lactations were collected with different reproductive and productive events, as well as seroprevalences of infectious diseases as potential risk factors. Logistic regression models were used to determine the association and impact between potential risk factors and reproductive variables of interest. Results indicate that days to first service, days open and assisted calving, retained fetal membranes and abortion rates are moderately high compared with optimum values proposed for this system, however, the variability offers an opportunity to improve. The main risk factors at cow level associated with reproductive performance were: male calf (MC), assisted calving, low BCS at calving and retained fetal membranes. The main risk factors at herd level were: artificial insemination, herds ≥ 33 cows and high seroprevalence of Neosporosis, Infectious Bovine Rhinotracheitis and Bovine Viral Diarrhea. Finally, BCS at calving does not impact the conception rate to first service in cows with three or more lactations, BCS at first service ≤ 2.5 in highly productive cows is negatively associated with the conception rate to first service and BCS at calving is positively associated with milk production in early lactation. In conclusion, reproductive performance of the small-scale dairy system is moderately suboptimum and MC and BCS are strategic targets to improve productivity of this system.

(Key words: familiar/semitechnified system, risk factors, body condition score, retained fetal membranes, Neosporosis, BVD, IBR)

DEDICATORIA

A Maria Elena Sánchez Cárdenas.

A mis padres y hermanas; a mi familia.

A mis amigos.

A ustedes tres.

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Héctor R. Vera Ávila**: gracias por ser mi mentor. Gracias por esas charlas de ámbito científico, social y personal que tanto han contribuido para mi formación. Gracias por el apoyo y los consejos. Gracias por su amistad.

A los miembros de mi comité tutorial, **los Dres. Felipe Ruiz, Sergio Gómez, Elizabeth Elton y Germinal Cantó**: gracias por estar al pendiente de mi formación, por ayudarme a prever inconvenientes que estaban en el camino y, sobre todo, gracias por su invaluable apoyo.

A los colaboradores operativos del proyecto **Mario Espinosa, Eliab Estrada, Miguel Mellado, Guillermina Martínez y Omar Hernández**, porque gracias a su esfuerzo este proyecto pudo llevarse a cabo.

A la Coordinación del Doctorado en Ciencias Biológicas (**Dr. Feliciano Milián Suazo**), a la Jefatura de Posgrado (**Dr. Germinal Jorge Cantó Alarcón**), a la Secretaría Académica y Dirección de la Facultad de Ciencias Naturales (**Dra. Elizabeth Elton Puente**): porque gracias al apoyo de cada uno de estos niveles, mi formación doctoral pudo tener continuidad en la Universidad Autónoma de Querétaro.

A la **Universidad Autónoma de Querétaro**, mi *alma máter*, por abrirme las puertas nuevamente y recibirme con los brazos abiertos.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias** por permitirme realizar estudios doctorales a través de su programa de capacitación.

Al **Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SAGARPA-CONACYT)**, por financiar este proyecto (2010-01-144591).

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por financiar mi programa académico en el extranjero.

Al **Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación de la Universidad Autónoma de Querétaro** (FOFIUAQ-2018; Fondo: 1299, Nue.: 4131, Programa: 20501419 08.21.02) por proporcionar una beca que cubrió parcialmente la etapa final de mis estudios doctorales.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1. PRÓLOGO.....	1
2. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
3. CAPÍTULO 1. RISK FACTORS ASSOCIATED WITH REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN SMALL-SCALE DAIRY FARMS IN MEXICO.....	4
3.1. ABSTRACT	5
3.2. INTRODUCTION	5
3.3. MATERIALS AND METHODS.....	7
3.4. RESULTS	9
3.5. DISCUSSION	10
3.6. REFERENCES.....	15
4. CAPÍTULO 2. FACTORES DE RIESGO A NIVEL DE ESTABLO ASOCIADOS CON EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE A PEQUEÑA ESCALA EN MÉXICO.....	23
4.1. RESUMEN.....	24
4.2. ABSTRACT	25
4.3. INTRODUCCIÓN.....	25
4.4. MAERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.5. RESULTADOS	29
4.6. DISCUSIÓN.....	29

4.7. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES	33
4.8. LITRATURA CITADA	34
5. CAPÍTULO 3. BODY CONDITION SCORE AND MILK PRODUCTION ON CONCEPTION RATE OF COWS ON SMALL-SCALE DAIRY FARMS.	40
5.1. ABSTRACT	41
5.2. RESUMO.....	41
5.3. INTRODUCTION	42
5.4. MATERIALS AND METHODS.....	43
5.5. RESULTS AND DISCUSSION	45
5.6. CONCLUSIONS	48
6. CONCLUSIONES GENERALES	52
7. LITERATURA CITADA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Days to first observed estrous, days to first service, and days open in the small-scale dairy farms in tropical and subtropical zones of Mexico (n = 1263 lactations)	19
2. P values and odds ratios (OR) for potential risk factors considering different reproductive variables of interest; univariate analysis.....	19
3. Non-collinear potential risk factors for events of interest included in multivariate models.....	20
4. Results of multivariate logistic regression models for events of interest that indicate reproductive failure	21
5. Seroprevalencias para Neosporosis, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina (IBR) y Diarrea Viral Bovina (BVD) en 52 establos de producción de leche a pequeña escala en México	38
6. Valor de probabilidad (P) y Razón de momios (OR) para factores potenciales de riesgo considerando diferentes eventos de interés; análisis de regresión logística simple	38
7. Factores potenciales de riesgo no colineales para eventos de interés incluidos en modelos múltiples	38
8. Efecto de variables de estudio sobre asistencia al parto y retención de placenta en modelos múltiples.....	39
9. Efecto de variables de estudio sobre días a primer servicio (DPS>70), días abiertos (DA>110) y no gestante al primer servicio (NG1S) con diferentes modelos múltiples	39
10. Descriptive statistics for body condition, milk production, milk components and days to first service in 24 small-scale milk production farms in western Mexico (279 lactations).....	49
11. Probability values and odds ratios between study variables and conception rate to first service; analysis of simple models	49

12. Multiple models with non-collinear regressors for conception rate to first service	50
13. Results of logistic regression analysis for conception rate to first service; models 1 and 2	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Significant interactions in multivariate models. a Assisted calving; model 1, parity X BCS ≥ 3.25 (P = 0.094). b Non-pregnancy at first service; model 1, calf sex X retained fetal membranes (P = 0.017). c Non-pregnancy at first service; model 3, BCS ≤ 2.5 X retained fetal membranes (P = 0.027).....	22
2. Significant interactions in multiple models of conception rate to first service. A) Significant interaction in model 1, lactation number and BCS at calving (P=0.096); B) Significant interaction in model 2, BCS at first service and daily milk yield at 60 DIM (P=0.061).....	50
3. Frequencies at each level of production, according to the BCS at calving on the proportion of cows according to the level of milk production in small-scale dairy farms in western Mexico. A, relationship between BCS at calving and daily milk production at 60 DIM (P<0.05); B, relationship between BCS at calving and 305-d milk yield (P=0.055).....	51

1. PRÓLOGO

La presente tesis contiene tres capítulos producto de los resultados de la investigación realizada. Los tres capítulos corresponden a artículos ya aceptados o en proceso de revisión escritos de acuerdo con los lineamientos editoriales correspondientes a cada revista. El primer capítulo fue publicado en ***Tropical Animal Health and Production*** (ISSN: 1573-7438; versión electrónica). El segundo capítulo fue aceptado para su publicación en ***Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*** (ISSN: 2448-6698; versión electrónica). Finalmente, el tercer capítulo, al momento de la redacción del presente documento, se encontraba en proceso de evaluación por parte del comité editorial de ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***. Este capítulo mantiene el formato requerido por la revista, sin embargo, por el motivo mencionado, la literatura citada aparece en el apartado de bibliografía de esta tesis.

2. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México se reporta un déficit del 30% de producción de leche para abastecer el mercado nacional (Saavedra, 2014). La producción de leche en México se lleva a cabo en tres sistemas de producción claramente identificados; sistema intensivo, sistema de doble propósito y sistema de producción de leche a pequeña escala (también conocido en México como sistema familiar/semitecnificado) (García *et al.*, 1998; Vera *et al.*, 2009). El hato lechero en el país ronda los 8 millones de cabezas; el sistema intensivo cuenta con un inventario aproximado de un millón de cabezas y aporta aproximadamente el 50% de la producción láctea, mientras que los sistemas de doble propósito y de producción a pequeña escala cuentan aproximadamente con 5 y 2 millones de cabezas respectivamente contribuyendo con el 20 y 30% de la producción nacional respectivamente (SAGARPA, 2005; Canizal y Rivera, 2007).

El sistema de producción con mayor potencial de crecimiento productivo dadas las características de los hatos y su estatus productivo es el sistema de

producción a pequeña escala (García-Muñiz *et al.*, 2007). Este sistema posee aproximadamente el 23% del inventario bovino nacional (SAGARPA, 2004) y representa el 73% de los establos lecheros en el país (Hemme, 2007). Se caracteriza por utilizar razas especializadas en la producción de leche e incluir el uso de mano de obra familiar, cuentan además con un nivel de tecnificación medio-bajo, niveles medio-bajos de producción y bajo uso de insumos concentrados en la dieta de los animales (García *et al.*, 1998; Espinoza-Ortega *et al.*, 2005; García-Muñiz *et al.*, 2007; Jiménez *et al.*, 2014; Camacho-Vera *et al.*, 2017). Además de la contribución a la producción nacional láctea y del potencial de crecimiento productivo, este sistema es importante porque brinda beneficios sociales intangibles (Zamudio *et al.*, 2003), y es una fuente de ingresos en zonas rurales del país contribuyendo al arraigo de la población a sus lugares de origen (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005).

Por otra parte, el desempeño reproductivo está fuertemente asociado con la productividad y rentabilidad de los establos lecheros (Inchaisri *et al.*, 2010). Diversos reportes sugieren que el desempeño reproductivo de los establos del sistema de producción de leche a pequeña escala en México es deficiente y limita la productividad y competitividad de las unidades de producción (Guevara *et al.*, 2007; Abrego, 2011; Ojeda *et al.*, 2012; Vázquez-Selem *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017). Sin embargo, la mayoría de estos estudios cuentan con muy pocas unidades de producción o animales, los estudios fueron llevados a cabo en áreas geográficas muy reducidas o bien los resultados se basan en encuestas a los productores (los cuales carecen de disciplina para llevar registros productivos y reproductivos). Aunque estos reportes fueron fundacionales para el presente proyecto, las limitaciones mencionadas impiden tener información precisa para poder implementar o diseñar estrategias de mejora para el desempeño reproductivo a nivel nacional.

Un primer paso para diseñar un programa de mejora es identificar factores de riesgo asociados al desempeño reproductivo. En la literatura científica existen diversos estudios realizados en otros países y en otros sistemas de producción que

han permitido detectar factores de riesgo asociados a la falla en el desempeño reproductivo (Grohn *et al.*, 2000; Han and Kim, 2005; López-Gatius *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2009; Mee *et al.*, 2011). Sin embargo, el manejo, los niveles de producción y las curvas de lactación son diferentes a los presentes en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México (Val-Arreola *et al.*, 2004; Vera *et al.*, 2009; Martínez-García *et al.*, 2015) y hacer una extrapolación de resultados pudiera no ser lo más adecuado.

Por lo tanto, los objetivos de esta investigación fueron realizar un diagnóstico del estatus reproductivo (Capítulo 1), identificar factores de riesgo asociados al desempeño reproductivo a nivel de individuo y establo (Capítulos 1 y 2) y determinar el efecto de la condición corporal y los niveles de producción de leche sobre la tasa de concepción al primer servicio (Capítulo 3) en este sistema de producción.

3. CAPÍTULO 1: RISK FACTORS ASSOCIATED WITH REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN SMALL-SCALE DAIRY FARMS IN MEXICO.

Luis Javier Montiel-Olguín, Eliab Estrada-Cortés, Mario Alfredo Espinosa-Martínez, Miguel Mellado, Josafath Omar Hernández-Vélez, Guillermina Martínez-Trejo, Felipe de Jesús Ruiz-López, Hector Raymundo Vera-Avila

Tropical Animal Health and Production.

DOI 10.1007/s11250-018-1681-9

La publicación final está disponible en link.springer.com

3.1 Abstract

Several studies suggest that reproductive performance in small-scale dairy farms is low reducing the farms' profitability. Therefore, identifying risk factors associated with low reproductive performance is a key step to implement an improved reproductive management program. Accordingly, the aim of the present study was to identify the main risk factors affecting the reproductive performance of cows in small-scale dairy farms. Ninety-six dairy farms were incorporated into this study, and data from 1263 lactations were collected with different events as potential risk factors. Logistic regression models were used to assess the association (odds ratio, OR) and impact (population attributable fraction, PAF) between the potential risk factors and the reproductive variables. The main risk factors associated with assisted calving were male calf and primiparous cows (OR = 1.7, PAF = 0.315 and OR = 1.5, PAF = 0.131, respectively), while for retained fetal membranes (RFM) were assisted calving and abortion (OR = 4.5, PAF = 0.440 and OR = 8.1, PAF = 0.239, respectively). The main risk factors for days to first service over 70 days in milk were low body condition score at calving (BCS \leq 2.5) and primiparous cows (OR = 2.2, PAF = 0.285 and OR = 1.4; PAF = 0.096, respectively), while for days open over 110 days in milk were low BCS at calving (BCS \leq 2.5) and primiparous cows (OR = 1.7, PAF = 0.213 and OR = 1.4; PAF = 0.096, respectively) The main risk factor for non-pregnant cows at first service was RFM (OR = 1.7; PAF = 0.059). In conclusion, assisted calving, male calf, BCS \leq 2.5 and RFM were the main risk factors associated with reduced reproductive performance in small-scale dairy farms in tropical and subtropical regions of Mexico.

Keywords: Small-scale dairy system, Reproductive performance, Risk factors, Dairy cattle

3.2 Introduction

Small-scale dairy systems are important because they contribute to increase food security worldwide, generate jobs in rural areas, and improve household welfare (Hemme and Otte 2010). In Mexico, milk yield of small-scale dairy farms accounts for approximately 30% of the national milk production (Barrera

Camacho and Sánchez Brito 2003; Vera *et al.*, 2009) and 23% of the total dairy cow population in Mexico (SAGARPA 2004). This milk production system in Mexico is characterized by unpaid labor of the family members, the use of medium-yielding Holstein cows, low/medium technification, medium levels of milk yield per cow, a small number of cows (García- Muñiz *et al.*, 2007; Jiménez Jiménez *et al.*, 2014; Camacho- Vera *et al.*, 2017), and inefficient administration of the farm (Moreno-García *et al.*, 2012). Also, this system is important because of social benefits (emotional satisfiers), a decreasing migration of peasants from rural areas to the cities (Zamudio *et al.*, 2003; Espinoza-Ortega *et al.*, 2005), and reduction of poverty in rural areas, especially if profitability is improved (Hemme and Otte 2010).

High reproductive performance is a determinant factor for profitability in dairy herds (Gröhn and Rajala-Schultz 2000; Inchaisri *et al.*, 2010). Several studies suggest that cows in small-scale dairy farms in Mexico have poor reproductive performance, which in turn reduces the competitiveness of the farms (Ojeda Carrasco *et al.*, 2012; Vázquez- Selem *et al.*, 2016; Silva Salas *et al.*, 2017). In this regard, an average of 135 days open (DO), range 110–180 days in small-scale dairy farms, has been reported (Guevara *et al.*, 2006; Abrego 2011; Vázquez-Selem *et al.*, 2016). However, the optimal average DO for this type of production system has been suggested to be less than 110 days (Vera *et al.*, 2009). Moreover, the prevalence of dystocia was reported to be between 4.9 and 26.8% (Villaseñor *et al.*, 2011; Silva Salas *et al.*, 2017), when it should not exceed 6% (Mee 2008). This information indicates that reproductive performance in small-scale dairy farms in Mexico is deficient and exists great variability, representing an area of opportunity to improve competitiveness.

