

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**Instituto de Ciencias Agrícolas**



---

**EVALUACIÓN DEL USO DE SEMEN SEXADO EN VAQUILLAS  
HOLSTEIN DE REEMPLAZO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**P R E S E N T A:**

**JOSÉ ARTURO CALLEJAS SILVA**

**DIRECTOR:**

**Ph. D. LEONEL AVENDAÑO REYES**

**EJIDO NVO LEÓN, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA., A 3 DE MAYO DEL 2013.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**Instituto de Ciencias Agrícolas**



---

**EVALUACIÓN DEL USO DE SEMEN SEXADO EN VAQUILLAS  
HOLSTEIN DE REEMPLAZO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**P R E S E N T A:**

**JOSÉ ARTURO CALLEJAS SILVA**

**COMITE:**

**Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES  
Ph.D. ABELARDO CORREA CALDERÓN  
Dr. ULISES MACÍAS CRUZ**

**EJIDO NVO LEÓN, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA., A 3 DE MAYO DEL 2013.**

**ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO  
PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y  
ACEPTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS  
DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, a 3 de Mayo del 2013.

---

**Ph. D. LEONEL AVENDAÑO REYES**

**Director de tesis**

---

**Ph D. ABELARDO CORREA CALDERÓN**

**Sinodal**

---

**Dr. ULISES MACÍAS CRUZ**

**Sinodal**

## **AGRADECIMIENTOS**

- Al Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para el estudio de maestría.
- A la universidad Autónoma de Baja California y en especial al Instituto de Ciencias Agrícolas por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado.
- Especialmente al Ph. D. Leonel Avendaño Reyes, por su gran apoyo, orientación para la elaboración del proyecto de tesis y fundamentales comentarios que enriquecieron este trabajo.
- Mis más sinceros agradecimientos al MC. Juan Rodríguez, coordinador de Posgrado por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios.
- A los integrantes de mi H. Jurado: Ph. D Leonel Avendaño Reyes, Ph. D Abelardo Correa Calderón, Dr. Ulises Macías Cruz, quienes con su excelente calidad profesional realizaron valiosas aportaciones en la revisión de este trabajo.
- A todos mis profesores por transmitirme conocimientos muy enriquecedores que formaron la base de este grado.
- A los trabajadores de las distintas áreas del ICA-UABC, Esteban cruz, Leobardo Alonso, Fernando Martínez (vivís), Juan, José Bernardo Cruz, Franki, Wara y el Pepo.

- Al ingeniero en sistemas computacionales Luis Antonio González Anguiano por su valioso apoyo.
- A la Secretaria de Posgrado Sandra por su apoyo, paciencia y comprensión mil gracias.
- A todos mis amigos, en especial a: Andrea Filatoff Toledo.

Y no puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes no hubiera logrado tantas desveladas que sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos ustedes el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho y nunca me olvidare de ustedes.

## DEDICATORIAS

Con mucho cariño principalmente a mis padres por darme la vida, que han estado con migo en todo momento. ¡¡¡ Gracias por todo mamá !!! Por creer en mí, aunque en el transcurso de estos dos últimos años hemos pasado por momentos muy difíciles siempre has estado apoyándome en cada paso que doy, brindándome todo tú amor, por todo esto y muchas otras cosas más te agradezco el que estés siempre cuando más te necesito. Los quiero con todo mi corazón y este trabajo es para ustedes.

A mis hermanos: † Jaime, Guadalupe, Luis Alberto, Carlos, y a mi cuñada Marlet, gracias a todos por estar siempre con migo.

Con especial dedicatoria, admiración y amor infinito para mis niñas Evelyn Arlett y Brisa Cristel por ser la inspiración de ser,....., gracias por ser parte de mi vida.

*Es la hora de partir, la dura y fría hora que la noche sujeta a todo horario  
(Pablo Neruda)*

## RESUMEN

Se evaluaron 1617 inseminaciones entre 2007 y 2010 con el objeto evaluar el efecto del uso de semen sexado (SS; n= 633) y convencional (SC; n=984) en la eficiencia reproductiva de vaquillas Holstein de reemplazo en una explotación del valle de Mexicali, B.C. También se evaluó el efecto de algunos factores ambientales en parámetros productivos de estas vaquillas en su primer parto. Las variables analizadas fueron: proporción sexual de las crías (PSC), servicios por concepción (SPC), tasa de concepción (TC), tasa de mortalidad (TM), días en leche (DEL), días al pico de producción (DPP), producción en el pico de producción (PP) y producción de leche por lactancia (PL). Las variables independientes fueron Año (4), Época (2), Tipo (2) y Compañía de Semen (4), así como sus interacciones. Las variables continuas se analizaron con modelos estadísticos lineales, mientras que los porcentajes con pruebas de  $Ji^2$ . La PSC fue mayor ( $P<0.01$ ) usando SS (89%) que SC (49%), mientras que el promedio de SPC ( $1.72 \pm 0.03$  vs  $1.21 \pm 0.02$ ), la TC (93.2 vs 77.9%) y la TM (5.9 vs 2.8%) fueron mayores ( $P<0.01$ ) con SC que con SS. El costo por pajilla de semen fue 15 dólares más alto ( $P<0.01$ ) con SS que con SC. Ninguna variable productiva difirió ( $P>0.05$ ) por efecto del tipo de semen. Se observaron diferencias por año y por compañía de semen. Además, se observó que a mayor edad al parto de las vaquillas, su producción en la primera lactancia es mayor ( $P<0.01$ ). En conclusión el uso de semen sexado produjo un mayor número de crías y redujo la mortalidad al parto en vaquillas Holstein, bajo las condiciones en las que se realizó el estudio.

## ABSTRACT

Records from 1617 inseminations occurred between 2007 and 2010 were collected in order to evaluate the effect of using sexed (SS; n= 633) and conventional (CS; n= 984) semen on reproductive efficiency of Holstein heifers in Mexicali valley, B.C. Also, the effect of some environmental factors on production parameters affecting these same heifers was evaluated. The response variables were: sex proportion of offspring (PSC), number of services per conception (SPC), conception rate (TC), mortality rate (TM), days in milk (DEL), days to peak production (DPP), production at peak production (PP), and milk production by lactation (PL). Independent variables were year (4), season (2), semen type (2) and semen company (4), as well as their interactions. Responses expressed continuously were analyzed using linear models, while  $J_i^2$  tests were used for percentages. The PSC was higher ( $P<0.01$ ) using SS (89%) than CS (49%), while SPC ( $1.72\pm 0.03$  vs  $1.21\pm 0.02$ ), TC (93.2 vs 77.9%) and TM (5.9 vs 2.8%) were higher ( $P<0.01$ ) with CS than with SS. The cost by semen straw was \$ 15 dollar more expensive ( $P<0.01$ ) using SS than CS. Type of semen did not influence ( $P>0.05$ ) any productive parameter. Differences by year and semen company were detected and indicated. Additionally, it was observed that as heifer age at calving was greater, milk production in the first lactation was higher ( $P<0.05$ ). In conclusion, the use of sexed semen produced greater number of female's offspring and reduced mortality at calving in Holstein heifers.



## INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIAS .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
INDICE DE CONTENIDOS .....	IX
LISTA DE CUADROS .....	XI
LISTA DE FIGURAS .....	XII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. IMPORTANCIA DE LOS REEMPLAZOS EN GANADO LECHERO.....	3
2.1.1. Medición y Registro de la producción animal .....	6
2.2. ASPECTOS EN LA TECNOLOGÍA DEL SEMEN SEXADO .....	7
2.2.1. El sexado de semen por medio de citometría de flujo.....	7
2.2.2. Comercialización del semen sexado .....	10
2.2.3. Viabilidad.....	11
2.2.4. Concentración .....	11
2.2.5. Diferencia en fertilidad entre toros.....	13
2.2.6. Sitio de inseminación.....	13
2.3. IMPORTANCIA DEL SEMEN SEXADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL .....	15
2.4. IMPACTO DEL SEMEN SEXADO EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO .....	16
2.5. LA ECONOMÍA DEL SEMEN SEXADO .....	18
2.5.1. La fertilidad del semen sexado en vaquillas .....	20
2.6. RESULTADOS DEL USO DEL SEMEN SEXADO EN MÉXICO .....	21

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1.    ÁREA DE ESTUDIO.....	23
3.2.    ASPECTOS GENERALES DE LAS EXPLOTACIONES .....	23
3.3.    METODOLOGÍA. ....	25
3.4.    ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	28
4.1.    VARIABLES REPRODUCTIVAS .....	28
4.1.1.    Proporción sexual en las crías (PSC).....	28
4.1.2.    Servicios por concepción (SPC).....	29
4.1.3.    Tasa de concepción (TC) .....	30
4.1.4.    Porcentaje de mortalidad al nacimiento (TM) .....	32
4.2.    VARIABLES PRODUCTIVAS .....	33
4.2.1.    Compañía de semen (CIA) .....	34
4.2.3.    Producción de leche por edad de la vaquilla .....	34
4.2.4.    Días al pico de producción (DPP).....	35
4.2.5.    Pico de producción (PP).....	36
4.2.6.    Producción total (PT).....	37
4.2.7.    Costos por el uso de semen.....	42
V. CONCLUSIONES .....	45
VI. APENDICE.....	46
VII. LITERATURA CITADA.....	60

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Proporción sexual de las crías (PSC) producto de semen sexado y convencional en vaquillas Holstein de reemplazo. ....	47
Cuadro 2. Promedios y porcentajes de parámetros reproductivos por tipo de semen en vaquillas Holstein de reemplazo.....	48
Cuadro 3. Promedios y porcentajes de parámetros reproductivos por año en vaquillas Holstein de reemplazo. ....	49
Cuadro 4. Medias y errores estándar de parámetros productivos por tipo de semen en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.....	50
Cuadro 5. Medias y errores estándar de parámetros productivos y reproductivos por compañía de semen en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. ....	51
Cuadro 6. Medias y errores estándar de parámetros productivos en vaquillas Holstein de reemplazo de acuerdo a su edad al primer parto.....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquematización del citómetro de flujo (Garner, 2001).....	8
Figura 2. Promedios de servicios generales de concepción por época y año de IA en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.....	53
Figura 3. Promedios de días en leche por año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo..	54
Figura 4. Promedios de pico de producción por año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo..	55
Figura 5. Promedios de días al pico de producción por época y año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo..	56
Figura 6. Promedios para la variable producción total de leche por época y año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.....	57
Figura 7. Promedios de costos de pajilla de semen por compañía en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. ....	58
Figura 8. Promedios de costo por pajilla por tipo de semen y año en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. ....	59

## I. INTRODUCCIÓN

El sector lechero juega un papel importante dentro de la economía del país y junto con la industria procesadora de productos lácteos en México, aportan el 1.3% al PIB nacional (SIAP, 2009). Esta industria tiene una importante participación en el sector pecuario, equivalente a 20% de la conformación del valor de la producción ganadera, generando aproximadamente 1.5 millones de empleos (SIAP, 2009). Dentro de los sistemas de producción de leche en nuestro país se distingue el sistema intensivo con ganadería especializada, la cual cuenta con 12% del hato ganadero nacional y produce 61% del volumen total de la leche (Reynoso et al., 2007).

La industria lechera se ha encargado de seleccionar al ganado principalmente por sus rasgos productivos, lo que ha generado que se reduzca la vida productiva del ganado y por consiguiente, aumente el número de desechos. En los últimos años, México ha importado vacas lecheras de Australia, Canadá, Estados Unidos y Nueva Zelanda. A partir del 2002 se pierde la posibilidad de adquirir ganado de Canadá y otros países debido a la presencia de la enfermedad Encefalopatía Espongiforme Bovina, lista a la que a finales del 2003 se agregó Estados Unidos (Garner y Seidel, 2003). Como consecuencia, se presenta una nula importación de bovinos y ocurre una disminución en el número de vaquillas de remplazo, lo que representa en México el 35% del hato especializado nacional y equivale aproximadamente a 350,000 vaquillas de remplazo (Medina, 2008).

Se han realizado innovaciones tecnológicas utilizadas para el mejoramiento de genético del ganado como son la inseminación artificial, la transferencia de embriones y últimamente, el uso de semen sexado. Esta última técnica es bastante precisa y con 90% de confiabilidad (Garner y Seidel, 2003), se utiliza para incrementar la frecuencia de hembras nacidas en hatos lecheros que sirvan como reemplazos, ya que la proporción normal de sexos al nacimiento en ganado bovino con semen convencional es de 50:50 entre hembras y machos (Garner y Seidel, 2008). La aplicación de semen sexado permite a los productores lácteos aumentar el número de hembras en sus hatos produciendo solamente vaquillas de reemplazo, y si son bien seleccionadas, animales de alto potencial genético.

Como toda nueva tecnología, el semen sexado representa una incógnita acerca de su posible adopción y los beneficios que genera. En México, esta tecnología se está utilizando cada vez más en establos lecheros y, aparentemente, con resultados satisfactorios. Sin embargo, hasta ahora existen limitados estudios que muestren un análisis objetivo por el uso de esta tecnología realizados en explotaciones lecheras mexicanas, por lo que resulta esencial determinar si es una alternativa económicamente factible en nuestro país.

Con base a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del uso de semen sexado sobre la eficiencia reproductiva de vaquillas Holstein de reemplazo en una explotación de crianza de reemplazos lecheros del valle de Mexicali, Baja California. Asimismo, se evaluaron el efecto de algunos factores ambientales sobre los parámetros productivos de estas mismas vaquillas a su primer parto.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Importancia de los reemplazos en ganado lechero

La crianza eficiente de vaquillas de reemplazo, futuras productoras de leche en establos lecheros, es uno de los principales objetivos de la ganadería, ya que sin ello no sería posible asegurar la producción ni el crecimiento del hato (Zamora et al., 2000). Uno de los mayores costos de producción en las unidades bovinas lecheras es la generación de hembras de reemplazo. El deficiente crecimiento y desarrollo de las becerras puede provocar pérdidas económicas considerables para el productor y provocar que el primer parto no ocurra a la edad deseada de 22-24 meses (Espinosa y Montiel, 2011). En explotaciones lecheras, la producción de reemplazos representa el segundo gasto económico más alto, solo por debajo del costo por alimentación, y en ocasiones el generado por la mano de obra (Medina, 2008; Espinosa y Montiel, 2011).

A través de los años, el énfasis en la selección de ganado lechero ha sido dirigido a las características productivas, lo cual ha provocado que la longevidad de las vacas lecheras disminuya, y por consiguiente, los desechos aumenten. Esto ocurre cuando no se llevan a cabo adecuados programas reproductivos, generando la compra de vaquillas para reemplazo.

Es importante hacer notar que mientras en Estados Unidos el número de vacas lecheras ha disminuido sin que esto repercuta en la cantidad de leche producida, en México cada año se tiene que importar no sólo leche, sino también una buena cantidad de hembras, lo que equivale aproximadamente a 350,000

vaquillas de reemplazo (Medina, 2008). Esto indica que los programas de selección genética en Estados Unidos están impactando positivamente en la productividad del hato, mientras que el país no se tiene la capacidad de mantener el inventario nacional. Por lo anterior, en México se tiene que importar vaquillas de alta calidad genética, las cuales provienen de hatos que se encuentran bajo estrictos programas de selección genética. Sin embargo, problemas de alimentación y manejo impiden que dichas vaquillas muestren su potencial genético de producción y que dejen, por lo menos, una cría que las sustituya.