A fundamental step to initiate a program to improve reproductive performance in dairy operations is to identify the main risk factors that compromise the fertility of cows. Several studies in different countries and dairy production systems have identified risk factors associated with the diminished reproductive performance of cows (López-Gatius *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2009; Keshavarzi *et al.*, 2017). Nevertheless, characteristics of farms used in these studies, such as size,

production level, and level of technification, differ from the conditions prevailing in the small-scale dairy system (Martínez-García *et al.*, 2015). Hence, extrapolating information between systems to take management decisions is inappropriate. Therefore, the aim of this study was to identify the risk factors with greater impact on the reproductive performance of cows in the small-scale dairy system in tropical and subtropical zones of Mexico. Our working hypothesis was that reproductive performance is deficient in these systems existing diverse risk factors associated with this low reproductive output.

3.3 Materials and methods

3.3.1 Location

A prospective cohort study was conducted in seven Mexican states which have a significant presence of small-scale dairy farms: Jalisco (20° 51' N, semi-warm sub-humid), Coahuila (25° 25' N, semi-dry), Estado de Mexico (19° 28' N, temperate sub-humid), Puebla (18° 52' N, temperate sub-humid), Tlaxcala (19° 19' N, temperate sub-humid), Guanajuato (20° 31' N, semi-dry sub-humid), and Queretaro (20° 43' N, semi-dry).

3.3.2 Farm selection and data collection

Ninety-six dairy farms were included (1263 complete lactations) based on four criteria: (1) exclusively family labor, (2) herd size between 10 and 100 milking cows, (3) milk production as the main activity, and (4) low to intermediate machine milking level (manual milking or few individual milking machines and without milk cooling systems). Farms included in the present study meet the characteristics of small-scale dairy herds in Mexico described elsewhere (SAGARPA 2004; Vera *et al.*, 2009; Camacho-Vera *et al.*, 2017). The average number of cows and daily milk production per cow were 38.1 ± 4.0 cows and 17.3 ± 0.6 kg/day, respectively. The estimated culling rate and percentage of the Holstein breed in farms were 27.1% and 92.6%, respectively. Reproductive events such as calving dates, occurrence of abortion, services, calf sex, body condition score (BCS) at calving, occurrence of

assisted calving, retained fetal membranes (RFM), and pregnancy diagnosis at 50 days after service were recorded for 18 months.

3.3.3 Performance indicators, events of interest, and potential risk factors associated with reproductive performance

The following reproductive variables were calculated: days to first estrous, days to first service, days open, first service conception rate, abortion rate, assisted calving (high and low assistance combined), RFM (animals with retained placenta > 12 h), and services per conception. When applicable, the quartile distribution of the reproductive variables was determined. In accordance with the biological and zootechnical criteria, there were excluded records that had less than 30 days to first service and over 278 days in milk (1% higher) and days open less than 30 and over 459 (1% higher). Assisted calving, RFM, days to first service over 70 days in milk (DFS > 70), days open over 110 days in milk (DO > 110), and non-pregnancy at first service (NG1S) were considered as events of interest or indicators of reproductive failure. The limit values for DFS (> 70 days) and DO (> 110 days) were established according to what has been suggested optimum values for the small-scale dairy system in Mexico (Vera *et al.*, 2009). Assisted parturition, RFM, first lactation or first calving, abortion, twin calving, male calf, low BCS (BCS \leq 2.5) or high BCS at calving (BCS \geq 3.25), and early days to first service (DFS \leq 60d) were included as explanatory risk factors. The limits for low and high DFS and BCS were established according to the quartile distribution for the variables from the database (Bijttebier *et al.*, 2017); first quartile limit for DFS (60 days), and first and third quartile limit for BCS (2.5 and 3.25).

3.3.4 Statistical analysis

All analyses were performed using SAS version 9.3 (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA). The strategy to identify the risk factors with greater impact on reproductive variables was by identifying the degree of association between events of interest and selected factors, using multivariate logistic regression models (PROC LOGISTIC), following the methodology of Potter *et al.*, (2010). First, univariate logistic regression models were used to identify the factors which were used to build

multivariate models; only variables significant at $P \leq 0.35$ were retained for subsequent analyses. To prevent collinearity, simple correlation coefficients and χ^2 tests were obtained between pairs of retained factors (PROC FREQ/CHISQ); when the correlation coefficient's confidence interval for a pair of factors did not include 0 and the P value for χ^2 was < 0.05 , that pair was not used in the same multivariate model. To meet the parsimony principle of multivariate models, a backward stepwise elimination procedure using PROC LOGISTIC of SAS for non-significant factors and their second-order interactions ($P > 0.1$) was used (Potter *et al.*, 2010). Once the multivariate models were constructed, the odds ratios (OR), risk ratios (RR), and population attributable fraction (PAF) were calculated using the following formulas:

$$RR = OR / ((1 - P_0) + (P_0 \times OR)) \text{ (Zhang and Yu 1998).}$$

$$PAF = (RR - 1) / (Pe (RR - 1) + 1) \text{ (Potter et al., 2010)}$$

The factors with the highest PAF were considered the main risk factors affecting the reproductive variables.

3.4 Results

Performance indicators, events of interest, and potential risk factors associated with reproductive variables

Performance indicators

The average days to first observed estrous, days to first service, and days open are presented in Table 1. The first service conception rate was 48.7%, and the services per conception were 1.97. The prevalence of abortion, assisted calving, and retained fetal membranes were 8.2, 14.1, and 13.5%, respectively.

Events of interest

Assisted calving and RFM were considered as possible indicators of reproductive failure, as well as DFS > 70 , DO > 110 , and NP1S, whose proportions were 60.4, 45.3, and 51.3%, respectively.

Potential risk factors

In addition to assisted calving and RFM, first lactation or first calving, twin calving, male calf, low body condition at calving ($BCS \leq 2.5$), and high body condition at calving ($BCS \geq 3.25$) were also considered as potential risk factors whose prevalence were 25.6, 1.2, 50.7, 33.0, and 31.1%, respectively.

Factors associated with low reproductive performance

Table 2 shows the significance level and odds ratios from the univariate analysis. Based on these results and collinearity analyses, multivariate models were designed for each event of interest (Table 3). The significant factors ($P < 0.10$) and corresponding estimations for OR, RR, and PAF for each model of each reproductive variable are shown in Table 4. For assisted calving, the factors that significantly affected ($P < 0.10$) this trait were male calves, first calving, and the interaction between first calving and $BCS \geq 3.25$ (Fig. 1a). The significant factors ($P < 0.10$) for RFM were assisted calving, first calving, the occurrence of abortion, $BCS \geq 3.25$, $BCS \leq 2.5$, twin calving, and male calf. The significant factors ($P < 0.10$) for $DFS > 70$ were assisted calving, $BCS \leq 2.5$, first calving, and $BCS \geq 3.25$. For $DO > 110$, the significant factors ($P < 0.10$) were assisted calving, $BCS \geq 3.25$, first calving, retained fetal membranes, and $BCS \leq 2.5$. For NP1S, the significant factors ($P < 0.10$) were male calf, retained fetal membranes, first calving, $BCS \leq 2.5$, the interaction between male calf and RFM present in model 1 (Fig. 1b), and the interaction between RFM and $BCS \leq 2.5$ present in model 3 (Fig. 1c).

3.5 Discussion

To our knowledge, this is the first study that determines the risk factors for reproductive variables that is carried out in the small-scale dairy system in tropical and subtropical zones of Mexico, with a wide and diverse sample in terms of geographical location. Recent studies have reported a low reproductive performance of cows exploited in these systems (Ojeda Carrasco *et al.*, 2012; Vázquez-Selem *et al.*, 2016; Silva Salas *et al.*, 2017). However, our results indicate that days to first estrous are prolonged, but days to first service, days open, and first service conception rate were slightly beyond the optimal range suggested for this type of dairy production system in Mexico (Vera *et al.*, 2009). Furthermore, the rates of

assisted calving, RFM, and occurrence of abortions are moderately high compared with the optimum values proposed for this system (Vera *et al.*, 2009). Our results show that the reproductive performance of cows kept in this system is slightly suboptimum. Nevertheless, culled cows were not included in the present study; it is important to mention that culled cows might decrease the reproductive performance, and frequently, their contribution is not considered for some indicators (for instance calving interval variable, unless it is estimated from days open), possibly being the case for the present study. Also, it is noteworthy to mention that the size of the farms included in our study would partially explain the differences found in the reproductive performance compared with other reports. Farms included in this study do not include *traspatio* production (herds with < 10 cows) which is a small population of farms that belong to the small-scale dairy system in Mexico (SAGARPA 2004; Abrego Castillo 2011).

The factors associated with assisted calving were male calves, first calving, and the interaction between parity and high BCS at calving. The small-scale dairy system in Mexico is characterized for using mainly Holstein cows (Núñez *et al.*, 2009). Holstein male calves are heavier and taller at birth than female calves which increases the probability of calving difficulty (Kertz *et al.*, 1997; Johanson and Berger 2003). In addition, the importance of male calf as a risk factor for dystocic parturitions is supported by its high prevalence (50%). In fact, our results indicate that 31.5% of assisted calving can be attributed to the delivery of male calves. On the other hand, it has been reported that primiparous cows have higher risk for assisted calving than multiparous cows (Steinbock *et al.*, 2003; Berry *et al.*, 2007) and that there is no association between BCS at calving and assisted calving (Gearhart *et al.*, 1990; Berry *et al.*, 2007). Nevertheless, the abovementioned studies did not evaluate if an interaction between these factors existed. Our results indicate that the interaction between first calving and high BCS at calving (≥ 3.25) is important (Fig. 1a). In this regard, it was only observed that the differences in assisted calving between primiparous and multiparous cows when BCS at calving was < 3.25. A possible explanation is that primiparous cows with a high BCS (≥ 3.25) could have a higher weight and size which would reduce the risk for assisted calving (Thompson *et al.*,

1983; Erb *et al.*, 1985). In previous reports, several risk factors have been associated with RFM (Markusfeld *et al.*, 1997; Hossein-Zadeh and Ardalan 2011). The main risk factors associated with RFM in the present study were assisted calving, abortion, male calf, low BCS at calving, and twin calving. Although twin calving was significantly associated with retained fetal membranes (OR = 2.6), its low prevalence (1.2%) makes this risk factor less relevant (PAF = 0.017). Low BCS at calving has also been identified as a risk factor for RFM (Markusfeld *et al.*, 1997). Even though low BCS at calving (≤ 2.5) was a risk factor with a high prevalence in the present study (33%), we found a low level of association with retained fetal membranes (OR = 1.3), making this factor less important compared with others. According to PAF values, the main risk factors associated with RFM were assisted calving and abortion which also had a relatively high prevalence (16.6 and 5.9%, respectively). On the other hand, first calving and high BCS at calving ≥ 3.25 had negative PAF values. A negative PAF value could indicate that there is a protective effect[^] against the occurrence of RFM. Our results agree with the previous studies that show that primiparous cows have less risk of RFM and that a high BCS at calving reduces the prevalence of this condition (Markusfeld *et al.*, 1997; Rajala and Gröhn 1998; Hossein- Zadeh and Ardalan 2011).

Days to first service when estrous is not synchronized are an indicator of reproductive performance that allows indirect monitoring of the postpartum anestrous interval and the efficiency of estrous detection. Additionally, days open are a global indicator that also allows for monitoring fertility. Our results show that the main risk factor for DFS > 70 and DO > 110 was low BCS at calving (≤ 2.5). Around 30 and 20% of DPS > 70 and DAB > 110, respectively, are attributable to low BCS at calving. Post-calving negative energy balance (NEB) plays a significant role in the postpartum anestrous interval, thereby playing a role in days to first service and days open (Butler and Smith 1989; Bishop and Pfeiffer 2008). This phenomenon has been widely studied in high-yielding cows in which the increased energy expenditure associated to high milk production cannot be compensated with increased feed intake and requires the mobilization of body energy reserves (Butler and Smith 1989; Chalmeh *et al.*, 2015). In cows with low BCS at calving, the NEB is

greater which lead to a delayed onset of postpartum ovarian cyclicity (Villa-Godoy *et al.*, 1988; Markusfeld *et al.*, 1997). It seems that the NEB in cows in the small-scale dairy system is low due to the low- intermediate production levels of milk; nevertheless, the nutrient supplies in these systems are limited (Val-Arreola *et al.*, 2004; García-Muñiz *et al.*, 2007). Therefore, cows with low BCS at calving and low energy intake, even if they produce moderate levels of milk, could have a delay in their postpartum ovarian cyclicity increasing the days to first service and days open (Villa-Godoy *et al.*, 1988). In this regard, it was observed that high BCS at calving had a protective effect on DFS > 70 and DO > 110 (negative PAF). Together, these results suggest that BCS at calving plays a significant role in the reproductive performance of cows even when milk production levels are low to moderate as in the small-scale dairy system (Val-Arreola *et al.*, 2004; Kawonga *et al.*, 2012).

The effect that low BCS at calving had on DFS > 70 and DO > 110 contrasts with what we observed for NP1S. According to our results, low BCS at calving would have a protective effect against not to be pregnant at first service (PAF = - 0.085). In other words, cows with low body energy reserves at calving have a higher probability to get pregnant at first service; however, the interaction between this factor and RFM was significant for the first service conception rate. Our results indicate that, in the absence of RFM, there is no difference in first service conception rate between cows with different BCS at calving. However, in cows with RFM, the proportion of cows with low BCS that did not get pregnant at first service decreased. A possible explanation is that cows with low body energy reserves at calving and RFM present estrous later. Because these cows receive the first postpartum service later in lactation, could be that these cows present an increment in their BCS, which increases the probability of becoming pregnant. Nevertheless, we consider that more studies are needed regarding the association between BCS at calving and BCS at first service and fertility, to better understand this phenomenon.

On the other hand, our results show that first calving improves first service conception rate (PAF = - 0.056). Primiparous cows are known to have a lower risk of having RFM (Rajala and Gröhn 1998; Hossein-Zadeh and Ardalán 2011). Also,

RFM is one of the main risk factors affecting the first service conception rate. We hypothesize that first calving improves the first service conception rate by the lower risk of cows having RFM. This result is consistent with other studies, but the reasons why primiparous cows are less prone to RFM are not well known. It has been suggested that the administration of antioxidants before calving reduces the prevalence of RFM (Bourne *et al.*, 2007). Furthermore, antioxidant endogenous mechanisms are known to be altered when RFM occur (Kankofer 2001; Endler *et al.*, 2016). In addition, it has been observed that younger animals have a better response to oxidative stress (Dai *et al.*, 2014), and this could account for the lower prevalence of RFM in primiparous cows.

According to our results, male calf possesses a protective effect against NP1S. This finding seems contradictory; however, there was a significant interaction between male calf and RFM. The negative effect that male calf has over NP1S is only observed in the presence of RFM. The number of non-pregnant cows with RFM and male calf are much higher than those having female calves (18% difference). This result suggests that there is a synergistic effect of these two factors on NP1S, highlighting the relevance of both risk factors.

In the present study, common risk factors affecting the reproductive performance were detected (male calf, BCS \leq 2.5, RFM, and assisted calving). Despite the detection of these risk factors on reproductive variables, it remains to be seen their impact on profitability. In the small-scale dairy system, production levels, lactation curves, and operation costs differ from the ones present in the intensive production systems (Val-Arreola *et al.*, 2004; Jiménez Jiménez *et al.*, 2014). Hence, a study estimating the impact of these risk factors on profitability in this system could generate additional information to optimize decisions related to dairy cow reproductive management. Moreover, there are several management strategies that could be implemented to reduce the prevalence of some of the detected risk factors. For example, the use of sexed semen has been suggested to reduce the prevalence of the male calf (Potter *et al.*, 2010). Additionally, improving nutritional management or designing of strategic energy supplementation during postpartum could

counteract the negative effects of $BCS \leq 2.5$ on reproductive performance (Roche 2006).