El número de reemplazos que se necesitan en un hato lechero dependen principalmente de la tasa de desecho y del porcentaje de pérdidas de becerras y vaquillas (Heinrichs, 1993). El reemplazo de becerras representa el futuro potencial reproductivo del hato y la meta del programa de recría es que las vaquillas de reposición tengan un alto potencial genético para producción de leche, que cuente con un buen desarrollo para ser servidas entre los 13 y 15 meses de edad, así como parir a una edad de entre 22 y 24 meses, lo cual asegura un mejor desempeño productivo. Además de disminuir los costos asociados a un retraso en la presentación del primer parto a edades recomendadas (Espinosa y Montiel, 2011). La producción de vaquillas depende básicamente de tres factores: de la fertilidad de las vacas, es decir, del número de becerras nacidas al año; la mortalidad durante la crianza y desarrollo; y de la eficiencia reproductiva de las vaquillas. Por tal motivo, es necesario un adecuado manejo y nutrición para proveer un adecuado número de vaquillas sanas y genéticamente superiores;



sobre todo si se considera que aproximadamente el 30% del rebaño debe ser reemplazado anualmente.

En la actualidad, se recomienda que las becerras Holstein de reemplazo deban entrar al hato productivo lechero entre los 22 y 24 meses de edad aproximadamente, y con un peso óptimo de entre 544 y 590 kg después del parto (Keown y Everett, 1986). El manejo reproductivo en las vaquillas, comienza cuando éstas alcanzan 13 o 15 meses de edad y un peso de 350 a 370 kg (Heinrichs, 1993).

Un aspecto importante que se debe de tomar en cuenta es el efecto de la edad al primer parto en la productividad de la vaca posparto. Las vaquillas que paren demasiado jóvenes tienden a producir menos leche y reducen su fertilidad en la primera lactancia (Ettema y Santos, 2004), dado que no consumen suficiente alimento para cubrir el gasto de nutrientes, tanto para crecimiento como para producción de leche. Sin embargo, el efecto de la edad del primer parto depende en gran medida de las tasas de crecimiento. Esto da énfasis a lo que a menudo se observaba como asociaciones positivas entre tamaño al primer parto con producción de leche. Con un adecuado manejo en la alimentación, edad y peso se trata de minimizar cualquier efecto negativo que tasas de crecimiento más rápidas tendrían sobre la producción de leche, y por tal motivo es más importante criar vaquillas con un gasto mínimo y de modo que desarrollen su completo potencial de lactación durante su vida productiva.

### **2.1.1. Medición y Registro de la producción animal**

La medición objetiva y buen registro de la producción de los animales sirve para hacer evaluaciones genéticas, estimación de los parámetros requeridos para los programas, medición de aspectos económicos y optimiza el proceso (Bath et al., 1984; Montaldo y Barría, 1998). Recientemente, las necesidades del mercado y el deseo de los productores de tomar decisiones en base a un conjunto de características más estrechamente relacionadas con el valor económico de la producción y la consideración de aspectos sociales en los objetivos de producción, han incorporado características relacionadas con la fertilidad, la supervivencia y la resistencia a enfermedades. En la actualidad, se ha intentado medir variables asociadas con los costos de producción, tales como el costo de los alimentos y el medicamento (Montaldo y Barría, 1998; Espinoza, 2006).

La información derivada de los eventos reproductivos es de suma importancia para poder determinar la eficiencia del programa de manejo reproductivo que se lleva a cabo en una explotación ganadera. Además, se pueden tomar decisiones acerca del manejo del hato tales, como la de volver a empadrear a los animales vacíos o venderlos, y de esta forma desechar a los animales improductivos.

Otra información necesaria en la explotación son los datos de salud animal, los cuales sirven para conocer el historial clínico de cada uno de los animales. Este tipo de información es la base principal para dar un diagnóstico más preciso

de las enfermedades más frecuentes que se presentan en la explotación ganadera (Espinoza, 2006).

## **2.2. Aspectos en la tecnología del semen sexado**

### **2.2.1. El sexado de semen por medio de citometría de flujo.**

Muchos investigadores han tratado de separar los espermatozoides X y Y mediante distintas técnicas con base a la diferencia de masa y motilidad, movilidad y diferencias de volumen (Seidel y Garner, 2002). Sin embargo, ninguno de estos métodos fue capaz de producir una separación adecuada de los espermatozoides fértiles.

La predeterminación del sexo pudo lograrse por los avances en la computación, biofísica, biología celular y fisiología reproductiva. A partir de la década de los 80, los científicos han intentado afanosamente preseleccionar, el sexo de la progenie de sus animales. Sin embargo, ningún método había tenido el éxito como el desarrollado por el Dr. Lawrence Johnson, el cual se basa en la Citometría flujo. Este método fue patentado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 1992, y vendido a la compañía Cogent en el Reino Unido, siendo la primera compañía que comercializó semen sexado (Seidel, 2009). Este proceso ha producido crías con una alta significancia del sexo deseado en varias especies, bovinos, ovinos, cerdos y equinos con una exactitud cercana del 90% (Seidel y Shenck, 1999). La gran mayoría de estas crías producidas por el método de citometría de flujo se han hecho en Estados Unidos, Reino Unido, Argentina y con menos frecuencia en otros países (Garner y Seidel, 2003).

La técnica de citometría de flujo se basa en sexar los espermatozoides a través de su contenido de ADN (Garner y Seidel, 2008; Espinoza y Córdova, 2012). El semen bovino puede ser sexado debido a que el espermatozoide portador del cromosoma “X” contiene 3.8% más ADN que el espermatozoide “Y” (Magnus et al., 2004). El proceso del semen sexado inicia con muchas horas de procesamiento, desde su colección hasta que es sexado (Seidel y Garner, 2002).

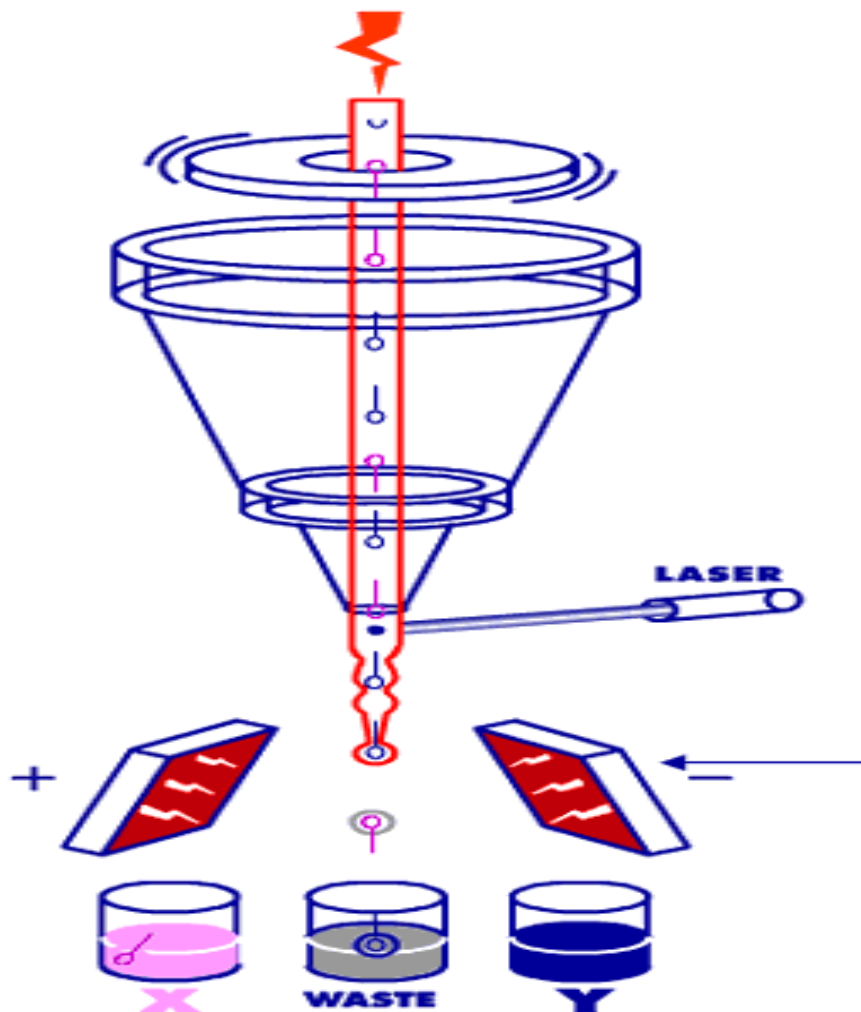


Figura 1. Esquematación del citómetro de flujo (Garner, 2001).