In conclusion, the reproductive performance of small-scale dairy herds in tropical and subtropical zones of Mexico is moderately suboptimum. The main risk factors associated with low reproductive performance were assisted calving, male calves, low BCS at calving (≤ 2.5), and RFM. It is necessary for further studies to determine the impact on these factors on milk yield and profitability of the farms. Furthermore, in the present study, risk factors at the individual level were determined; therefore, risk factors at the herd level (artificial insemination vs natural breeding, grazing vs total confinement, herd size, and prevalence of infectious reproductive disease) remain to be tested. Together, this information would allow designing integral strategies to improve the profitability of small-scale dairy system in tropical and subtropical zones of Mexico.

3.6 References

- Abrego Castillo, H. 2011. El sistema familiar de producción de leche bovina en el municipio de Nopalucan, Puebla (Colegio de Postgraduados-Campus Puebla)
- Barrera Camacho, G. and Sánchez Brito, C. 2003. Caracterización de la cadena agroalimentaria nacional e identificación de sus demandas tecnológicas. Leche. Reporte Final Etapa II. (Jalisco, México)
- Berry, D.P. Lee, J.M. Macdonald, K.A. and Roche, J.R. 2007. Body condition score and body weight effects on dystocia and stillbirths and consequent effects on postcalving performance, *Journal of Dairy Science*, 90, 4201–4211
- Bijttebier, J. Hamerlinck, J. Moakes, S. Scollan, N., Van Meensel, J., and Lauwers, L. 2017. Low-input dairy farming in Europe: exploring a context-specific notion, *Agricultural Systems*, 156, 43–51
- Bishop, H. and Pfeiffer, D., 2008. Factors effecting reproductive performance in Rwandan cattle, *Tropical Animal Health and Production*, 40, 181–184
- Bourne, N. Laven, R. Wathes, D.C. Martinez, T. and McGowan, M. 2007. A meta-analysis of the effects of Vitamin E supplementation on the incidence of retained foetal membranes in dairy cows, *Theriogenology*, 67, 494–501
- Butler, W.R. and Smith, R.D. 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle, *Journal of Dairy Science*, 72, 767–783
- Camacho-Vera, J. H., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangél, M. I., Rosales-Noriega, F., and Vargas-Canales, J.M. 2017. Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8, 23–29

Ojeda Carrasco, J.J. Brunett Pérez, L. Espinosa Ayala, E. Álvarez Martínez, J.A. 2012. El aborto bovino: efectos productivos, económicos y sociales en la lechería en pequeña escala en el sur oriente del estado de México. In: 13rd. Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria. Puebla, Puebla, México, 537

Chalmeh, A. Hajimohammadi, A. and Nazifi, S. 2015. Endocrine and metabolic responses of high producing Holstein dairy cows to glucose tolerance test based on the stage of lactation, *Livestock Science*, 181, 179–186

Dai, D.-F. Chiao, Y.A. Marcinek, D.J. Szeto, H.H. and Rabinovitch, P.S. 2014. Mitochondrial oxidative stress in aging and healthspan, *Longevity & Healthspan*, 3, 6

Endler, M. Saltvedt, S. Eweida, M. and Åkerud, H. 2016. Oxidative stress and inflammation in retained placenta: a pilot study of protein and gene expression of GPX1 and NFκB, *BMC Pregnancy and Childbirth*, 16, 384

Erb, H.N. Smith, R.D. Oltenacu, P.A. Guard, C.L. Hillman, R.B. Powers, P.A. Smith, M.C. and White, M.E. 1985. Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield, and culling in Holstein cows, *Journal of Dairy Science*, 68, 3337–3349

Espinoza-Ortega, A., Álvarez-Macías, A., del Valle, M.D.C., and Chauvete, M. 2005. La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México, *Técnica Pecuaria en México*, 43, 39–56

García-Muñiz, J.G. Mariscal-Aguayo, D.V. Caldera-Navarrete, N.A. Ramírez-Valverde, R. Estrella-Quintero, H. and Núñez- Domínguez, R. 2007. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico, *Interciencia*, 32

Gearhart, M.A. Curtis, C.R. Erb, H.N. Smith, R.D. Sniffen, C.J. Chase, L.E. and Cooper, M.D. 1990. Relationship of changes in condition score to cow health in Holsteins, *Journal of Dairy Science*, 73, 3132–3140

Gröhn, Y.T. and Rajala-Schultz, P.J. 2000. Epidemiology of reproductive performance in dairy cows, *Animal Reproduction Science*, 60, 605–614

Guevara, R.J.H. González, O.A.T. Espinosa, G.J.A. 2006. GGAVATT Bovinos productores de leche Doblense, In: González, O.T.A. Espinosa, G.J.A. Luna, E.A.A. (Eds.), *Casos Exitosos GGAVATT Guanajuato 2006*, (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Celaya, Guanajuato, México). 5–36

Hemme, T. and Otte, J. 2010. Status and prospects for smallholder milk production: a global perspective. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome)

Hossein-Zadeh, N.G. and Ardalán, M. 2011. Cow-specific risk factors for retained placenta, metritis and clinical mastitis in Holstein cows, *Veterinary Research Communications*, 35, 345–354

Inchaisri, C. Jorritsma, R. Vos, P.L.A.M., van der Weijden, G.C., and Hogeveen, H. 2010. Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle, *Theriogenology*, 74, 835–846

Jiménez Jiménez, R.A., Espinosa Ortiz, V., and Soler Fonseca, D.M. 2014. El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México, *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*; Vol. 5, Núm. 1

- Johanson, J.M. and Berger, P.J. 2003. Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle, *Journal of Dairy Science*, 86, 3745–3755
- Kankofer, M. 2001. Antioxidative defence mechanisms against reactive oxygen species in bovine retained and not-retained placenta: activity of Glutathione Peroxidase, Glutathione Transferase, Catalase and Superoxide Dismutase, *Placenta*, 22, 466–472
- Kawonga, B.S., Chagunda, M.G.G., Gondwe, T.N., Gondwe, S.R. and Banda, J.W., 2012. Characterisation of smallholder dairy production systems using animal welfare and milk quality, *Tropical Animal Health and Production*, 44, 1429–1435
- Kertz, A.F. Reutzel, L.F. Barton, B.A. and Ely, R.L. 1997. Body weight, body condition score, and wither height of prepartum Holstein cows and birth weight and sex of calves by parity: a database and summary, *Journal of Dairy Science*, 80, 525–529
- Keshavarzi, H. Sadeghi-Sefidmazgi, A. Stygar, A.H. and Kristensen, A.R. 2017. Effects of abortion and other risk factors on conception rate in Iranian dairy herds, *Livestock Science*, 206, 51–58
- López-Gatius, F. López-Béjar, M. Fenech, M. and Hunter, R.H.F. 2005. Ovulation failure and double ovulation in dairy cattle: risk factors and effects, *Theriogenology*, 63, 1298–1307
- Markusfeld, O. Galon, N. and Ezra, E. 1997. Body condition score, health, yield and fertility in dairy cows, *Veterinary Record*, 141, 67–72
- Martínez-García, C.G., Ugoretz, S.J., Arriaga-Jordán, C.M. and Wattiaux, M.A., 2015. Farm, household, and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders, *Tropical Animal Health and Production*, 47, 311–316
- Mee, J.F. 2008. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: a review, *The Veterinary Journal*, 176, 93–101
- Moreno-García, A. Herrera-Arreola, G. Carrión-Gutiérrez, M. Alvarez-Bernal, D. Elena, P.S. and Ortiz Rodríguez, R. 2012. Caracterización y modelación esquemática de un sistema familiar de bovinos productores de leche en la Ciénega de Chapala, México, *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 20, 85–94
- Núñez, H.G. González, C.F. Bonilla, C.J.A. and Bustamante, G.J.J. 2009. Proceso de alimentación. In: A. H. R. Vera *et al.*, (eds), *Producción de Leche de Bovino en el Sistema Familiar*, (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias: Veracruz), 81–114
- Potter, T.J. Guitian, J. Fishwick, J. Gordon, P.J. and Sheldon, I.M. 2010. Risk factors for clinical endometritis in postpartum dairy cattle, *Theriogenology*, 74, 127–134
- Rajala, P.J. and Gröhn, Y.T. 1998. Effects of dystocia, retained placenta, and metritis on milk yield in dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 81, 3172–3181
- Roche, J. F. 2006. The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency, *Animal Reproduction Science*, 96, 282–296
- SAGARPA. 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de ganado bovino en México 1900–2000. (México, D.F.)
- Santos, J.E.P. Rutigliano, H.M. and Filho, M.F.S. 2009. Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows, *Animal Reproduction Science*, 110, 207–221

Silva Salas, M.A., Torres Cardona, M.G., Brunett Pérez, L., and Germán Peralta Ortiz, J. J., Jiménez Badillo, M.R. 2017. Evaluación de bienestar de vacas lecheras en sistema de producción a pequeña escala aplicando el protocolo propuesto por Welfare Quality®, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8, 53–60

Steinbock, L. Näsholm, A. Berglund, B. Johansson, K. and Philipsson, J. 2003. Genetic effects on stillbirth and calving difficulty in Swedish Holsteins at first and second calving, *Journal of Dairy Science*, 86, 2228–2235

Val-Arreola, D. Kebreab, E. Dijkstra, J. and France, J. 2004. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in central Mexico, *Journal of Dairy Science*, 87, 3789–3799

Vázquez-Selem, E. Aguilar-Barradas, U. and Villagómez-Cortés, J.A. 2016. Comparación de la eficiencia productiva y económica de grupos ganaderos organizados de doble propósito y de lechería familiar/ semiespecializada, *Ciencia Administrativa*, 1, 226–237

Vera, A.H. Hernández, A.L. Espinoza, G.J. Ortega, R.L. Díaz, A.E. Román, P.H. Núñez, H.G. Medina, C.M. Ruiz, L.F. 2009. Producción de leche de bovino en el sistema familiar, Libro técnico Núm. 24, Veracruz, México. 384 p.

Villa-Godoy, A. Hughes, T.L. Emery, R.S. Chapin, L.T. and Fogwell, R.L. 1988. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 71, 1063–1072

Villaseñor, G.F., Estrada, C.E., Espinosa, M.M.A., Vera, A.H.R., de la Torre, S.J.F., and Villagómez, A.M.E. 2011. Prevalencia de distocias y retenciones placentarias en establos bajo el sistema de producción familiar en Jalisco. In: XXIII Semana Internacional de Agronomía FAZUJED, (Venecia, Durango, México), 993-996

Zamudio, B.A. Alberti, M., del P Manzo, F., and Sánchez, M.T. 2003. La participación de las mujeres en los sistemas de traspasos de producción lechera en la ciudad de México, *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 51, 37–60

Zhang, J. and Yu, KF 1998. What's the relative risk? A method of correcting the odds ratio in cohort studies of common outcomes, *JAMA*, 280, 1690–1691

Table 1 Days to first observed estrous, days to first service, and days open in the small-scale dairy farms in tropical and subtropical zones of Mexico (n = 1263 lactations)

	Mean \pm SE	Minimum	Quartile 1	Median	Quartile 3	Maximum
DFE	79.9 \pm 1.2	16	50	69	99	278
DFS	88.6 \pm 1.2	30	59	78	108	278
DO	117.7 \pm 1.8	30	70	101	150	350

DFE days to first observed estrous, DFS days to first service, DO days open, SE standard error

Table 2 P values and odds ratios (OR) for potential risk factors considering different reproductive variables of interest; univariate analysis

Potential risk factors	Assisted calving	RFM	DFS > 70	DO > 110	NP1S
	(P; OR)	(P; OR)	(P; OR)	(P; OR)	(P; OR)
Assisted calving	–	< 0.001; 4.50	0.033; 1.54	0.114; 1.35	0.428; NC
RFM	–	–	0.987; NC	0.001; 2.09	0.004; 1.69
First calving	0.044; 1.52	0.143; 0.77	0.021; 1.43	0.040; 1.36	0.094; 0.81
Abortion	0.537; NC	< 0.001; 8.04	0.603; NC	0.307; 2.43	0.293; 1.91
Twin calving	0.218; 2.32	0.022; 2.46	0.626; NC	0.535; NC	0.693; NC
Male calf	0.001; 1.92	0.035; 1.56	0.439; NC	0.472; NC	0.105; 0.84
BCS \geq 3.25	0.171; 1.32	< 0.001; 1.88	< 0.001; 0.48	< 0.001; 0.42	0.527; NC
BCS \leq 2.5	0.101; 0.72	< 0.001; 0.57	< 0.001; 2.09	< 0.001; 1.73	0.070; 0.81
DFS \leq 60 d	–	–	–	–	0.194; 1.17

RFM retained fetal membranes, DFS > 70 days to first service over 70 days in milk, DO > 110 days open over 110 days in milk, NP1S non-pregnant at first service, BCS \geq 3.25 high body condition at calving, BCS \leq 2.5 low body condition at calving, DFS \leq 60d early days to first service, NC indicates no OR calculated for not being significant

Table 3 Non-collinear potential risk factors for events of interest included in multivariate models

Events of interest	Model	Potential risk factors
Assisted calving	1	Male calf + first calving + BCS \geq 3.25
	2	Male calf + first calving + BCS \leq 2.5
	3	Male calf + twin calving
RFM	1	Assisted calving
	2	Abortion + first calving + BCS \geq 3.25
	3	Abortion + BCS \leq 2.5
	4	Male calf + twin calving + BCS \geq 3.25
DFS > 70 days	1	Assisted calving + BCS \leq 2.5
	2	First calving + BCS \geq 3.25
DO > 110	1	Assisted calving + BCS \geq 3.25
	2	Male calf + first calving + RFM
	3	Male calf + BCS \leq 2.5
NP1S	1	Male calf + RFM + DFS \leq 60d
	2	Male calf + first calving + abortion
	3	Male calf + RFM + BCS \leq 2.5

RFM retained fetal membranes, DFS > 70 days to first service over 70 days in milk, DO > 110 days open over 110 days in milk, NP1S non-pregnant at first service, BCS \geq 3.25 high body condition at calving, BCS \leq 2.5 low body condition at calving, DFS \leq 60d early days to first service

Table 4 Results of multivariate logistic regression models for events of interest that indicate reproductive failure

Events of interest	Model	Risk factors	Comparison (risk factor vs reference)	P value	OR	95% CI (OR)	RR	95% CI (RR)	Pe	PAF
Assisted calving	1	Calf sex	Male vs female	0.006	1.74	1.17–2.57	1.38	1.10–1.65	0.507	0.315
		Parity	1 vs ≥ 2	0.043	1.52	1.01–2.28	1.14	1.01–1.24	0.274	0.131
RFM	1	Assisted calving	Yes vs no	< 0.001	4.50	3.33–6.08	1.47	1.41–1.53	0.166	0.440
		Parity	1 vs ≥ 2	0.038	0.70	0.50–0.98	0.92	0.84–1.00	0.256	-0.079
	2	Abortion	Abortion vs calving	< 0.001	8.06	5.49–11.82	1.24	1.22–1.26	0.059	0.239
		BCS ≥ 3.25	High vs remaining	0.001	0.56	0.40–0.78	0.84	0.74–0.94	0.311	-0.164
	3	Abortion	Abortion vs calving	< 0.001	8.36	5.71–12.25	1.24	1.23–1.26	0.059	0.240
		BCS ≤ 2.5	Low vs remaining	0.058	1.31	0.99–1.72	1.09	1.00–1.18	0.330	0.089
	4	Twin calving	Twin vs simple	0.044	2.62	1.03–6.66	1.02	1.00–1.02	0.012	0.017
		Calf sex	Male vs female	0.034	1.36	1.02–1.81	1.19	1.01–1.36	0.528	0.170
		BCS ≥ 3.25	High vs remaining	0.005	0.62	0.45–0.86	0.77	0.78–0.97	0.314	-0.127
DFS > 70	1	Assisted calving	Yes vs no	0.015	1.65	1.10–2.46	1.07	1.02–1.11	0.141	0.067
		BCS ≤ 2.5	Low vs remaining	< 0.001	2.21	1.66–2.94	1.32	1.21–1.41	0.374	0.285
	2	Parity	1 vs ≥ 2	0.025	1.43	1.05–1.94	1.10	1.01–1.17	0.274	0.096
		BCS ≥ 3.25	High vs remaining	< 0.001	0.45	0.33–0.61	0.80	0.71–0.89	0.260	-0.211
DO > 110	1	Assisted calving	Yes vs no	0.062	1.43	0.98–2.09	1.05	1.00–1.09	0.141	0.050
		BCS ≥ 3.25	High vs remaining	< 0.001	0.42	0.30–0.57	0.38	0.41–0.68	0.260	-0.534
	2	Parity	1 vs ≥ 2	0.022	1.42	1.05–1.90	1.10	1.02–1.17	0.274	0.096
		RFM	Yes vs no	< 0.001	2.41	1.55–3.72	1.10	1.06–1.13	0.113	0.097
	3	BCS ≤ 2.5	Low vs remaining	< 0.001	1.73	1.33–2.26	1.23	1.12–1.33	0.374	0.213
	NP1S	1	Calf sex	Male vs female	0.080	0.82	0.66–1.02	0.91	0.80–1.01	0.505
RFM			Yes vs no	0.004	1.71	1.19–2.45	1.06	1.02–1.09	0.109	0.058
2		Parity	1 vs ≥ 2	0.094	0.81	0.63–1.04	0.76	0.87–1.01	0.260	-0.056
		Calf sex	Male vs female	0.095	0.83	0.67–1.03	0.91	0.80–1.02	0.505	-0.095
3		RFM	Yes vs no	0.003	1.73	1.20–2.48	1.06	1.02–1.09	0.109	0.059
		BCS ≤ 2.5	Low vs remaining	0.045	0.79	0.63–0.99	0.92	0.83–1.00	0.362	-0.085