El citómetro funciona a través de un circuito cerrado de alta velocidad de flujo de líquidos que permite alinear y leer los espermatozoides de manera individual en forma de microgotas. La fluorescencia que produce cada espermatozoide teñido es procesada por un software que permite separar los espermatozoides con mínima o máxima luminosidad, según el sexo que se pretenda separar (Garner y Seidel, 2003). Los espermatozoides seleccionados son cargados eléctricamente, desviados del flujo original en un campo magnético y posteriormente recolectados (Oses et al., 2009). Después se concentran mediante la técnica de centrifugación, y posteriormente son congelados, quedando vivos aproximadamente solo la mitad del total (Seidel, 2009).

La calidad y la concentración espermática de los eyaculados son quizás los factores más importantes para obtener una buena separación de los cromosomas, por lo tanto, la separación de los cromosomas X y Y se lleva a cabo normalmente en eyaculados con más del 50% de motilidad progresiva y 75% de espermatozoides normales (Oses et al., 2009). Con los citómetros de alta velocidad usados actualmente, los MoFlo SX, los espermatozoides pasan por el citómetro a una velocidad de 80 km/hr, aproximadamente 20,000 espermatozoides por segundo (Garner Y Seidel, 2003). Actualmente se requieren 9 minutos para sexar una pajilla de 2.1 millones de espermatozoides, lo cual produce aproximadamente 7 pajillas por hora (Garner y Seidel, 2008).

En el proceso del sexado del semen, del 100% de los espermatozoides, 20% termina colectado en la fracción Y y otro 20% en X; el 60% restante lo

conforman espermatozoides que no fueron seleccionados debido a que están muertos o gotas sin espermatozoides (Garner y Seidel, 2003; Oses et al., 2009).

### **2.2.2. Comercialización del semen sexado**

El semen sexado se comercializa a una concentración de 2.1 millones de espermatozoides por pajilla de 0.25 ml (Garner y Seidel, 2008), mientras que el semen no sexado o convencional se vende en pajillas con aproximadamente 20 millones de espermatozoides. Esta menor concentración en las pajillas de semen sexado se debe al procesamiento, en el cual se pierde aproximadamente 80% del eyaculado (Oses et al., 2009). Este semen tiene la desventaja de poseer un 20 o 30% menos fertilidad, ya que es más delicado debido a que los espermatozoides son sometidos a varios procesos inherentes a su clasificación, además de su proceso de congelado (Espinosa y Córdova, 2012). A pesar de las limitantes que presenta el semen sexado, se ha observado claramente que existe una buena aceptación por parte del productor (Seidel, 2009). Las recomendaciones para su uso comercial se ha limitado principalmente a las vaquillas, por su mayor fertilidad que en vacas y por el mayor costo (Garner y Seidel, 2008).

Cabe mencionar que la tecnología del semen sexado se está mejorando continuamente, esperando con ello una reducción en su costo (Seidel et al., 2007). No obstante que esta tecnología tuvo un inicio relativamente lento, la producción de semen sexado bovino va en aumento exponencialmente, con un estimado de 4 millones de dosis en el 2008 (Seidel et al, 2009).

### **2.2.3. Viabilidad**

Se ha comprobado que las especies reactivas de oxígeno (EROS) generadas en la manipulación del semen bovino pueden causar daño oxidativo, lo cual altera el adecuado funcionamiento de la membrana plasmática de los espermatozoides; además, pueden causar fragmentación en el ADN de los espermatozoides (Urrego et al., 2008).

El daño causado por el proceso de sexado se refleja directamente en las tasas de preñez. Se ha especulado que la fertilidad del semen sexado es menor que la del semen convencional, lo que se atribuye al daño provocado por las fuerzas mecánicas durante el proceso de sexado y, en menor grado, a la tinción y exposición al laser (Garner y Seidel 2003; Frijters et al., 2009; Oses et al., 2009). Después de ser sometidos al proceso de sexado, los espermatozoides son principalmente capacitados, disminuyendo la vida útil y por consiguiente la fertilidad se reduce (Bodmer et al., 2005). Por lo que las pajillas deben contener 35% de espermias con motilidad progresiva, con mínimo de 85% de certeza del sexo deseado para alcanzar los estándares de aprobación (Oses et al., 2009).

### **2.2.4. Concentración**

Debido a la limitada eficiencia en la separación de espermatozoides en forma comercial, el semen sexado bovino contiene 8.4 millones de espermatozoides por ml (2.1 millones de espermatozoides por pajilla de 0.25 ml) para dosis de semen sexado y con respecto al semen convencional de 0.5 ml por

pajilla con 20 millones de espermatozoides. Una dosis de 2.1 millones de espermatozoides es considerada una dosis baja para inseminación artificial con semen sexado (Gosálvez et al., 2011).

Se estudió el efecto de la dosis de semen sexado sobre las TC en vaquillas y en vacas lactantes (Dejarnette et al., 2008), utilizando tres toros con dosis de semen de 2.1, 3.5 y 5.0 x 10<sup>6</sup> millones de espermatozoides, observándose una respuesta lineal en la TC ante el aumento de la dosis de espermatozoides. Finalmente en los hatos en los que se utilizaron más de 50 dosis de semen sexado, la TC promediaron 47% con un rango de 33 a 68 %. En vacas inseminadas con dosis de 2 millones de espermatozoides de semen sexado y convencional los porcentajes de preñes fueron menores al 30%, no encontrándose diferencia por tipo de semen, indicando que este número de espermatozoides es detrimental para la concepción en ambos tipos de semen (Bodmer et al., 2005).

Por otra parte, no hubo diferencia cuando se inseminaron vacas Holstein con 2.1 y 3.5 millones de espermatozoides sexados por pajilla, siendo la concepción de 23 y 25%, respectivamente (Dejarnette et al., 2010). Por lo tanto, se sugiere que la fertilidad puede ser incrementada seleccionando toros, mejorando el manejo de las hembras, así como optimizando el proceso de separación, congelación y técnica de inseminación (Bodner et al., 2005).



### **2.2.5. Diferencia en fertilidad entre toros**

El efecto de la dosis baja y sexado difiere entre toros. Esto implica que la fertilidad del semen sexado no puede ser tan precisamente predicha por las pruebas de campo como las que se utilizan con semen convencional usando la misma dosis que con semen sexado (Frijters et al., 2009). Un punto muy importante en la diferencia entre toros es cómo los espermatozoides toleran el proceso de sexado (Garner y Seidel, 2003; Seidel y Schenk, 2008; Espinosa y Córdova, 2012). Por lo tanto, se debe tener cuidado al interpretar los resultados obtenidos con semen sexado, ya que existe influencia del toro utilizado con los porcentajes de preñez (Bodner et al., 2005). La edad, la nutrición, temperaturas ambientales extremas y las enfermedades pueden reducir la calidad del semen, y que la calidad de los espermatozoides de un toro puede variar con el tiempo (George et al., 1992). Por ello, el monitoreo de los resultados del semen sexado y el mantenimiento de toros con alta fertilidad para el sexado es la mejor manera de incrementar la fertilidad con este tipo de semen (Frijters et al., 2009).

### **2.2.6. Sitio de inseminación**

Se han realizado trabajos de inseminación artificial depositando el semen cerca de la unión útero-tubal, en la parte media de los cuernos uterinos (mitad de la pajilla en cada cuerno) y además en el cuerpo del útero (Garner, 2001; Garner y Seidel, 2003; Seidel y Schenk, 2008).