RFM retained fetal membranes, DFS > 70 days to first service over 70 days in milk, DO > 110 days open over 110 days in milk, NP1S non-pregnant cows at first service, BCS ≥ 3.25 high body condition at calving, BCS ≤ 2.5 low body condition at calving, PAF population attributable fraction, OR odd ratios, RR risk ratios, Pe proportion of cows exposed to risk factor

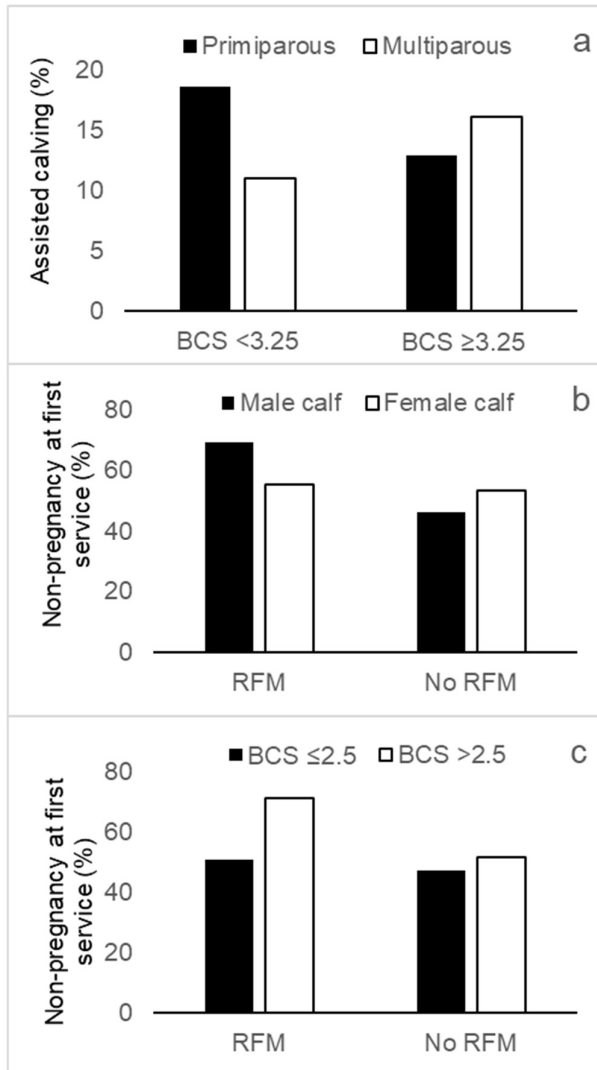


Fig. 1 Significant interactions in multivariate models. a Assisted calving; model 1, parity X BCS ≥ 3.25 ($P = 0.094$). b Non-pregnancy at first service; model 1, calf sex X retained fetal membranes ($P = 0.017$). c Non-pregnancy at first service; model 3, BCS ≤ 2.5 X retained fetal membranes ($P = 0.027$)

4. CAPÍTULO 2: FACTORES DE RIESGO A NIVEL DE ESTABLO ASOCIADOS CON EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE A PEQUEÑA ESCALA EN MÉXICO.

Luis Javier Montiel-Olguín, Eliab Estrada-Cortés, Mario Alfredo Espinosa-Martínez, Miguel Mellado, Josafath Omar Hernández-Vélez, Guillermina Martínez-Trejo, Laura Hernández-Andrade, Rubén Hernández-Ortíz, Arcelia Alvarado-Islas, Felipe J Ruiz-López, Hector Raymundo Vera-Avila.

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias

La publicación final está disponible en cienciaspecuarias.inifap.gob.mx

4.1 Resumen

La rentabilidad de los establos lecheros está fuertemente asociada con el desempeño reproductivo. Por lo tanto, la identificación de factores de riesgo que comprometen este desempeño es primordial para implementar estrategias que mejoren la productividad. En este estudio, se probaron los efectos del uso de inseminación artificial (IA), hatos grandes y seroprevalencia alta de enfermedades infecciosas reproductivas sobre el desempeño reproductivo. Se incluyeron al estudio 52 establos (10-100 vacas; 959 lactaciones) registrando eventos reproductivos durante 18 meses (partos 2011-2012). Las seroprevalencias de Neosporosis, Rinotraqueitis Infecciosa Bovina (IBR) y Diarrea Viral Bovina (BVD) fueron registradas en cada establo. Se utilizaron análisis de regresión logística múltiples para determinar el grado de asociación (Razón de Momios, OR) entre factores potenciales de riesgo y variables reproductivas. Establos ≥ 33 vacas y seroprevalencia alta de Neosporosis fueron factores de riesgo para Asistencia al parto (OR 1.5 y 2.3, respectivamente). Seroprevalencias altas de IBR y BVD fueron factores de riesgo para Días a Primer Servicio > 70 Días en Leche (DPS > 70 , OR 1.3 y 1.9, respectivamente). La IA fue un factor de riesgo común para DPS > 70 y Días Abiertos > 110 Días en Leche (OR 2.4 y 1.3, respectivamente). Establos ≥ 33 vacas fue un factor de riesgo para Vacas No Gestantes al Primer Servicio (OR 1.7). En conclusión, la IA, establos ≥ 33 vacas y seroprevalencias altas de Neosporosis, IBR y BVD son factores asociados al desempeño reproductivo en establos de producción de leche a pequeña escala en varias regiones geográficas de México.

Palabras clave: Inseminación artificial, Tamaño del hato, Neosporosis, BVD, IBR.

4.2 Abstract

Herd-level risk factors associated with reproductive performance in small-scale dairy system in Mexico.

Profitability of dairy farms is strongly associated with reproductive performance. Therefore, identification of risk factors that compromise reproduction outcome is essential to implement strategies for improving productivity. In this study, we tested the effects of use of artificial insemination (AI), herd size and seroprevalence of infectious reproductive diseases on reproductive performance. Fifty-two dairy herds (10-100 cows; 959 lactations) were included in the study and reproductive events were recorded for an 18 months period (calvings 2011-2012). Seroprevalence of Neosporosis, Infectious Bovine Rhinotracheitis (IBR) and Bovine Viral Diarrhea (BVD) by herd were determined. Multiple logistic regression analysis was used to determine the degree of association (Odds Ratios, OR) between potential risk factors and reproductive variables. Herds ≥ 33 cows and high seroprevalence of Neosporosis were risk factors for Assisted Calving (OR 1.5 and 2.3, respectively). High seroprevalences of IBR and BVD were risk factors for Days to First Service Over 70 Days in Milk (DFS >70 , OR 1.3 and 1.9, respectively). Artificial Insemination was a common risk factor for DFS >70 and Days Open Over 110 Days in Milk (OR 2.4 and OR 1.3, respectively). Herds ≥ 33 cows was a risk factor for Non-Pregnancy at First Service (OR 1.7). In conclusion, AI, herds ≥ 33 cows and high seroprevalence of Neosporosis, IBR and BVD are factors associated with reproductive performance in small-scale dairy farms in various geographical regions of Mexico.

Key words: Artificial insemination, Herd size, Neosporosis, BVD, IBR.

4.3 Introducción

Los sistemas de producción de leche a pequeña escala mejoran la seguridad alimentaria y proporcionan ingresos económicos en zonas rurales a nivel mundial⁽¹⁾. En México, este sistema de producción posee aproximadamente el 23% del inventario ganadero⁽²⁾, contribuye con el 30% de la producción nacional de leche⁽³⁾ y representa el 73% de los establos lecheros⁽⁴⁾. Las unidades de producción en este sistema se caracterizan por incorporar mano de obra familiar, utilizan en mayor medida razas especializadas en la producción de leche, tienen pocos vientres en producción y niveles medios-bajos de

tecnificación⁽⁵⁻⁷⁾. La mejora productiva de estos establos lecheros a pequeña escala contribuye a disminuir la pobreza en zonas rurales⁽¹⁾, y promover el desarrollo de las comunidades^(8,9).

La rentabilidad de los establos lecheros está fuertemente asociada con el desempeño reproductivo eficiente^(10,11). La identificación de factores de riesgo que comprometen el desempeño reproductivo es primordial para diseñar e implementar estrategias que mejoren la productividad. Existen estudios en hatos de producción de leche a pequeña escala que indican que la IA puede afectar el intervalo parto a primer servicio postparto y la tasa de concepción por servicio en comparación con la monta directa^(12,13). Además, en sistemas intensivos de producción se ha observado que el tamaño de hato influye sobre el desempeño reproductivo⁽¹⁴⁻¹⁶⁾, al igual que el nivel de seroprevalencia de enfermedades infecciosas reproductivas como Neosporosis, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina (IBR) y Diarrea Viral Bovina (BVD)^(17,18). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto, como factores potenciales de riesgo a nivel de establo, del uso de IA, tamaño del hato y prevalencia de enfermedades infecciosas reproductivas sobre el desempeño reproductivo en establos productores de leche a pequeña escala en México. La hipótesis de trabajo fue que estos factores están asociados con el desempeño reproductivo en vacas lecheras.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Selección de establos y registro de la información.

Se llevó a cabo un estudio de cohorte prospectivo observacional (959 registros) en seis estados de México donde el sistema de producción de leche a pequeña escala tiene presencia importante. Se incluyeron al estudio 52 establos con la siguiente distribución por estado: Jalisco (23), Estado de México (10), Tlaxcala (9), Guanajuato (4), Puebla (3), y Querétaro (3). Los criterios de selección utilizados fueron los siguientes: soporte primario de mano de obra familiar en la unidad de producción, que contaran con un número de vientres en producción entre 10-100, que la producción de leche fuera el objetivo primario del establo y que el nivel de incorporación de tecnología fuera medio-bajo. El porcentaje de vacas Holstein y el número promedio de vacas en los establos fueron 91.3% y 30.3±2.4, respectivamente. La tasa estimada de desecho y la

producción de leche por vaca fueron 26.4% y 17.10±0.5kg/día, respectivamente. Los establos incorporados al estudio cumplen características de establos de producción a pequeña escala en México descritos en otras publicaciones^(2,7,19). El periodo de captura de información a nivel de campo fue durante 18 meses, periodo en el que se registraron los siguientes eventos reproductivos: fechas de parto, fechas y tipo de servicios (inseminación artificial o monta directa), ocurrencia de asistencias al parto y/o retenciones de placenta y resultado de diagnóstico de gestación alrededor de 50 días post-servicio.

4.4.2 Eventos de interés y clasificación de factores potenciales de riesgo relacionados con el desempeño reproductivo.

Los eventos de interés considerados fueron: asistencia al parto (asistencia menor y asistencia mayor en la misma categoría), retención de placenta (>12 horas), días a primer servicio mayor a 70 días en leche (DPS>70), días abiertos mayores a 110 días en leche (DA>110) y vacas no gestantes al primer servicio (NG1S). Con base a lo que se ha sugerido para el sistema de producción de leche a pequeña escala se establecieron los valores límite >70 DPS y >110 DA como indicadores de falla reproductiva⁽¹⁹⁾.

Los factores potenciales de riesgo incluyeron al uso de la IA, hatos grandes y seroprevalencias altas de Neosporosis, IBR y BVD. Para clasificar los establos por tipo de servicio, se consideraron en la categoría IA a aquellas unidades de producción donde al menos 75% de los servicios fueron brindados utilizando esta tecnología y en la categoría de monta natural cuando al menos el 75% de los servicios fue proporcionado por monta natural. Los límites para tamaño del hato y seroprevalencias se establecieron de acuerdo con la distribución por cuartiles en la muestra de estudio⁽²⁰⁾. La clasificación del tamaño de hato se hizo con base en el número de vientres en producción promedio por establo durante el periodo de captura de información a nivel de campo; el tercer cuartil correspondió a 33 vacas (clasificación <33 o ≥33). El tercer cuartil se estableció como límite para clasificar a los establos con seroprevalencia alta; Neosporosis (≥84%), IBR (≥38%) y BVD (=100%) (Cuadro 1).

4.4.3 Identificación de animales seropositivos a Neosporosis, IBR y BVD.

Se colectaron muestras de sangre por punción de vena coccígea (sistema vacutainer), de forma aleatoria en el 10% de las vacas en producción

en cada hato en estudio. Las muestras de sangre fueron mantenidas a 4°C por 24h, posteriormente fueron centrifugadas (2500g por 10 min a 4°C) para separar el suero, el cual fue congelado a -20°C hasta su análisis.

La detección de anticuerpos contra *Neospora caninum* se realizó mediante la prueba de ELISA utilizando un kit comercial (Laboratorios IDEXX), de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El análisis de los sueros para Diarrea Viral Bovina se realizó con un kit comercial de ELISA por bloqueo (CIVTEST bovis BVD/Bd P80, Laboratorios Hipra), siguiendo las instrucciones del fabricante. El análisis de IBR se realizó mediante la técnica de seroneutralización en placa, empleando la línea celular MDBK (células de riñón de bovino) y el virus de Referencia IBR758, con título de 105.6 TCID₅₀ a una dilución entre 500-1000 dosis infectante/ml. Los sueros se diluyeron de 1:2 hasta 1:128 y se observó el efecto citopático producido por el virus para determinar la muestra como positiva⁽¹⁸⁾. No se contó con historial de vacunación en cada unidad de producción, sin embargo, en las regiones estudiadas esta práctica es común^(13,18).

4.4.4 Análisis estadístico.

Todos los análisis fueron llevados a cabo utilizando el paquete estadístico SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Para identificar a los factores de riesgo se utilizaron análisis de regresión logística múltiple (PROC LOGISTIC) siguiendo la metodología implementada por Potter *et al*⁽²¹⁾. Para elaborar estos modelos, el primer paso fue realizar pruebas de regresión logística simple entre los eventos de interés y los factores potenciales de riesgo. Los factores con un valor de $P < 0.35$ fueron retenidos y analizados posteriormente para colinealidad⁽²¹⁾. Para prevenir colinealidad en los modelos múltiples, se obtuvieron coeficientes de correlación y se aplicaron pruebas de χ^2 en pruebas pareadas de factores retenidos utilizando el procedimiento FREQ opción CHISQ. Cuando en un par de factores, el límite de confianza del coeficiente de correlación no incluyó al 0 y el valor de P de χ^2 fue < 0.05 , ambas variables no fueron incluidas en el mismo modelo múltiple. Finalmente, con el objetivo de obtener modelos múltiples parsimoniosos, se utilizó la opción backward para retener variables significativas a un valor de $P < 0.1$ ⁽²¹⁾. Los modelos múltiples finales incluyeron únicamente a los efectos principales y la Razón de Momios

(OR) fue utilizada como una medida de asociación entre los factores de riesgo y las variables de interés.