En un experimento donde se evaluó la utilización del semen sexado en un programa de IATF que incluyó 209 vaquillas Holstein, la inseminación se efectuó mediante la administración de dos dosis de PGF2 $\alpha$  separadas por 14 días (Kurykin et al., 2007). La inseminación se realizó a 80-82 h post-2da dosis de PGF2 $\alpha$  utilizándose una dosis de  $2 \times 10^6$  espermatozoides provenientes de toros de la misma raza. El semen fue depositado en diferentes sitios: el cuerpo del útero, la mitad de uno de los cuernos y cerca de la unión útero-tubárica. Las vaquillas fueron clasificadas según la intensidad del celo, la cual podía ser fuerte o débil. Los porcentajes de preñez en inseminaciones efectuadas en el tercio anterior del cuerno uterino: 39.3% (24/61) y en el tercio medio: 49.1% (28/57) resultados similares entre si y no difirieron de las realizadas en el cuerpo del útero: 41.7% (38/97). En cambio, el porcentaje de preñez de vaquillonas con signos intensos de celo (45.9%) fue superior aquellas con signos débiles (20.8%,  $P < 0.01$ ).

En otro experimento, se llevaron a cabo inseminaciones en vaquillas y vacas, utilizando semen congelado en dosis que oscilaron entre 1 y 6 millones de espermatozoides sexados, los cuales fueron depositados en el cuerpo del útero o en el tercio medio de ambos cuernos uterinos. Como testigo, se empleó semen convencional a dosis de  $20 \times 10^6$  espermatozoides. Cuando se utilizaron dosis que variaron entre  $1,5$  y  $6 \times 10^6$  espermatozoides sexados, el porcentaje de preñez resultó similar. Del mismo modo, el lugar donde se efectuó la inseminación a del semen los resultados no difirieron. En cambio, cuando se utilizó la dosis  $1 \times 10^6$  espermatozoides, el porcentaje de preñez resultó inferior y la descarga del semen

en los cuernos uterinos afectó negativamente la tasa de preñez. En la mayoría de estos experimentos, el porcentaje de preñez obtenido con el semen sexado fue significativamente menor que el logrado con el semen convencional. Factores como condición corporal, edad, manejo reproductivo y sanitario, y eficiencia en la detección de celo, fueron críticos para obtener buenos resultados.

En un estudio realizado por (Seidel et al., 1996), evaluaron el número de espermatozoides de semen convencional, en vaquillas Holstein inseminadas bilateralmente dentro de los cuernos uterinos. Los resultados sobre la tasa de preñez a los dos meses después de la inseminación fue similar con 0.5 o 10 millones de espermatozoides (68 y 67%) respectivamente, resultando significativamente más bajas a 0.2 millones por dosis (54%).

Sin embargo, con base en los resultados de estos estudios, la recomendación actual es depositar el semen en el cuerpo del útero como se hace convencionalmente, ya que hay pocas posibilidades de realizar la IA en cada uno de los cuernos del útero, debido a la pequeña concentración de espermatozoides (Garner y Seidel, 2003).

### **2.3. Importancia del semen sexado en producción animal**

El uso de semen sexado en IA supone un gran avance en la ganadería bovina gracias a que podemos elegir el sexo de la cría desde el momento mismo de la inseminación, toda vez que se nos permite obtener 90% de crías hembras que le dan continuidad inmediata al programa de mejoramiento genético, logrando

así disminuir las distocias y se vuelve más rentable el hato lechero (Garner y Seidel, 2003). Cuando el objetivo de la ganadería es obtener hembras de reemplazo mejoradas, el semen convencional causa grandes pérdidas cuando el fruto de la gestación resulta ser un macho.

Las primeras expectativas eran que el semen sexado produciría entre el 85 y el 90% de hembras. En partos simples, DeJarnette et al. (2007) reportaron que el 90% de los becerros fueron hembras, evaluando más de 3,300 partos utilizando semen sexado, comparado contra el 48% de hembras en más de 11,000 partos utilizando semen convencional. En este estudio también evaluaron el efecto del semen sexado en riesgos de aborto y no se encontró diferencias en relación al semen convencional.

El uso del semen sexado se torna atractivo debido a que las becerras son mucho más valiosas que los becerros en una empresa lechera, lo que dependerá grandemente de la diferencia que exista entre el valor de crías de hembras o machos, de la tasa de preñez y de los costos extras del semen sexado (Seidel, 2003). Es claro que el costo del semen sexado se incrementa conforme la tasa de preñez declina. Debido a su alto costo y reducida fertilidad, el semen sexado se recomienda utilizarlo en vaquillas vírgenes (De Vries, 2009), las cuales por naturaleza tienen una mayor tasa de concepción (TC) que las vacas adultas.

#### **2.4. Impacto del semen sexado en el mejoramiento genético**

En años recientes, la utilización del semen sexado ha tenido avances rápidos en la determinación y diferenciación del sexo. Este desarrollo permite

mejorar la calidad genética de individuos en la ganadería con características hereditarias selectivas (Machaty et al., 1993). Esta tecnología ha permitido a los ganaderos vender su germoplasma sin perder su base genética, proporcionando también una alternativa más humana a los métodos estresantes de transporte de los animales vivos. En el ganado bovino lechero, las vacas con mayor mérito genético se podrían destinar a la producción de crías hembras y el resto de las hembras a generar crías machos usando una raza cárnica (Taylor et al., 1988), para una determinada característica como crecimiento o conversión del alimento. Por estas razones existe un valor en poder seleccionar el sexo de nuestra progenie con un 90% de confiabilidad para el sexo deseado. (Garner y Seidel, 2003; DeJarnette et al., 2008).

El programa de inseminación artificial en conjunto con el semen sexado son de las técnicas con mayor impacto en una explotación agropecuaria; fundamentalmente en los aspectos genético, productivo y reproductivo, destacando que el principal objetivo del mejoramiento genético animal es el beneficio económico, aumentando la rentabilidad de cada animal a lo largo de su vida productiva. Esto es porque las vacas y vaquillas identificadas como genéticamente superiores, ya sea por pruebas de progenie o por pedigrí, se inseminarían con semen de toros de alto valor genético, resultando en crías de alto potencial genético que serían usadas como reemplazo (Weigel, 2004). Al disponer de un mayor número de vaquillas de reemplazo, se aumenta la presión de selección, aumentando así el progreso genético en la siguiente generación.

Este programa de mejoramiento también provoca una disminución en las pérdidas por distocia al aumentar la proporción de crías hembras en la explotación, debido a que las hembras son de menor peso y tamaño que los machos.

Por otro lado, las vacas inferiores genéticamente se pueden destinar a producir machos para ser engordados y finalizados, lo cual puede realizarse en establos lecheros que tienen interés en comercializar los machos producidos (Faber et al., 2003). Ese mismo tipo de vacas pueden ser usadas también como receptoras en programas de transferencia de embriones (Palma et al., 2008). Finalmente, es posible lograr que toros jóvenes bajo pruebas de progenie produzcan una mayor cantidad de hembras, acelerando la confiabilidad de los resultados.

## **2.5. La economía del semen sexado**

El costo por unidad de semen convencional y semen sexado es de 15 y 45 dólares, respectivamente, lo cual indica un sobre precio de tres veces más (30 dólares) cuando se usa semen sexado comparado con semen convencional (Olynk y Wolf, 2007). Aunque, el costo de una pajilla de semen sexado es fácilmente cubierto con el valor de una ternera al nacer, considerando que su precio en el mercado es de 562 dólares, mientras que el valor de un macho puede llegar a 48 dólares (Olynk y Wolf, 2007). Por lo tanto, los beneficios económicos del uso del semen sexado dependerán grandemente de la diferencia que exista entre el valor de las crías de machos o hembras, de las tasas de preñez y de los costos extras del semen sexado (Seidel et al., 2003).

El semen sexado es ampliamente disponible y muchos productores de leche lo utilizan para tener más y mejores vaquillas. Debido a su mayor costo por dosis de semen, junto con el riesgo de una baja concepción, el semen sexado se recomienda principalmente para usarse en vaquillas (Fetrow et al., 2007; De Vries, 2009). Esta situación ha conllevado a que el uso de esta tecnología no se haga de manera cotidiana entre los productores de leche. Algunos no lo utilizan en lo absoluto, mientras que otros lo utilizan en las vaquillas, y algunos lo utilizan tanto en vaquillas y vacas (Garner y Seidel, 2008). En la mayoría de las situaciones, el uso del semen sexado no es costeable cuando existen bajas tasas de preñez. Adicionalmente, se conoce que la tasa de concepción disminuye con cada servicio adicional (Kuhn et al., 2006).