4.5 Resultados

4.5.1 Eventos de interés y factores potenciales de riesgo a nivel de establo relacionados con el desempeño reproductivo.

Estadísticas descriptivas para eventos de interés. Las prevalencias de los eventos de interés Asistencia al parto y Retención de placenta fueron 13.2 y 11.7% respectivamente. La proporción de vacas con DPS>70, DA>110 y NG1S fueron 64.9, 46.4 y 50.5% respectivamente.

4.5.2 Factores potenciales de riesgo.

Los establos con el factor potencial de riesgo IA representaron el 73.9%, mientras que los clasificados con tamaño ≥ 33 vacas representaron el 41.3%. En el Cuadro 1 se muestra la distribución de seroprevalencias para Neosporosis, IBR y BVD.

4.5.3 Factores de riesgo asociados a la falla en el desempeño reproductivo.

El nivel de significancia y las razones de momios obtenidos en los análisis de regresión logística simple se muestran en el Cuadro 2. En el Cuadro 3 se muestran los modelos múltiples para cada evento de interés. Para la variable de interés Asistencia al parto, los factores de riesgo identificados ($P < 0.10$) fueron establos con ≥ 33 vacas y seroprevalencia alta de Neosporosis (Cuadro 4). Con respecto a la variable de interés Retención de placenta, no se detectaron factores de riesgo ($OR > 1$). Sin embargo, IA y seroprevalencia alta de IBR fueron factores significativos ($OR < 1$, $P < 0.1$; Cuadro 4). Para la variable de interés DPS>70 los factores de riesgo identificados fueron IA y seroprevalencias altas de IBR y BVD ($P < 0.1$; Cuadro 5). Con relación a la variable de interés DA>110, la IA fue el único factor de riesgo identificado ($P < 0.1$; Cuadro 5). Para la variable de interés NG1S, establos ≥ 33 vacas fue el único factor de riesgo identificado ($P < 0.1$; Cuadro 5).

4.6 Discusión

El sistema de producción de leche a pequeña escala en México es altamente heterogéneo en cuanto a manejo productivo, reproductivo y estatus sanitario^(13,19). Desde un punto de vista sanitario, Neosporosis, IBR y BVD son enfermedades asociadas a desórdenes reproductivos^(22,23). En el presente

estudio, la media en seroprevalencias para Neosporosis por establo representó valores similares a lo reportado previamente para el sistema de producción de leche a pequeña escala (51.7%)⁽²⁴⁾. Sin embargo, es mayor a lo reportado para el sistema intensivo en México (~43%)^(18,25). Es probable que las medidas de bioseguridad sean menos estrictas en los establos de producción de leche a pequeña escala, lo cual pudiera estar incrementando factores de riesgo asociados a la presencia de Neospora, como la presencia de perros en las unidades de producción^(26,27). Por otra parte, la seroprevalencia de IBR en el presente estudio fue similar a lo reportado previamente en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México con tasas que rondan el 22%^(24,28). Sin embargo, algunos estudios han reportado hasta el 69% de seroprevalencia en el sistema de producción a pequeña escala⁽¹⁸⁾. Referente a BVD, la seroprevalencia promedio obtenida por establo se encuentra en un punto medio entre lo reportado para este sistema de producción (52-81%)^(18,24). Anteriormente se ha propuesto que estas enfermedades son endémicas y con alta prevalencia en ganado lechero en los sistemas intensivo, doble propósito y a pequeña escala en México^(18,29,30). A pesar de que las altas seroprevalencias encontradas pudieran deberse a anticuerpos vacunales para IBR y BVD, estos resultados confirman la importancia de estas enfermedades reproductivas en establos de producción a pequeña escala debido a su diseminación sobre una gran área o distancia y alta prevalencia de estas enfermedades.

Hasta donde tenemos conocimiento, este es el primer trabajo que reporta factores de riesgo a nivel de establo asociados con el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México. Los establos con seroprevalencia alta de Neosporosis y establos con 33 o más vacas tuvieron 128 y 51% respectivamente, más probabilidad de requerir asistencia al parto. Estos resultados son consistentes con reportes previos sobre una asociación significativa entre Asistencia al parto y animales seropositivos a Neospora⁽³¹⁾. Sin embargo, otros estudios no han encontrado esta asociación⁽³²⁾, por lo tanto, son necesarios más estudios para clarificar esta asociación potencial. La asistencia al parto fue más prevalente en establos ≥ 33 vacas. Una posible explicación es que en establos más grandes utilicen sementales (IA o monta natural) de mayor talla o bien que existan problemas asociados a la condición corporal al parto, hipótesis pendiente de ser desafiada. Otra

explicación radica en que, en este sistema de producción, el productor y su familia se hacen cargo personalmente de toda la operación del establo y del campo⁽⁶⁾. Por otra parte, se ha reportado que el manejo en el periparto de la vaca y la atención obstétrica correcta son algunos de los principales factores a considerar para controlar los problemas de distocia⁽³³⁾. Es razonable pensar que, debido a las múltiples tareas del productor, él y los miembros de su familia son incapaces de proveer adecuado cuidado durante el parto en establos ≥ 33 vacas. Por otra parte, los animales en los establos con mayor prevalencia de BVD y los establos que utilizan IA tienen un menor riesgo de Asistencia al parto. Este resultado era esperado, en otros estudios se ha reportado que el peso al nacimiento de becerros positivos a antígenos de BVD son 7kg más ligeros que su contraparte de becerros negativos⁽³⁴⁾. Referente al impacto de IA sobre la ocurrencia de Asistencia al parto, actualmente existen en el mercado una gran variedad de sementales con diferentes características de conformación, incluyendo la facilidad de parto^(35,36). Estos resultados sugieren que los productores en las regiones en estudio pudieran estar seleccionando sementales con base a la facilidad de parto (comunicación personal, MC. Fernando Villaseñor). Aunado a esto, los animales en establos que utilizan la IA tienen un menor riesgo de sufrir Retención de Placenta (Cuadro 4). La asistencia al parto es uno de los factores de riesgo a nivel de individuo más importantes asociados con retención de placenta⁽³⁷⁾. Por lo tanto, es razonable pensar que con la IA se reduzca la prevalencia de asistencias al parto y en consecuencia las retenciones de placenta. Por otra parte, las vacas en los establos con seroprevalencia alta de IBR tienen un menor riesgo de sufrir Retención de Placenta. Este resultado pudiera parecer contradictorio porque IBR ha sido asociado a aborto y retención de placenta⁽³⁸⁾. Sin embargo, una posible explicación radica en que las vacas incluidas en nuestro estudio tengan anticuerpos de origen vacunal⁽¹⁸⁾; reduciendo la incidencia de abortos por IBR y en consecuencia disminuyendo el riesgo de sufrir Retención de Placenta⁽³⁹⁾.

Las vacas en los establos que utilizan IA tuvieron 142% más probabilidad de tener $DPS > 70$. Desde un punto de vista reproductivo, el éxito al implementar esta tecnología depende de la eficiencia en la detección de estros⁽⁴⁰⁾. Aunque en el presente estudio no fue determinado, en los establos de producción de leche a pequeña escala en México⁽¹²⁾ y en establos intensivos es

común que exista una deficiente tasa de detección de estros⁽⁴¹⁾. Las vacas en establos con seroprevalencias altas de IBR y BVD tuvieron 32 y 86% más probabilidad de tener $DPS > 70$; pudiendo ir en IBR desde una reducción en la probabilidad del 5% hasta un incremento del 80%. Las consecuencias reproductivas de la infección con BVD han sido documentadas^(42,43). De acuerdo con nuestro conocimiento, no existen reportes que hayan asociado seroprevalencias altas de estas enfermedades con días a primer servicio. Además, desde un punto de vista patológico, no está claro cómo estas enfermedades pudieran incrementar $DPS > 70$. Una posible explicación radica en que la seroprevalencia alta de estas enfermedades pudiera impactar de forma indirecta a este indicador⁽⁴⁴⁾. Por ejemplo, seroprevalencias altas de IBR y BVD pudieran estar correlacionadas con otros factores de riesgo como alto grado de estabulación o mal manejo de desechos biológicos⁽⁴⁵⁾.

Por otra parte, las vacas en establos que brindan IA tuvieron 32% más probabilidad de tener $DA > 110$; este cambio puede ir desde una reducción en la probabilidad de 1% hasta incremento del 80%. Desde un punto de vista de desempeño reproductivo, esta tecnología para el mejoramiento genético también repercute negativamente en indicadores como días a primer servicio, sugiriendo la existencia de deficiencias en la detección de estros^(12,46). Para contrarrestar esto, en los establos intensivos de producción de leche se han implementado protocolos de sincronización de estros⁽⁴⁷⁾. Considerando la buena fertilidad a primer servicio en este sistema (49.5%), la implementación de protocolos de inseminación a tiempo fijo adaptados específicamente para este sistema de producción pudiera ser una estrategia para mejorar el desempeño reproductivo⁽⁴⁸⁾.

Las vacas en establos con 33 o más vacas tuvieron 69% más probabilidad para NG1S. En otros sistemas de producción, se ha reportado que conforme los establos incrementan su tamaño, la capacidad para manejar reproductivamente al hato disminuye⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. En el sistema de producción de leche a pequeña escala, aunque son de menor tamaño comparados con los establos intensivos, el efecto de tamaño de hato es también evidente para este indicador. Por otra parte, se ha reportado que la BVD provoca muertes embrionarias tempranas y subfertilidad en ganado lechero⁽⁴⁹⁻⁵¹⁾. Los resultados indican que hatos con seroprevalencia alta de BVD tienen menor riesgo de NG1S, un

resultado que pudiera parecer contradictorio. Sin embargo, una posible explicación es que la alta seroprevalencia en estos establos se deba a anticuerpos vacunales⁽¹⁸⁾.

La IA es un factor significativo común para la mayoría de los eventos de interés. El uso de esta tecnología para el mejoramiento genético reduce la prevalencia de problemas posteriores al parto sin afectar la fertilidad a primer servicio, sin embargo, incrementa los días a primer servicio y los días abiertos (probablemente por deficiencias en la detección de estros). Una posible estrategia para aprovechar las ventajas de la IA pudiera ser la implementación de protocolos de sincronización a tiempo fijo para el primer servicio con semen sexado considerando la buena fertilidad observada en los hatos pertenecientes a este sistema de producción. Sin embargo, son necesarios estudios de factibilidad financiera para poder realizar recomendaciones a gran escala en el sector.

Finalmente, una limitación del presente estudio es la incertidumbre acerca del origen de los anticuerpos en las pruebas serológicas. En nuestra base de datos no contamos con antecedentes de vacunación confiables por la falta de disciplina que existe en este tipo de establos para llevar registros. A pesar de que en las regiones estudiadas es común la vacunación^(13,18), esta incertidumbre limita la posibilidad de hacer inferencias más precisas con base en nuestros resultados. Sin embargo, consideramos que la interpretación de los resultados es conservadora y aún fundacional para estudios posteriores en términos epidemiológicos y patológicos.

4.7 Conclusiones e implicaciones

En conclusión, la IA, el tamaño del hato y las seroprevalencias altas de Neosporosis, IBR y BVD son factores asociados al desempeño reproductivo en establos pertenecientes al sistema de producción de leche a pequeña escala en México. Los factores de riesgo identificados para Asistencia al parto fueron hatos con 33 o más vacas y Neosporosis alta; para DPS>70 fueron IA y seroprevalencias altas de IBR y BVD; para DA>110 fue IA; para NG1S fueron hatos con 33 o más vacas; para Retención de placenta no se identificaron factores de riesgo. Además, el presente estudio es un recordatorio sobre la vital importancia de prevenir Neosporosis, IBR y BVD debido a que estas enfermedades están ampliamente distribuidas en establos lecheros en el país.

4.8 Literatura citada

1. Hemme T, Otte J. Status and prospects for smallholder milk production: a global perspective. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2010. 181 pp.
2. SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de ganado bovino en México 1900-2000. México. 2004.
3. Barrera Camacho G, Sánchez Brito C. Caracterización de la cadena agroalimentaria nacional e identificación de sus demandas tecnológicas. Leche. Reporte Final Etapa III. Programa Nacional Estratégico de Necesidades de Investigación y de Transferencia de Tecnología Reporte Final Etapa III. Fundación produce Jalisco. 2003. Jalisco, México. 8-20.
4. Hemme T, IFCN (Dairy Team and IFCN Researchers) (2007) IFCN Dairy Report 2007, International Farm Comparison Network. IFCN Dairy Research Center, Kiel, Germany.
5. García-Muñiz JG, Mariscal-Aguayo DV, Caldera-Navarrete NA, Ramírez-Valverde R, Estrella-Quintero H, Núñez-Domínguez R. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia* 2007;32(12):841-846.
6. Jiménez-Jiménez RA, Espinosa Ortiz V, Soler Fonseca DM. El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México. *Rev Investig Agrar y Ambient (RIAA)* 2014;5(1):47-56.
7. Camacho-Vera J H, Cervantes-Escoto F, Palacios-Rangél MI, Rosales-Noriega F, Vargas-Canales JM. Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Rev Mex Cienc Pecu* 2017;8(1):23-29.
8. Zamudio, BA, Alberti, MdP, Manzo, F, Sánchez, MT. La participación de las mujeres en los sistemas de traspato de producción lechera en la ciudad de México. *Cuad Desarro Rural* 2003;(51):37-60.
9. Espinoza-Ortega A, Álvarez-Macías A, del Valle MDC, Chauvete M. La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Téc Pecu Méx* 2005;43(1):39-56.
10. Gröhn YT, Rajala-Schultz PJ. Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2000;60-61(Supplement C):605-614.
11. Inchaisri C, Jorritsma R, Vos PLAM, van der Weijden GC, Hogeveen H. Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology* 2010;74(5):835-846.
12. Estrada-Cortés E, Espinosa-Martínez MA, de la Torre-Sánchez JF, Villaseñor-González F, Vera-Avila HR, Villagomez-Amezcuca E, Montiel Olguín LJ. Factores que influyen en la detección del primer estro post-parto en vacas del sistema familiar en jalisco [in extenso]. *Vamos al campo 2012 Memoria Técnica / Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco.* 2012:27-33.
13. Martínez-García CG, Ugoretz SJ, Arriaga-Jordán CM, Wattiaux MA. Farm, household, and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders. *Trop Anim Health Prod* 2015 Feb;47(2):311-316.
14. Oleggini GH, Ely LO, Smith JW. Effect of Region and Herd Size on Dairy Herd Performance Parameters. *J Dairy Sci* 2018 Mar 1;84(5):1044-1050.

15. Washburn SP, Silvia WJ, Brown CH, McDaniel BT, McAllister AJ. Trends in Reproductive Performance in Southeastern Holstein and Jersey DHI Herds. *J Dairy Sci* 2018 Mar 1;85(1):244-251.
16. Dochi O, Kabeya S, Koyama H. Factors Affecting Reproductive Performance in High Milk-producing Holstein Cows. *J Reprod Dev* 2010;56(S):S61-65.
17. Fray MD, Paton DJ, Alenius S. The effects of bovine viral diarrhoea virus on cattle reproduction in relation to disease control. *Anim Reprod Sci* 2000;60:615-627.
18. Milian-Suazo F, Hernandez-Ortiz R, Hernandez-Andrade L, Alvarado-Islas A, Diaz-Aparicio E, Mejia-Estrada F, Palomares-Resendiz EG, Reyes IB, Zendejas-Martinez H. Seroprevalence and risk factors for reproductive diseases in dairy cattle in Mexico. *J Vet Med Anim Health* 2016 Aug 31;8(8):89-98.
19. Vera AH, Hernandez AL, Espinoza GJ, Ortega RL, Díaz AE, Rompan PH, *et al.*, Producción de leche de bovino en el sistema familiar. Libro Técnico. Veracruz; 2009. 384 p.
20. Bijttebier J, Hamerlinck J, Moakes S, Scollan N, Van Meensel J, Lauwers L. Low-input dairy farming in Europe: Exploring a context-specific notion. *Agric Syst* 2017;156(Supplement C):43-51.
21. Potter TJ, Guitian J, Fishwick J, Gordon PJ, Sheldon IM. Risk factors for clinical endometritis in postpartum dairy cattle. *Theriogenology* 2010;74(1):127-134.
22. Biuk-Rudan N, Cvetnić S, Madic J, Rudan D. Prevalence of antibodies to IBR and BVD viruses in dairy cows with reproductive disorders. *Theriogenology* 2018;51(5):875-881.
23. Mineo TW, Alenius S, Näslund K, Montassier HJ, Björkman C. Distribution of antibodies against *Neospora caninum*, BVDV and BHV-1 among cows in Brazilian dairy herds with reproductive disorders. *Rev Bras Parasitol Vet* 2006 Oct 1:188-192.
24. Ojeda-Carrasco Juan José, Espinosa-Ayala Enrique, Hernández-García Pedro Abel, Rojas-Martínez Carmen, Álvarez-Martínez Jesús Antonio. Seroprevalencia de enfermedades que afectan la reproducción de bovinos para leche con énfasis en neosporosis. *Eco Rec Agro* 2016; 3(8):243-249.
25. Garcia-Vazquez Z, Rosario-Cruz R, Ramos-Aragon A, Cruz-Vazquez C, Mapes-Sanchez G. *Neospora caninum* seropositivity and association with abortions in dairy cows in Mexico. *Vet Parasitol* 2005;134(1):61-65.
26. Bartels CJM, Wouda W, Schukken YH. Risk factors for neospora caninum-associated abortion storms in dairy herds in The Netherlands (1995 to 1997) *Theriogenology* 1999;52(2):247-257.
27. Hobson JC, Duffield TF, Kelton D, Lissemore K, Hietala SK, Leslie KE, *et al.*, Risk factors associated with *Neospora caninum* abortion in Ontario Holstein dairy herds. *Vet Parasitol* 2005;127(3):177-188.
28. Magaña-Urbina A, Solorio Rivera JL, Segura-Correa JC. Rinotraqueitis infecciosa bovina en hatos lecheros de la región Cotzio-Téjaro, Michoacán, México. *Téc Pecu Méx* 2005;43(1):27-37.
29. Solorio Rivera JL. Análisis de riesgo de enfermedades abortivas en el sistema de lechería familiar en la región centro del estado de Michoacán. [Tesis doctoral]. México. Universidad Autónoma de Yucatán. 2004.
30. Segura-Correa JC, Solorio-Rivera JL, Sánchez-Gil LG. Seroconversion to bovine viral diarrhoea virus and infectious bovine rhinotracheitis virus in dairy herds of Michoacan, Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2010;42(2):233-238.

31. Pulido-Medellín MO, Díaz-Anaya AM, Andrade-Becerra RJ. Asociación entre variables reproductivas y anticuerpos anti *Neospora caninum* en bovinos lecheros de un municipio de Colombia. *Rev Mex Cienc Pecu* 2017;8(2):167-174.
32. Ansari-Lari M, Rowshan-Ghasrodashti A, Jesmani H, Masoudian M, Badkoobeh M. Association of *Neospora caninum* with reproductive performance in dairy cows: A prospective study from Iran. *Vet Res Forum* 2017 15;8(2):109-114.
33. Mee JF. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: A review. *Vet J* 2008 Apr 1;176(1):93-101.
34. Kane SE, Holler LD, Braun LJ, Neill JD, Young DB, Ridpath JF, Chase CCL. Bovine viral diarrhoea virus outbreak in a beef cow herd in South Dakota. *J Am Vet Med Assoc* 2015;246(12):1358-1362.
35. Ali TE, Burnside EB, Schaeffer LR. Relationship Between External Body Measurements and Calving Difficulties in Canadian Holstein-Friesian Cattle. *J Dairy Sci* 1984;67(12):3034-3044.
36. Abo-Ismael MK, Brito LF, Miller SP, Sargolzaei M, Grossi DA, Moore SS, *et al.*, Genome-wide association studies and genomic prediction of breeding values for calving performance and body conformation traits in Holstein cattle. *Genet Sel Evol* 2017;49(1):82.
37. Kovács L, Kézér FL, Szenci, O. Effect of calving process on the outcomes of delivery and postpartum health of dairy cows with unassisted and assisted calvings. *J Dairy Sci* 2016;99(9):7568-7573.
38. Sibhat B, Ayelet G, Skjerve E, Gebremedhin EZ, Asmare K. Bovine herpesvirus-1 in three major milk sheds of Ethiopia: Serostatus and association with reproductive disorders in dairy cattle. *Prev Vet Med* 2018;150:126-132.
39. Gould S, Cooper VL, Reichardt N, O'Connor AM. An evaluation of the prevalence of Bovine herpesvirus 1 abortions based on diagnostic submissions to five U.S.-based veterinary diagnostic laboratories. *J Vet Diagnostic Investig* 2013 Mar 1;25(2):243-247.
40. Burnett TA, Madureira AML, Silper BF, Fernandes ACC, Cerri RLA. Integrating an automated activity monitor into an artificial insemination program and the associated risk factors affecting reproductive performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 2018 Mar 1;100(6):5005-5018.
41. Stevenson JS. Reproductive Management of Dairy Cows in High Milk-Producing Herds. *J Dairy Sci* 2018 Mar 1;84:E128-143.
42. Grooms DL. Reproductive consequences of infection with bovine viral diarrhoea virus. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2004;20:5-19.
43. González-Altamiranda EA, Kaiser GG, Mucci NC, Verna AE, Campero CM, Odeón AC. Effect of bovine viral diarrhoea virus on the ovarian functionality and in vitro reproductive performance of persistently infected heifers. *Vet Microbiol* 2013;165:326-332.
44. Szumilas M. Explaining odds ratios. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry* 2010 Aug;19(3):227.
45. De Kruif A. Factors influencing the fertility of a cattle population. *J Reprod Fertil* 1978 Nov 1;54(2):507-518.
46. Mottram T. Animal board invited review: Precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal* 2016;10(10):1575-1584.
47. Chebel RC, Al-Hassan MJ, Fricke PM, Santos JEP, Lima JR, Martel CA, *et al.*, Supplementation of progesterone via controlled internal drug release inserts

- during ovulation synchronization protocols in lactating dairy cows¹. *J Dairy Sci* 2010;93(3):922-931.
48. Fricke PM, Carvalho PD, Giordano JO, Valenza A, Lopes G, Amundson MC. Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. *Animal* 2014;8(s1):134-143.
49. Virakul P, Fahning ML, Joo HS, Zemjanis R. Fertility of cows challenged with a cytopathic strain of Bovine Viral Diarrhea virus during an outbreak of spontaneous infection with a noncytopathic strain. *Theriogenology* 2018 Mar 1;29(2):441-449.
50. Houe H, Pedersen KM, Meyling A. The effect of bovine virus diarrhoea virus infection on conception rate. *Prev Vet Med* 1993;15(2):117-123.
51. McGowan MR, Kirkland PD, Richards SG, Littlejohns IR. Increased reproductive losses in cattle infected with bovine pestivirus around the time of insemination. *Vet Rec* 1993 Jul 10;133(2):39-43.

Cuadro 1. Seroprevalencias para Neosporosis, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina (IBR) y Diarrea Viral Bovina (BVD) en 52 establos de producción de leche a pequeña escala en México.

	Media ± EE	Mínimo	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máximo
Neosporosis	52.7±4.5	0	33	50	84	100
IBR	23.3±1.8	0	0	23.5	38	75
BVD	59.7±3.2	0	28	75	100	100

Cuadro 2. Valor de probabilidad (P) y Razón de momios (OR) para factores potenciales de riesgo considerando diferentes eventos de interés; análisis de regresión logística simple.

Factores potenciales de riesgo	Eventos de interés				
	Asistencia al parto P ; OR	Retención placentaria P ; OR	DPS>70 P ; OR	DA>110 P ; OR	NG1S P ; OR
IA	0.048; 0.67	0.072; 0.68	<0.001; 2.39	0.054; 1.32	0.162; 0.82
Establos ≥33 vacas	0.090; 1.52	0.821; NC	0.853; NC	0.823; NC	0.001; 1.69
Neosporosis alta	<0.001; 2.29	0.099; 0.64	0.414; NC	0.357; NC	0.718; NC
IBR alta	0.202; 1.32	0.005; 0.42	0.169; 1.25	0.484; NC	0.916 NC
BVD alta	0.010; 0.46	0.793; NC	<0.001; 1.86	0.553; NC	0.049; 0.72

IA, Inseminación artificial; DPS>70, Días a primer servicio mayor a 70 días en leche; DA>110, Días abiertos mayores a 110 días en leche; NG1S, Vacas no gestantes al primer servicio; NC, indica OR no calculado por no ser significativo.

Cuadro 3. Factores potenciales de riesgo no colineales para eventos de interés incluidos en modelos múltiples.

Evento de interés	Modelo	Factores potenciales de riesgo
Asistencia al parto	1	IA + IBR Alta
	2	Establos ≥33 vacas + Neosporosis alta
	3	BVD alta
Retención placentaria	1	IA + Neosporosis alta
	2	IA + IBR alta
DPS>70 días	1	IA + IBR alta
	2	BVD alta + IBR alta
DA>110	1	IA
NG1S	1	Establos ≥33 vacas
	2	BVD alta
	3	IA

DPS>70, Días a primer servicio mayor a 70 días en leche; DA>110, Días abiertos mayores a 110 días en leche; NG1S, Vacas no gestantes al primer servicio; IA, Inseminación artificial; BVD, Diarrea Viral Bovina; IBR, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina.

Cuadro 4. Efecto de variables de estudio sobre asistencia al parto y retención de placenta en modelos múltiples.

Variable de interés	Efectos	OR	IC 95%	P
Asistencia al parto				
Modelo 1	Tipo de servicio: MN	Ref.	N/A	N/A
	Tipo de servicio: IA	0.67	0.45-0.99	0.048
Modelo 2	Tamaño del hato: <33 vacas	Ref.	N/A	N/A
	Tamaño del hato: ≥33 vacas	1.51	0.93-2.45	0.090
	Neosporosis: Resto	Ref.	N/A	N/A
Modelo 3	Neosporosis: Alta	2.28	1.52-3.40	<0.001
	BVD: Resto	Ref.	N/A	N/A
	BVD: Alta	0.46	0.26-0.83	0.010
Retención placentaria				
Modelo 1	Tipo de servicio: MN	Ref.	N/A	N/A
	Tipo de servicio: IA	0.68	0.45-1.04	0.072
Modelo 2	Tipo de servicio: MN	Ref.	N/A	N/A
	Tipo de servicio: IA	0.66	0.43-1.01	0.055
	IBR: Resto	Ref.	N/A	N/A
	IBR: Alta	0.41	0.23-0.75	0.004

MN, Monta natural; IA, Inseminación artificial; BVD, Diarrea Viral Bovina; IBR, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina; P, valor de probabilidad; IC, Intervalo de confianza de razón de momios; OR, Razón de Momios; N/A, no aplicable.

Cuadro 5. Efecto de variables de estudio sobre días a primer servicio (DPS>70), días abiertos (DA>110) y no gestante al primer servicio (NG1S) con diferentes modelos múltiples.

Variable de interés	Efectos	OR	IC 95%	P
DPS>70				
Modelo 1	Tipo de servicio: MN	Ref.	N/A	N/A
	Tipo de servicio: IA	2.42	1.81-3.2	<0.001
	IBR: Resto	Ref.	N/A	N/A
	IBR: Alta	1.32	0.95-1.84	0.097
Modelo 2	BVD: Resto	Ref.	N/A	N/A
	BVD: Alta	1.86	1.31-2.64	<0.001
DA>110				
Modelo 1	Tipo de servicio: MN	Ref.	N/A	N/A
	Tipo de servicio: IA	1.32	0.99-1.8	0.054
NG1S				
Modelo 1	Tamaño del hato: <33 vacas	Ref.	N/A	N/A
	Tamaño del hato: ≥33 vacas	1.69	1.23-2.32	0.001
Modelo 2	BVD: Resto	Ref.	N/A	N/A
	BVD: Alta	0.72	0.52-1.00	0.049

P, valor de probabilidad; IC, Intervalo de confianza de razón de momios; MN, Monta natural; IA, Inseminación artificial; BVD, Diarrea Viral Bovina; IBR, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina; OR, Razón de Momios; N/A, no aplicable.

5. CAPÍTULO 3: BODY CONDITION SCORE AND MILK PRODUCTION ON CONCEPTION RATE OF COWS ON SMALL-SCALE DAIRY FARMS

Luis Javier Montiel-Olguín, Felipe J Ruíz-López, Miguel Mellado, Eliab Estrada-Cortés, Sergio Gómez-Rosales, Juana Elizabeth Elton-Puente and Héctor Raymundo Vera-Ávila.

Abstract - The objective was to determine the effect of body condition score (BCS) and milk production on conception rate to first service in small-scale dairy farms of western Mexico. Multiple logistic regression models were used to determine the effect of BCS at calving, at first service and its change, 60-d and 305-d milk production, milk protein and fat production, lactation number and days at first service on conception rate to first service. Conception rate to first service was not affected by BCS at calving in cows with three or more lactations (39.5%; $P>0.1$). However, first-lactation cows with BCS <3.0 at calving and second lactation cows with BCS ≤ 2.5 at calving had higher conception rate to first service ($P<0.1$; 63.2 and 67.9%, respectively). BCS ≤ 2.5 at calving was associated ($P<0.05$) with a reduced milk yield, explaining partially the observed higher conception rate to first service in these groups. Cows with BCS ≤ 2.5 at first service in the higher quartile of 60-d milk production (≥ 28 kg/day) showed lower conception rate to first service ($P<0.01$; 23.9% vs 51.1%). In conclusion, BCS at calving and at first service, lactation number and 60-d milk production are factors associated with conception rate to first service.

Index terms: Bos taurus, reproduction, dairy cattle, lactation number, milk production

Título Escore de condição corporal e produção leiteira sobre a taxa de concepção em vacas em fazendas leiteiras de pequeno porte

Resumo - O objetivo foi determinar o efeito do escore de condição corporal (ECC) e a produção de leite na taxa de concepção ao primeiro serviço em fazendas de pequeno porte na México ocidental. Modelos de regressão logística múltipla foram usados para determinar o efeito do ECC ao parto, ao primeiro serviço, variação do ECC entre o parto e o primeiro serviço, produção de leite aos 60 e 305 dias de lactação, concentração de proteína e gordura no leite, número de lactações e dias ao primeiro serviço na taxa de concepção ao primeiro serviço. A taxa de concepção ao primeiro serviço não foi afetada pelo ECC ao parto em vacas com 3 ou mais lactações (39.5%; $P>0.1$), entretanto, vacas primíparas com ECC <3.0 e secundíparas com ECC ≤ 2.5 ao parto, apresentaram maior taxa de concepção ao primeiro serviço ($P<0.1$; 63.2 e 67.9%, respectivamente). ECC ≤ 2.5 ao parto foi associado ($P<0.05$) com redução da

produção de leite, o que explica parcialmente a maior taxa de concepção observada ao primeiro serviço nesses grupos. Vacas com ECC ≤ 2.5 ao primeiro serviço alocadas no quartil superior de produção de leite aos 60-d em lactação ($\geq 28\text{kg}/\text{dia}$) apresentaram menores taxa de concepção ao primeiro serviço ($P < 0.01$; 23.9% vs 51.1%). Em conclusão, ECC ao parto e ao primeiro serviço, número de lactações e produção de leite aos 60 dias em lactação são fatores associados com a taxa de concepção ao primeiro serviço.