Por otra parte, tanto vaquillas como vacas que paren terneras, tienen un menor riesgo de distocia que con un becerro, por lo que reducen los costos por la presencia de este tipo de problemas (Fetrow et al., 2007). La distocia usualmente representa uno de los principales riesgos de desecho en las vaquillas y este riesgo puede ser reducido al tener más hembras, asumiendo un manejo similar entre el semen sexado y el semen convencional, incluyendo toros utilizados en el programa de cruzamientos. Se ha estimado que la reducción en pérdidas por distocia cuando se utiliza semen sexado en vaquillas es de alrededor de 5.38 dólares por parto, mientras que en las vacas la reducción se estimó en 1.48 dólares (Fetrow et al., 2007). El valor económico de un programa reproductivo usando semen sexado no tendrá utilidad si no se compara con programas

reproductivos de semen convencional. Si este valor es positivo, el semen sexado tiene ventaja económica sobre el convencional.

El valor económico neto pos inseminación puede calcularse como la suma de los valores monetarios de cada uno de los servicios sucesivos comenzando en vaquillas a los 14 meses de edad, más el valor de la probabilidad de que las vaquillas sean desechadas y reemplazadas si no quedan gestantes después de 5 servicios consecutivos. Es también conocido que la tasa de concepción disminuye con cada servicio subsiguiente, y se asume que en valores reales, la tasa de concepción puede caer 2.5% por cada servicio adicional después del primer servicio, bien sea con semen convencional o sexado (Kuhn et al., 2006; Cerchiaro et al., 2007).

### **2.5.1. La fertilidad del semen sexado en vaquillas**

Algunos informes sugieren una disminución de 20 a 30% de la fertilidad del semen sexado, con respecto a la fertilidad del semen convencional en vaquillas vírgenes. (Dejarnette et al., 2007). Esto se relaciona, como anteriormente se menciono, con las dosis más bajas de espermatozoides por pajilla, y posiblemente un efecto negativo del proceso de clasificación de células (Garner y Seidel, 2003; DeJarnette et al., 2008).

Desde una perspectiva comercial existen algunos estudios donde la dosis óptima para la IA de vaquillas con semen sexado y congelado es de 2 millones de espermatozoides (Bodmer et al., 2005). Una dosis de 1 millón de espermatozoides claramente resulta en una disminución de la tasa de preñez. La fertilidad con dosis



bajas de semen sexado es menor 49% que con dosis normales de semen convencional 70% (Seidel y Schenk, 2008). La disminución se debe al bajo número de espermatozoides que contiene la dosis y al daño causado por el proceso del sexado (Frijters et al., 2009; Oses et al., 2009). Existe solo un estudio (Schenk y Seidel, 2009) en el cual la tasa de preñez fue idéntica comparando dosis de  $10 \times 10^6$  millones de espermatozoides sexados (43.9%, n= 57) contra dosis de  $10 \times 10^6$  millones de espermatozoides en semen convencional (55.6%, n= 58). Salisbury y Van Dermark (1961) fueron los primeros en sugerir que existe una relación entre la cantidad y la calidad de los espermatozoides, cuando propusieron que la fertilidad se incrementa al aumentar el número de células espermáticas visibles utilizadas en la inseminación, hasta llegar a un determinado umbral, después del cual la fertilidad en la población de hembras se convierte en el factor limitante por lo que el hecho de aumentar la cantidad de espermatozoides no incrementa la fertilidad.

## **2.6. Resultados del uso del semen sexado en México**

La clave para obtener buenos resultados es la calidad de detección de celos, al seguir la regla de AM-PM. El semen sexado puede utilizarse en primer y segundo servicio, esto da como resultado entre el 70 al 80% de las vaquillas preñadas por año sean con semen sexado (Seidel y Schenk, 2008; Schenk y Seidel, 2009).

En un trabajo realizado en los altos de Jalisco, México, se comparó el uso del semen sexado y convencional en vaquillas con dosis de 2.1 millones de

espermatozoides, no encontrando diferencia en la tasa de preñez entre el semen sexado (46%) y el convencional (47%), lo cual sugiere que el semen sexado a 2.1 millones de espermatozoides produce porcentajes similares con respecto al semen convencional en esta variable (De La Torre et al., 2012). En este mismo estudio se evaluó el porcentaje de hembras en base al tipo de semen, encontrando 93.6% para semen sexado y 57.4% para convencional, siendo estadísticamente significativa esta diferencia.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudio**

La información para realizar la presente investigación se colectó de dos zonas del Estado de Baja California: a) Zona Valle de Mexicali, en la recría San Carlos, explotación de crianza de reemplazos Holstein, ubicada en el Km 15 de la carretera Mexicali-San Felipe, en el valle de Mexicali, Baja California. Su ubicación geográfica es latitud norte 32° 02' y longitud oeste 115° 00'. Las condiciones climáticas de esta región son tipo desierto de Sonora, muy caliente y árido principalmente en verano. El clima en esta región es considerado seco según la clasificación de Köeppen (García, 1985), las temperaturas mínimas se presentan en invierno (0° C) y las máximas en verano (50° C). La precipitación media anual a 84 mm; b) En la zona Costa la información se colecto en los establos San Carlos 2000 y El Florido, localizados en el km 7.0 y 32.5, respectivamente, de la carretera Tijuana-Tecate, en el municipio de Tijuana, Baja California. Su ubicación geográfica es latitud norte 31° 31' 00" y longitud oeste 11° 03' 00" y se encuentra a 240 metros sobre el nivel del mar.

#### **3.2. Aspectos generales de las explotaciones**

La recría ubicada en la zona Valle de Mexicali recibe las crías a los 5 meses de la zona costa del Estado, (establos San Carlos 2000) e inicia su manejo como reemplazos. Las becerras son inseminadas desde los 12 meses, dependiendo de su estado corporal y de salud. La alimentación es en corral con

una ración integral, la contiene ensilado de sorgo (52%), heno de alfalfa (13%), paja de trigo molida (10%), revuelto de alfalfa (10%), trigo rolado (10%), grano de destilería (3%) y premezcla mineral (2%). Dos meses antes del parto, las vaquillas son regresadas a su respectivo establo de procedencia, (zona costa) lugar donde paren y se incorporan a los hatos productivos.

En la costa se encuentran los establos lecheros, los cuales se consideran tecnificados y competitivos a nivel nacional, siendo su principal objetivo es producción de leche de alta calidad. Los dos establos tienen sistemas de producción similares, usan inseminación artificial y la alimentación se basa en ración integral compuesta por heno de alfalfa y concentrado comercial. Este último es elaborado en la Planta de Alimentos y Productos para Ganado Lechero, perteneciente a la Asociación Ganadera Local de Productores de Leche de Tijuana. Las vacas se alojan en corrales lotificados de acuerdo a su nivel de producción de leche. Las salas de ordeña son de tipo espina de pescado, automatizadas y con control de producción computarizado. La detección del celo se realiza por medio de un podómetro colocado en el cuello de cada vaca, el cual es leído por la computadora en la ordeña. A la vaca detectada en celo se revisa su expediente y después de la ordeña se palpan sus genitales vía rectal para posteriormente ser inseminada por la mañana o la tarde. Las vacas no comprobadas en celo se marcan en la grupa con crayón como otra forma para detectar celos. Cada 6 meses se realiza la prueba de Tuberculosis y Brucelosis.

Se cuenta con una unidad para parir, donde son conducidas las vacas secas una semana antes de la fecha probable de parto. Ambos establos son manejados con el programa de cómputo DAIRY COM®.

### **3.3. Metodología.**

El estudio consistió en coleccionar información retrospectiva sobre la IA, específicamente el uso de SS y SC de 2007 a 2010 en vaquillas Holstein de reemplazo, en la recría del Valle de Mexicali. Dos meses antes del parto, las vaquillas se transportan a dos establos ubicados en Tijuana, donde paren e inician con su actividad productiva. Por tanto, la información al parto se coleccionó en la zona costa del estado de Baja California. Posteriormente se construyeron archivos de datos con la información coleccionada y se procedió a su análisis estadístico.