Termos para indexação: *Bos taurus*, reprodução, vacas leiteiras, número de lactações, produção de leite

Introduction

Improving milk yield of small-scale dairy farms offer possibilities to reduce poverty and improve the incomes and livelihoods for producers in rural areas (Hemme & Otte, 2010; Jouzi *et al.*, 2017). It is estimated that around 150 million of small-scale dairy farms exist worldwide and that approximately 750 million people directly depend on this activity (Hemme & Otte, 2010). Also, small-scale milk production systems improve food security and nutrition of rural communities and provide intangible social benefits to the society (Zamudio *et al.*, 2003). Mexico is the 14th milk producer worldwide and the second in Latin America (FAO Stats, 2018). Furthermore, the small-scale milk production farms approximately contribute 30% of the marketed national milk production (Hemme, 2007), owns approximately 23% of the cattle inventory (SAGARPA, 2004) and represent 73% of dairy herds in the country (Hemme, 2007). Despite the importance of the small-scale dairy system, these farms operate under suboptimal production parameters which compromise their subsistence (Posadas-Dominguez *et al.*, 2014; Vázquez-Selem *et al.*, 2016).

Conception rate to first service is strongly associated with the profitability of dairy farms (Inchaisri *et al.*, 2010). Furthermore, this variable allows to monitor general reproductive performance, particularly the efficiency and accuracy of *estrus detection* and proper management during the postpartum period. In large-scale dairy systems conception rate to first service is affected by body condition score (BCS) at calving and at first service (Roche *et al.*, 2009; Bedere *et al.*, 2018), milk production levels (Fouz *et al.*, 2011; Bedere *et al.*, 2018), milk fat and protein content (Buckley *et al.*, 2003) and lactation number (Buckley *et al.*, 2003). However, small-scale dairy farms have different

management and productive characteristics; for example, the diets are inadequate for maximum milk yield (Vera *et al.*, 2009; Martínez-García *et al.*, 2015) and consequently these exploitations are characterized by low milk production (Val-Arreola *et al.*, 2004). These constraints impact conception rate to first service in this production system but the impact of these limitations on cows' fertility have seldom been studied. Determining the impact of these factors on the reproductive efficiency of cows would allow implementing strategies to improve profitability of these dairy farms.

Therefore, the objective of this study was to determine the effect of BCS, milk production and composition, lactation number and days to first service on conception rate to first service. An additional objective was to determine the effect of BCS at calving on milk production.

Materials and methods

Farms selection, housing and feeding

A prospective cohort study was conducted in western Mexico, in Los Altos area (20°49'01"N, 102°43'59"O, 1800m ASL) in the Jalisco state. This area contributes 19% of total national milk production, being the most important state in milk production in Mexico (SIAP, 2018). Additionally, 60% of milk produced in this region comes from small-scale dairy farms (SAGARPA, 2004). The weather is temperate and sub-humid with temperatures minimum and maximum of 4.2 and 31.6°C, respectively. Twenty-three dairy farms were included in the study based on the fulfillment of four criteria; (1) exclusively family labor, (2) herd size between 10 and 100 milking cows, (3) milk production as the main purpose, and (4) intermediate machine milking level. Regarding herd structure, cows of first, second, third and fourth or more lactations represented 28.7, 25.1, 14.7 and 31.5% of cows included in the study, respectively.

Cows were housed in open-air, dirt-floor pens and they had unlimited access to fresh water. Cows were milked twice daily at 0500 and 1700h and the average annual rate of milk production per cow was 6688 kg. Nutritional management details have been described elsewhere (Arias Chávez *et al.*, 2014) and two groups are identified according to nutritional management; confinement and pasture-based system. A total mixed ration was provided in farms with confined cows and farms with cows on pasture were supplemented with corn stubble or corn silage and commercial concentrates when pasture supply was

limited. For both groups, the nutritional quality of diets has been reported as inadequate for the production potential of cows under this system (Arias Chávez *et al.*, 2014; Martínez-García *et al.*, 2015).

Reproductive management

All cows were not vaccinated against infectious diseases impairing the reproduction function. Herd owners examined fresh cows to identify and treat animals with postpartum reproductive disorders, such as retained placenta and clinical metritis. Direct observation of estrus was used for heat detection during one hour in the morning and one in the afternoon. Breeding began following a 45-day voluntary waiting period. Cows in estrus in herds using artificial insemination were submitted for service following an am-pm rule. Farms with natural breeding kept the bulls with cows permanently. Pregnancy diagnoses were performed at 55 ± 3 days post service by rectal palpation of the uterine contents.

Data management

During 18 months the following reproductive events were recorded: date of calving and first service, body condition score at calving and first service and the outcome of pregnancy diagnosis. Three experienced technicians scored body condition using a scale of five points (1-5, being 1 emaciated and 5 obese, with intervals of 0.25-point fractions). The change in BCS was obtained by subtracting the BCS at calving from BCS at first service. For the analysis of the milk production and components, databases of BNIL (National Bank of Dairy Information) were used. These databases are part of the National Genetic Improvement Program financed by federal resources for genetic improvement of cows and to enhance the profitability of dairy farms in Mexico. The analyzed variables were milk production at 60 days in milk (60dim) and the standardized production of milk, fat and protein at 305 days. Data of cows with less than three records were eliminated to obtain a more precise standardized calculation. For the final analysis, 279 lactations were obtained with complete information for all the variables of interest.

Classification of variables

A pragmatic categorization by quartiles was used according to the distributions of the sample (Bijttebier *et al.*, 2017). Table 1 shows the limit values for the categories of each variable. Each variable was classified in three categories considering the limit values of quartiles 1 and 3, with the rationale of

comparing the extreme values of the samples' distribution (Bijttebier *et al.*, 2017). The quartile distributions of the variables BCS at first service and change in BCS allowed to classify only two categories. For lactation number, categories 1, 2, 3 and 4 lactations or more were considered.

Statistical analysis

All analyzes were performed using SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Multiple logistic regression models with non-collinear regressors were used to determine the effect of the independent variables on conception rate to first service according to the methodology proposed by Potter *et al.*, (2009). The first step was to perform simple logistic regression models with the LOGISTIC procedure of SAS between study variables and conception rate to first service. The level of significance used to retain variables that would be part of the multiple models was set at $P \leq 0.35$ (Potter *et al.*, 2010). From the simple logistic regression analyzes, odds ratios (OR) were obtained as a measure of association between the study variables and conception rate to first service. Subsequently, to avoid collinearity in the multiple models, correlation coefficients were obtained in paired tests between the retained factors with the FREQ procedure option CHISQ of SAS. When the confidence limits of the correlation coefficient did not include 0 (indicating collinearity), both variables were not included in the same multiple model. Finally, to obtain the most parsimonious models, the backward option of the LOGISTIC procedure of SAS was used to eliminate non-significant independent variables and/or interactions at $P > 0.1$ (Potter *et al.*, 2010). To determine the effect of BCS at calving on 60-d and 305-d milk production, χ^2 tests were used (FREQ procedure CHISQ option of SAS). For this analysis, $P < 0.05$ was the threshold for declaring statistical significance and values $P < 0.1$ were considered as trend indicators.

Results and Discussion

In the present study, overall conception rate to first service was 46.6% (130/279); ~4% below optimum suggested for this production system (Vera *et al.*, 2009). The rationale for this study was that factors influencing conception to first service in cows on technified dairy systems would not impact cows on small-scale dairy farms given differences in management conditions and productive characteristics. However, the factors retained to be part of the multiple models were lactation number, BCS at calving, BCS at first service, milk production at

60dim and 305d standardized protein (Tables 2 and 3). The results of multiple logistic regression analysis indicated that in model 1, the interaction number of lactation and BCS at calving was significant ($P=0.096$, Table 4). In model 2, the main effect BCS at first service and the interaction BCS at first service and milk production at 60dim were significant ($P<0.1$, Table 4). Our results indicate that conception rate to first service was not affected by BCS at calving in cows with three or more lactations (Figure 1, A). However, first-lactation cows with BCS at calving <3.0 and second lactation cows with BCS ≤ 2.5 had higher conception rate to first service. This result seems contradictory and apparently is because first and second-lactation cows with low BCS at calving were first serviced later in lactation (104.5 ± 6.1 vs 90.7 ± 5.6 DIM), which could increase the probability of getting pregnant. Another explanation is that cows with low BCS at calving have limited body energy reserves which limits milk yield and this leads to a mild negative energy balance (López-Gatius *et al.*, 2003; Grimard *et al.*, 2006; Bedere *et al.*, 2018). Although in the present study we did not determine the nadir in BCS postpartum, the average change in BCS between calving and first service was 0.1 units (Table 1), suggesting that the depth of the negative energy balance in these cows is much lower than those observed in intensive dairy systems (Roche *et al.*, 2009; Bedere *et al.*, 2018). Therefore, it is likely that cows with lower BCS at calving, without a deep negative energy balance and without the metabolic stress that generates high milk yields showed higher conception rate to first service. This hypothesis is supported by the finding that 48% of cows in the lower quartile of 60-d milk production calved with BCS ≤ 2.5 (Figure 2, A). Taken together, these results suggest that lactation number, BCS at calving and 60-d milk production influence conception rate to first service in cows under this medium-input dairy system.

In highly technified milk production systems, BCS at first service and the production level impact conception rate at first service (Bedere *et al.*, 2018). It has been previously reported that BCS at first service is positively associated with conception rate (López-Gatius *et al.*, 2003; Carvalho *et al.*, 2014). Our results are consistent with these studies; cows with higher BCS at first service in the small-scale dairy system showed higher conception rate to first service (Figure 1, B). On the other hand, in cows with low BCS at first service in the higher quartile of 60-d milk production presented lower conception rate at first service. These

results were also expected because of the negative association between milk production and conception rate to first service (Grimard *et al.*, 2006; Cutullic *et al.*, 2012). Taken together, this information suggests that conception rate decreased in cows with low BCS at first service and this effect is exacerbated when individual milk production levels are high. Consequently, a practical suggestion for increasing conception rate in this particular small-scale milk production system is to provide the first service to cows with a BCS ≥ 2.75 (regardless of the milk production level).

Regarding the effect of BCS at calving on milk production; BCS at calving had a significant effect on milk production at 60dim ($P < 0.05$, Figure 2, A), while a statistical trend was observed for 305d standardized milk production ($P = 0.055$, Figure 2, B). In other production systems there has been a quadratic effect of the BCS at calving on 60-d and 305-d milk production (Berry *et al.*, 2007; Roche *et al.*, 2007). These studies have reported that the lower BCS at calving the lower milk production due to a reduced total energy (ingested + stored) available for milk production (Roche *et al.*, 2009). On the other hand, cows with higher BCS at calving present a reduced dry matter intake (Esposito *et al.*, 2014). This leads to a greater mobilization of body energy reserves, a higher incidence of metabolic problems and lower milk production (Esposito *et al.*, 2014; Vanholder *et al.*, 2015). In the present study, the quadratic effect could not be evaluated because of the reduced number of thin and obese cows recruited for this study. However, the strategy for the categorization by quartiles of the present study allowed to identify the association between BCS at calving and 60-d and 305-d milk production. The highest proportion of cows in the lower quartile of 60-d and 305-d milk production had a BCS ≤ 2.5 at calving (48% in both). Conversely, the proportion of cows in the higher quartile of the distribution for 60-d milk production was higher for cows with a BCS ≥ 3.0 at calving (43%). These results were expected since body energy reserves (measured through the BCS) are a key factor in milk production (Berry *et al.*, 2007; Roche *et al.*, 2007). On the other hand, in this production system, cows with low BCS at calving (≤ 2.5 , 36.6% in this study) are common, due to the inadequate daily energy intake of these cows. Additionally, low BCS at calving (≤ 2.5) is one of the main risk factors associated with reproductive performance in small-scale dairy farms (Montiel-Olguín *et al.*, 2018). Therefore, we consider that more studies are needed to understand the

partition of energy (energy available for production and reproduction), to determine the incidence of metabolic problems and to evaluate the impact on profitability in cows with low BCS at calving and with moderate levels of milk production.

Conclusions

It is concluded that, in small-scale dairy farms of western Mexico, (1) high or low BCS at calving do not alter conception rate to first service in cows with three or more lactations. However, (2) it is observed that low BCS increases first-service conception rate in first and second-lactation cows. Also, (3) high BCS at calving is positively associated with 60-d and 305-d milk production.

Acknowledgments

To the Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SAGARPA-CONACYT), for supporting this work.

Table 1. Descriptive statistics for body condition, milk production, milk components and days to first service in 24 small-scale milk production farms in western Mexico (279 lactations).

Variable	Mean + SEM	Q1	Median	Q3
Body condition score at calving	2.7±0.02	2.5	2.75	3
Body condition score at first service	2.6±0.01	2.5	2.75	2.75
Change in body condition score	0.1±0.02	0	0	0.25
Daily milk yield at 60 DIM (kg/d)	22.8±0.46	17	22	28
305-d milk production (kg)	6688±114	5450	6665	7920
305-d milk fat yield (kg)	192.7±7.12	134	220	267
305-d milk protein yield (kg)	169.0±6.06	122	193	234
Days postpartum to first service	84.2±2.37	54	77	105

Q1, lower quartile; Q3, higher quartile; SEM, standard error mean; DIM, days in milk.

Table 2. Probability values and odds ratios between study variables and conception rate to first service; analysis of simple models.

Variable	P-value	Categories	OR	95%CI
Lactation number	0.093*	1	Ref.	-
		2	0.66	0.35-1.26
		3	0.52	0.24-1.12
		4+	0.47	0.25-0.86
Body condition score at calving	0.325*	Q1 (≤ 2.5)	Ref.	-
		Me ($>2.5 - <3.0$)	0.88	0.50-1.55
		Q3 (≥ 3.0)	0.65	0.36-1.15
Body condition score at first service	0.048*	Q1 (≤ 2.5)	Ref.	-
		MeQ3 (>2.5)	1.62	1.01-2.61
Change in body condition score	0.890	Non-significant		
Daily milk yield at 60 DIM (kg/d)	0.070*	Q1 (≤ 17)	Ref.	-
		Me ($>17 - <28$)	1.09	0.62-1.94
		Q3 (≥ 28)	0.56	0.29-1.08
305-d milk yield	0.516	Non-significant		
305-d milk fat yield	0.934	Non-significant		
305-d milk protein yield	0.144*	Q1 (≤ 122)	Ref.	-
		Me ($>122 - <234$)	1.34	0.78-2.31
		Q3 (≥ 234)		0.38-1.41
Days postpartum to first service	0.965	Non-significant		

OR, odds ratio; 95%CI, 95% confidence interval; Q1, lower quartile; Q3, higher quartile; Me, values between Q1 and Q3; DIM, days in milk; Ref., reference; *level of significance for simple models was set at $P < 0.35$.

Table 3. Multiple models with non-collinear regressors for conception rate to first service.

Model	Regressors
1	Lactation number + BCS at calving + standardized protein
2	BCS at first service + daily milk yield at 60 DIM

Table 4. Results of logistic regression analysis for conception rate to first service; models 1 and 2.

Model	Variable	DF	Wald χ^2	P
1	Lactation number	3	5.878	0.118
	BCS at calving	2	1.459	0.482
	Lactation number and BCS at calving	6	10.755	0.096*
2	BCS at first service	1	5.988	0.014*
	Daily milk yield at 60 DIM	2	3.348	0.188
	BCS at first service and milk yield at 60 DIM	2	5.610	0.061*

DF, degrees of freedom; P, p-value; *Level of significance for multiple models was set at $P < 0.1$.

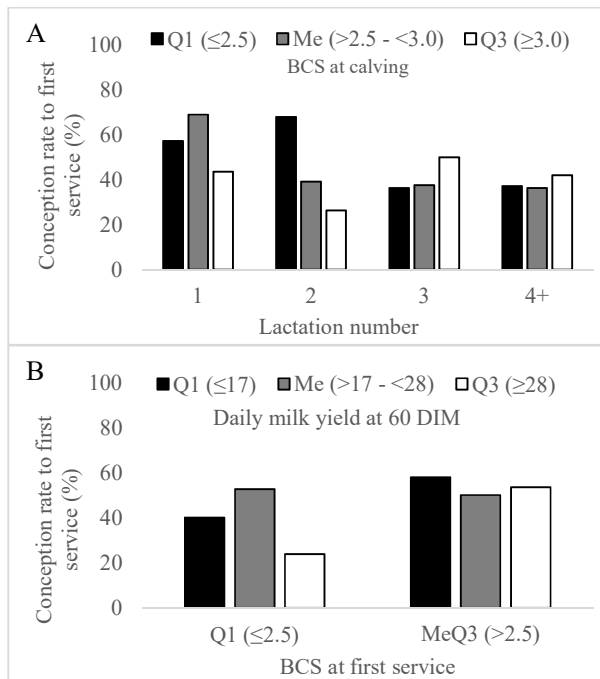


Figure 1. Significant interactions in multiple models of conception rate to first service. A) Significant interaction in model 1, lactation number and BCS at calving ($P=0.096$); B) Significant interaction in model 2, BCS at first service and daily milk yield at 60 DIM ($P=0.061$).

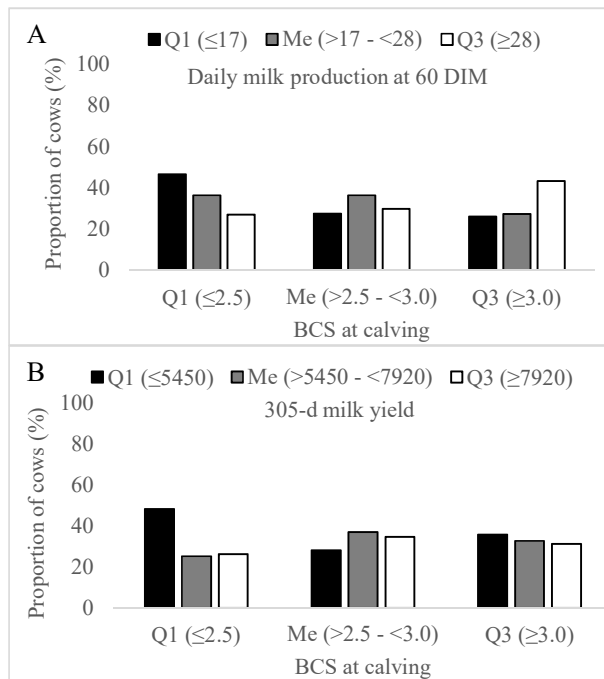


Figure 2. Frequencies at each level of production, according to the BCS at calving on the proportion of cows according to the level of milk production in small-scale dairy farms in western Mexico. A, relationship between BCS at calving and daily milk production at 60 DIM ($P < 0.05$); B, relationship between BCS at calving and 305-d milk yield ($P = 0.055$).

6. CONCLUSIONES GENERALES

El desempeño reproductivo de los establos del sistema de producción de leche a pequeña escala en México es moderadamente subóptimo. Aunque los días al primer estro son tardíos, los días a primer servicio, días abiertos y la tasa de concepción al primer servicio superan ligeramente el rango óptimo sugerido para este sistema de producción en México. Además, las tasas de asistencia al parto y retención de placenta, así como la tasa de abortos son también moderadamente altas en comparación con los valores límite propuestos para este sistema. Sin embargo, la variabilidad observada en los indicadores (valores mínimos y máximos) representa una oportunidad para mejorar el desempeño reproductivo en este sistema.

Los principales factores de riesgo a nivel de individuo asociados con el desempeño reproductivo son, en orden de importancia, la asistencia al parto, el sexo de la cría macho, la condición corporal al parto baja (≤ 2.5) y la retención placentaria. Esta información sugiere que el sexo de la cría macho y la condición corporal al parto baja desencadenan una cascada de eventos que afectan los indicadores del desempeño reproductivo. (1) Como componente biológico, el sexo de la cría macho es el principal factor de riesgo asociado a la asistencia al parto; (2) la asistencia al parto y el sexo de la cría macho son principales factores de riesgo para retención de placenta; (3) la retención de placenta y la condición corporal baja al parto son los principales factores de riesgo para días abiertos prolongados y (4) la retención de placenta es un factor de riesgo para vacas no gestantes al primer servicio. Por lo tanto, el sexo de la cría macho y la condición corporal al parto son objetivos estratégicos para mejorar el desempeño reproductivo.

Por otra parte, los factores a nivel de establo que impactan los indicadores del desempeño reproductivo son la inseminación artificial, el tamaño de los hatos (33 o más vacas) y las seroprevalencias altas de Neosporosis, Rinotraqueítis Infecciosa Bovina y Diarrea Viral Bovina. Los hatos grandes están asociados con la asistencia al parto y no gestantes al primer servicio, mientras que la inseminación artificial está asociada a días a primer servicio tardíos y días abiertos prolongados. Con base en esta información, los extensionistas (y los programas de capacitación) pudieran enfatizar la importancia de la atención al

parto en establos con más de 30 vacas. Además, el hecho de que el uso de la inseminación artificial sea un factor de riesgo para días a primer servicio tardíos y días abiertos prolongados sin afectar la fertilidad a primer servicio, resalta la necesidad de mejorar la identificación de estros y/o la implementación de protocolos de sincronización para el primer servicio *ad hoc* para el sistema de producción de leche a pequeña escala en el país (a bajo costo, manejo mínimo y que mantenga la tasa de concepción actual). Los resultados referentes a la asociación de las enfermedades infecciosas con el desempeño reproductivo son también un recordatorio sobre la vital importancia de prevenirlas en este sistema debido a que están ampliamente distribuidas en establos lecheros en el país según indican las prevalencias observadas en este estudio.

Finalmente, este estudio destaca la importancia de explorar el efecto de las interacciones, lo cual permite hacer inferencias y recomendaciones más precisas. La condición corporal al parto no altera la tasa de concepción al primer servicio en vacas con tres o más lactaciones (no así en vacas de primera y segunda lactación) y la condición corporal al parto está asociada positivamente con la producción de leche durante la lactación temprana. Por otra parte, en vacas con condición corporal al primer servicio >2.5 la tasa de concepción no se ve afectada (independientemente de los niveles de producción). Sin embargo, la baja condición corporal al primer servicio (≤ 2.5) impacta negativamente la tasa de concepción en vacas altas productoras. Una recomendación práctica es que la condición corporal a parto y al primer servicio sean ≥ 2.75 para no comprometer la producción de leche y la tasa de concepción.

8. LITERATURA CITADA

- Abrego Castillo, H. (2011). El sistema familiar de producción de leche bovina en el municipio de Nopalucan, Puebla. Colegio de Postgraduados-Campus Puebla.
- Arias Chávez, L.E., Bonilla Cárdenas, J.A., Villareal Rodas, J.H., Núñez Hernández, G. & Basurto Gutiérrez, R. (2014). Calidad nutricional de ingredientes y consumo de materia seca del ganado en sistemas de lechería familiar en Los Altos de Jalisco. In: Memoria de la XXVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED, 9, 2014, Durango, México. 796-801.
- Bedere, N., Cutullic, E., Delaby, L., Garcia-Launay, F., & Disenhaus, C. (2018). Meta-analysis of the relationships between reproduction, milk yield and body condition score in dairy cows. *Livestock Science*, 210, 73–84.
- Berry, D. P., Lee, J. M., Macdonald, K. A., & Roche, J. R. (2007). Body Condition Score and Body Weight Effects on Dystocia and Stillbirths and Consequent Effects on Postcalving Performance. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4201–4211.
- Bijttelier, J., Hamerlinck, J., Moakes, S., Scollan, N., Van Meensel, J., & Lauwers, L. (2017). Low-input dairy farming in Europe: Exploring a context-specific notion. *Agricultural Systems*, 156(Supplement C), 43–51.
- Buckley, F., O’Sullivan, K., Mee, J. F., Evans, R. D., & Dillon, P. (2003). Relationships Among Milk Yield, Body Condition, Cow Weight, and Reproduction in Spring-Calved Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science*, 86(7), 2308–2319.
- Camacho-Vera, J. H., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangél, M. I., Rosales-Noriega, F., & Vargas-Canales, J. M. (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 23–29.
- Canizal, J.E. & Rivera, M.S.E. (2007). Situación actual de la ganadería bovina para abasto en México. FMVZ-UNAM.
- Carvalho, P. D., Souza, A. H., Amundson, M. C., Hackbart, K. S., Fuenzalida, M. J., Herlihy, M. M., ... Wiltbank, M. C. (2014). Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3666–3683.
- Cutullic, E., Delaby, L., Gallard, Y., & Disenhaus, C. (2012). Towards a better understanding of the respective effects of milk yield and body condition dynamics on reproduction in Holstein dairy cows. *Animal*, 6(3), 476–487.
- Espinoza-Ortega, A., Álvarez-Macías, A., del Valle, M. D. C., & Chauvete, M. (2005). La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria México*, 43(1), 39–56.
- Esposito, G., Irons, P. C., Webb, E. C., & Chapwanya, A. (2014). Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 144(3), 60–71.
- FAOSTATS. Production of Milk, whole fresh cow. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL/visualize> Accessed on: 29 Jun. 2018.
- Fouz, Ramiro, Gandoy, Fernando, Sanjuán, María Luisa, Yus, Eduardo, & Diéguez, Francisco Javier. (2011). Factors associated with 56-day non-return rate in dairy cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(6), 648-654.

- García, L.A., Bottego, E.M. & Quintanal, H.S. (1998). La globalización de la industria lechera mexicana y las empresas agroalimentarias transnacionales. *Agroalimentaria* 1998;4(7):31-41.
- García-Muñiz, J. G., Mariscal-Aguayo, D. V., Caldera-Navarrete, N. A., Ramírez-Valverde, R., Estrella-Quintero, H., & Núñez-Domínguez, R. (2007). Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia*, 32(12), 841-846.
- Grimard, B., Freret, S., Chevallier, A., Pinto, A., Ponsart, C., & Humblot, P. (2006). Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. *Animal Reproduction Science*, 91(1), 31–44.
- Gröhn, Y. T., & Rajala-Schultz, P. J. (2000). Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 60–61(Supplement C), 605–614.
- Guevara, R.J.H., González, O.A.T. & Espinosa, G.J.A. (2007). GGAVATT Bovinos productores de leche Dobladense. En: González OTA, Espinosa GJA, Luna, E.A.A. compiladores. Casos exitosos GGAVATT Guanajuato 2006. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. México. Libro Técnico. p. 5-36.
- Han, Y. K., & Kim, I. H. (2005). Risk factors for retained placenta and the effect of retained placenta on the occurrence of postpartum diseases and subsequent reproductive performance in dairy cows. *Journal of Veterinary Science*, 6(1), 53-59.
- Hemme, T. (2007). IFCN Dairy Report 2007. International Farm Comparison Network. IFCN Dairy Research Center. Kiel, Germany.
- Hemme, T., & Otte, J. (2010). Status and prospects for smallholder milk production: a global perspective. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P. L. A. M., van der Weijden, G. C., & Hogeveen, H. (2010). Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*, 74(5), 835–846.
- Jiménez Jiménez, R. A., Espinosa Ortiz, V., & Soler Fonseca, D. M. (2014). El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*; Vol. 5, Núm. 1.
- Jouzi, Z., Azadi, H., Taheri, F., Zarafshani, K., Gebrehiwot, K., Van Passel, S. & Lebailly P. (2017). Organic farming and small-scale farmers: Main opportunities and challenges. *Ecological Economics*, 132,144-154.
- López-Gatius, F., López-Béjar, M., Fenech, M., & Hunter, R. H. F. (2005). Ovulation failure and double ovulation in dairy cattle: risk factors and effects. *Theriogenology*, 63(5), 1298–1307.
- López-Gatius, F., Yániz, J., & Madriles-Helm, D. (2003). Effects of body condition score and score change on the reproductive performance of dairy cows: a meta-analysis. *Theriogenology*, 59(3), 801–812.
- López-Gatius, F., Yániz, J., & Madriles-Helm, D. (2003). Effects of body condition score and score change on the reproductive performance of dairy cows: a meta-analysis. *Theriogenology*, 59(3), 801–812.

- Martínez-García, C. G., Rayas-Amor, A. A., Anaya-Ortega, J. P., Martínez-Castañeda, F. E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2), 331-337.
- Martínez-García, C. G., Ugoretz, S. J., Arriaga-Jordán, C. M., & Wattiaux, M. A. (2015). Farm, household, and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2), 311-316.
- Montiel-Olguín, L.J., Estrada-Cortés, E., Espinosa-Martínez, M.A., Mellado, M., ... & F.J.; Vera-Avila, H.R. (2018). Risk factors associated with reproductive performance in small-scale dairy farms in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. (In Press) DOI 10.1007/s11250-018-1681-9.
- Ojeda Carrasco, J.J., Brunett Pérez, L., Espinosa Ayala, E. & Álvarez Martínez, J.A. (2012). El aborto bovino: efectos productivos, económicos y sociales en la lechería en pequeña escala en el sur oriente del estado de México. In: 13rd. Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria. Puebla, Puebla, México, 537.
- Posadas-Domínguez, R. R., Arriaga-Jordán, C. M., & Martínez-Castañeda, F. E. (2014). Contribution of family labour to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46(1), 235-240.
- Potter, T. J., Guitian, J., Fishwick, J., Gordon, P. J., & Sheldon, I. M. (2010). Risk factors for clinical endometritis in postpartum dairy cattle. *Theriogenology*, 74(1), 127–134.
- Roche, J. R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Stafford, K. J., & Berry, D. P. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 5769-5801.
- Roche, J. R., Lee, J. M., Macdonald, K. A., & Berry, D. P. (2007). Relationships among body condition score, body weight, and milk production variables in pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3802-3815.
- Saavedra, J.L. (2014). The Dairy Show International, Guadalajara, México, 02 al 04 de Abril
- SAGARPA. (2004). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de ganado bovino en México 1900-2000. México, D.F.
- SAGARPA. (2005). Situación actual de la leche de bovino en México 2004. Gallardo NJL, Villamar AL, Pérez FH y Olivera CE.
- Santos, J. E. P., Rutigliano, H. M., & Filho, M. F. S. (2009). Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 110(3), 207–221.
- SIAP. (2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Available at: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria> Accessed on: 17 Mar. 2018.
- Silva Salas, M. A., Torres Cardona, M. G., Brunett Pérez, L., & Germán Peralta Ortiz, J. J. Jiménez Badillo, M. R. (2017). Evaluación de bienestar de vacas

lecheras en sistema de producción a pequeña escala aplicando el protocolo propuesto por Welfare Quality®. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 53–60.

Val-Arreola, D., Kebreab, E., Dijkstra, J., & France, J. (2004). Study of the Lactation Curve in Dairy Cattle on Farms in Central Mexico. *Journal of Dairy Science*, 87(11), 3789–3799.

Vanholder, T., Papen, J., Bemers, R., Vertenten, G., & Berge, A. C. B. (2015). Risk factors for subclinical and clinical ketosis and association with production parameters in dairy cows in the Netherlands. *Journal of Dairy Science*, 98(2), 880-888.

Vázquez-Selem, E., Aguilar-Barradas, U. & Villagómez-Cortés, J.A. (2016). Comparación de la eficiencia productiva y económica de grupos ganaderos organizados de doble propósito y de lechería familiar/semiespecializada, *Ciencia Administrativa*, 1, 226–237.

Vera, A. H., Hernandez, A. L., Espinoza, G. J., Ortega, R. L., Díaz, A. E., Rompan, P. H., ... Ruiz, L. F. (2009). Producción de leche de bovino en el sistema familiar (Libro técn). Veracruz.

Zamudio, B. A., Alberti, M. del P., Manzo, F., & Sánchez, M. T. (2003). La participación de las mujeres en los sistemas de traspatio de producción lechera en la ciudad de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 51, 37–60.