La información obtenida para su análisis correspondió a los registros de 2000 vaquillas Holstein evaluadas durante el periodo 2007 a 2010. Después de realizar una depuración de la información eliminando los registros con datos faltantes, se utilizaron finalmente 1617 registros, siendo los datos recopilados:

#### Parámetros reproductivos

1. Servicios por concepción (SPC)
2. Proporción sexual en las crías (PSC)
3. Tasa de concepción (TC)
4. Porcentaje de Mortalidad al nacimiento (TM)
5. Edad de la vaquilla a primer parto (EP)

### Parámetros productivos

6. Días en leche (DEL)
7. Días al pico de producción (DPP)
8. Pico de producción (PP)
9. Producción total (PT)

Además se registró el tipo de semen utilizado, SC o SS, la compañía que lo vendió y su precio, así como las épocas de parto de los registros individuales de cada vaquilla. La información productiva se obtuvo directamente de los dos establos ubicados en la costa.

#### **3.4. Análisis estadísticos**

Para analizar la información se corrieron modelos estadísticos lineales utilizando el procedimiento GLM (General Linear Models) mediante el programa de cómputo estadístico SAS (SAS, 2004). Las variables independientes consideradas en los modelos fueron año, época, por tipo y compañía de semen, así como sus posibles interacciones. La variable época se consideró solo para las variables posparto. Cuando las interacciones de un modelo no fueron significativas ( $P > 0.05$ ), la discusión se centró en los efectos principales significativos. Las variables de respuesta registradas en porcentaje (PSC, TC, PM) se analizaron mediante prueba de independencia a través del procedimiento FREQ de SAS (SAS, 2004), al comprobarse su distribución  $\chi^2$ . Para las variables de respuesta continuas (SPC, DEL, DPP, PP y PT) se eligieron los modelos que presentaran el

mayor ajuste y la menor variabilidad, obteniendo medias ajustadas y errores estándar de las respuestas, utilizando un nivel de error de 5%.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1. Variables Reproductivas**

#### **4.1.1. Proporción sexual en las crías (PSC)**

El Cuadro 1 presenta los resultados sobre PSC por el uso de semen sexado y convencional, donde se observa que el semen sexado produjo casi el doble (38%) ( $P < 0.001$ ) de crías hembras en relación al semen convencional, siendo los porcentajes promedio de 87 vs 49%, respectivamente. La proporción de hembras obtenida en este estudio es similar a lo reportado por Tubman et al. (2004) quienes obtuvieron entre 88 y 92% de crías hembras con semen sexado y solamente 49% de machos con semen convencional. De la misma forma, Seidel (1999), encontraron una proporción de hembras entre 82 y 95% usando semen sexado; además, coincide con el 90% de hembras que fue obtenido por Select Sires Inc. (2005). En inseminaciones con semen sexado, Borchersen y Peacock (2009) y DeJarnette et al. (2009) reportaron 91 y 89% crías hembras, respectivamente. Por su parte, Den Daas et al. (1998) y Cassell (2005) mencionan que el porcentaje de hembras obtenidas con semen sexado fue 41.5% superior al que se obtiene con el uso del semen convencional, mostrando una mayor eficacia del semen sexado para producción de reemplazos. Resultados obtenidos por Silva del Rio et al. (2007) y Cerchiaro et al. (2007), muestran porcentajes de crías hembra de 46.7% en semen convencional y 87.2% en el semen sexado. En



Jalisco, México, De La Torre (2012) reportó 93.6% de hembras para semen sexado y 57.4% de hembras para semen convencional, considerándose esta diferencia significativa. En un trabajo realizado en la cuenca lechera de Tizayuca, Hidalgo, Pérez (2007) demostró que el porcentaje de hembras fue mayor con semen sexado (87.3%) que con el convencional, en donde se obtuvieron sólo 45.8% de hembras. Los resultados anteriores confirman la eficacia de utilizar semen sexado con una confiabilidad de 85 a 95%, como lo marca la literatura para la obtención de crías hembras en hatos lecheros.

#### **4.1.2. Servicios por concepción (SPC)**

Los resultados encontrados sobre el efecto del tipo de semen sobre las variables SPC, TC y mortalidad se presentan en el Cuadro 2. El tipo de semen afectó significativamente ( $P < 0.001$ ) estas tres variables de respuesta. El promedio de SPC fue significativamente mayor ( $P < 0.01$ ) para semen convencional comparado con semen sexado ( $1.72 \pm 0.03$  vs  $1.21 \pm 0.02$  SPC respectivamente). Estos resultados son similares a los publicados por Lucy (2001) y Ávila (2004), y quienes reportan que el parámetro ideal de SPC es  $1.5 \pm 0.3$ , considerándose un problema si se alcanzan 1.8 o más servicios, como es indicado por Gasque (1993). No obstante, contrario a los resultados de este estudio, Norman et al., (2010) reportaron 2.6 servicios para semen sexado en vaquillas, pero solo 1.8 para semen convencional, esto es debido a al reducido número de servicios con semen sexado, por lo que, de no quedar gestante los subsiguientes servicios se

realizaran con semen convencional, aun nado a esto la que la técnica de inseminación debe ser más delicada y cuidadosa (Bodmer et al., 2005). Ávila (2004) menciona que un factor muy importante que incrementa las dosis por gestación es el incremento de la consanguinidad, señalando que por cada 1% de aumento en la consanguinidad se aumenta en 0.17% el número de servicios por concepción. Esto es confirmado por Silva (1998), quien reporta que los hatos lecheros de Kentucky, Estados Unidos, presentaron un aumento en el número de servicios por concepción de 1.6 a 2.9, por un incremento en la consanguinidad. En Tizayuca, Hidalgo, Pérez (2007) reporta un promedio de 1.5 dosis por gestación para semen sexado, mientras que para semen convencional fue de 1.4 dosis, no encontrando diferencia importante entre los dos tipos de semen para SPC.

#### **4.1.3. Tasa de concepción (TC)**

En cuanto a los resultados de TC por tipo de semen, se observó un mayor porcentaje ( $P < 0.001$ ) al usar semen convencional (93.19%) que cuando se utilizó semen sexado (77.88%). Weigel (2004) reportó en un trabajo realizado en el 2001 en Wisconsin, que las novillas Holstein presentaron una TC de 58% usando semen sexado, mientras con dosis de semen convencional obtuvieron una TC de 67.3%. Contrariamente, en un estudio realizado por Schenk y Seide (2009), reportaron que la TC fue idéntica comparando dosis de 10 millones de espermatozoides sexados contra dosis de 10 millones de espermatozoides no sexados, sin embargo, los costos del procesamiento del semen resultaron prohibitivos comercialmente. En un

estudio realizado por Norman et al. (2010) reportaron que la TC en vaquillas Holstein fue de 56% para semen convencional y de 39% para semen sexado, lo que indica que el semen sexado fue sólo el 70% tan fértil para las inseminaciones en vaquillas como el convencional. Las diferencias en las tasas de concepción entre inseminaciones con semen sexado y convencional han variado mucho entre otros estudios, por ejemplo: 59% vs 33% en Suiza (Bodmer et al., 2005.), 56 vs 45%, en la Estados Unidos (DeJarnette et al., 2009), y 62 vs 49% en Dinamarca (Borchersen y Peacock, 2009), para semen convencional y sexado, repectivamente. Algunos estudios siguieren que en promedio, la fertilidad del semen sexado es 75% (70 a 80%) de la fertilidad con respecto al semen convencional en vaquillas vírgenes, es decir, la concepción con semen sexado es menor que la del convencional en 20 a 30% (DeJarnette et al., 2008).

Las tasas de concepción con semen sexado en concentraciones de 2 y 10 millones de espermatozoides por IA fueron prácticamente similares, entre 70 y 80%, con respecto al convencional, siempre y cuando se cuente con el uso adecuado de los espermatozoides sexados, excelente manejo del ganado, manejo cuidadoso de los espermatozoides y el uso de un inseminador capacitado (Seidel, 2007). Cuando las TC del semen sexado son iguales a las del semen convencional, estos hatos tienen una mayor oportunidad de recuperar la inversión y tener mayor ganancia por venta de vaquillas de reemplazo (Select Sires Inc., 2005; Hohenboken, 1999; Cassell, 2005). En México, De La Torre et al. (2012) reportan que el porcentaje de gestación en vaquillas fue del 26.34 % con semen sexado y 47.83% para semen convencional. Por su parte, Pérez (2007), utilizando vaquillas

reporta 58.8% para semen sexado y 67.3% para semen convencional, siendo estos valores distintos estadísticamente. La TC fue es menor para semen sexado, que la del convencional, lo es atribuido al daño provocado por el proceso de separación, a la tinción, exposición al laser y en gran medida a la menor concentración espermática con la que cuenta (Garner y Seidel, 2003).

#### **4.1.4. Porcentaje de mortalidad al nacimiento (TM)**

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos para la variable mortalidad al nacimiento, donde se observa que hubo mayor ( $P < 0.001$ ) mortalidad cuando se usó semen convencional (5.89%) que con semen sexado (2.84%). En un estudio realizado por Fetrow et al. (2007) reportaron que vacas y vaquillas que paren hembras tienen un menor porcentaje de mortalidad por distocia y reducen los costos previstos en relación con distocia; también estimaron que la reducción de pérdidas por distocia cuando se utiliza semen sexado en vaquillas es alrededor de \$ 5.38 por parto, lo cual explica los resultados encontrados en este estudio. Cady (1980) encontró que las vaquillas que paren machos tuvieron un 10% de mayor riesgo de presentar distocia, lo cual económicamente representaría \$14.70 de pérdida por cada macho, de acuerdo a los cálculos realizados por Fetrow et al. (2007). Por su parte Seidel (2003) y Weigel (2004) reportaron una mayor frecuencia de terneras con semen sexado y de menor tamaño, en consecuencia, se redujo la incidencia de distocia, especialmente para las nulíparas. En un trabajo con vaquillas Holstein, Borcherse y Peacok (2009) informaron tasa de mortalidad del 10% para terneras y 14% para los terneros machos de inseminaciones con

semen sexado en comparación con el 12 y el 20% de semen convencional. Dejarnette et al. (2009) encontraron que la tasa media de incidencia de nacidos muertos para novillas Holstein con terneras fue de 9.2% para inseminaciones con semen sexado y 10.5% para semen convencional. Los resultados encontrados sobre el efecto año en el SPC se presentan en el Cuadro 3. Donde se observa una tendencia a disminuir los SPC del 2007 al 2010. Esta tendencia a disminuir los SPC a través de los años puede atribuirse a distintos factores, tales como: mayor precisión en la técnica de IA, mayor eficiencia en la observación y detección de celos y/o mejoras en el manejo general del hato. Por otro lado, la tasa de concepción, el porcentaje de crías hembras y la mortalidad al nacimiento fueron similares ( $P>0.05$ ) a través de los años de estudio, lo cual indica que no han existido cambios importantes en estas variables a través del tiempo. Sin embargo, se observa que numéricamente la tasa de mortalidad y el porcentaje de crías hembras han disminuido ligeramente, valores que podrían estar asociados a una mayor nacencia de hembras, lo que implica una menor distocia y mortalidad al parto de las crías.

#### **4.2. Variables productivas**

Adicionalmente se dio seguimiento a los animales realizando análisis sobre algunos parámetros productivos de las mismas vaquillas en su primer parto. Los resultados encontrados para las variables productivas DEL, DPP, PP y PT al primer parto no presentaron diferencia significativa ( $P>0.05$ ) por tipo de semen

(Cuadro 4). Esta respuesta en estas variables seda porque los tipos de semen solo afectan las variables reproductivas y nos las variables productivas.

#### **4.2.1. Compañía de semen (CIA)**

El Cuadro 5 muestra los resultados para la variable compañías de semen, no observándose ningún afectó ( $P>0.05$ ) en los servicios por concepción, obteniéndose un promedio de 1.59 SPC para las tres compañías evaluadas. Estos resultados son similares a los publicados por Ávila (2004), quien reporta 1.5 SPC para semen sexado, mientras que para semen convencional reporta 1.4 servicios por concepción, demostrando que las dosis de las tres compañías son igual de eficaces.

Los resultados encontrados para las variables productivas DEL, DPP, PP al primer parto no presentaron diferencia significativa ( $P>0.05$ ) por tipo de semen (Cuadro 5). Porque estas variables reproductivas no depende de la compañía ni tipo de semen, por lo cual no presentan diferencias.

#### **4.2.3. Producción de leche por edad de la vaquilla**

En el cuadro 6 se presentan los resultados para las variables DEL, DPP, PP y PT de las vaquillas por edad a la IA. Se observó un menor ( $P<0.01$ ) DEL (279 d) para las vaquillas que parieron a 21 meses de edad, en relación a las paridas entre 22 y 25 meses (302 d). Aunque las paridas entre 22 y 23 meses presentaron similar ( $P>0.05$ ) DEL, pero estas fueron menor a los DEL observados a los 24 y 25

meses. Se ha sugerido que la edad óptima al primer parto en Holstein, para obtener el máximo beneficio, debe ser entre 23 y 24 meses de edad (Heinrichs, 1993). No obstante este estudio muestra que debe ser entre 24 y 25 meses el primer parto para tener mayor cantidad de DEL, bajo condiciones climáticas y de manejo de los establos de Tijuana, Baja California.

La edad al primer parto puede ser manipulada mediante la alteración de las tasa de crecimiento, sin embargo, cuando las vaquillas se gestan y se alimentan de manera similar para lograr tasa de crecimiento similares, se observa que la variabilidad al primer parto está dictada por la eficiencia reproductiva durante la crianza, aun cuando los índices de nutrición y crecimiento puedan ser adecuados (Van Amburgh et al., 1988).

#### **4.2.4. Días al pico de producción (DPP)**

En el cuadro 6 se presentan los DPP. Se observó que fueron mayores ( $P < 0.001$ ) los DPP (101.94) y (99.48) en vaquillas que parieron a los 22 y 23 meses respectivamente en relación a las paridas entre 21, 24 y 25 meses de edad. Estos resultados difieren a lo reportado por (García et al., 2007), quienes evaluaron producción de leche por nivel tecnológico, encontraron 78.1 DPP para vaquillas de primer parto, en comparación con las de tercer parto 58.3 DPP. Amburgh et al. (1988) reportaron que el efecto de la edad sobre los días al pico de producción puede atribuirse a que las vacas con mayor edad al parto tienen

una mayor tasa de proliferación de células lactotrofas mayor en comparación con las de menor edad, lo cual permite que alcancen el pico de producción más rápido.

#### **4.2.5. Pico de producción (PP)**

En el cuadro 6 se presentan los resultados para la variable PP. Se observó mayor ( $P < 0.01$ ) el PP (39.8 kg) en vaquillas que parieron a los 21 meses de edad, en relación con las paridas entre 22 y 25. Para maximizar el rendimiento de la lactancia y reducir los costos de crianza, el promedio a primer parto en raza Holstein se recomienda que sea alrededor de 24 meses, con un peso corporal mayor a 560 kg después del parto (Heinrichs, 1993; Tozer y Heinrichs, 2001). Heinrichs y Vázquez - Anon (1993) encontraron que novillas que paren a 26 meses de edad produjeron cantidades similares de leche a 305 d, en relación a las que parieron a los 24 meses de edad.

Las vaquillas más pequeñas son propensas a experimentar distocia, y animales con distocia son más propensos a desarrollar problemas de salud que afectan a la lactancia (Erb et al., 1985). Además, las vaquillas pequeñas pueden ser menos capaces de competir en el comedero, por que el dominio en el ganado lechero está determinado en parte por el tamaño y el peso corporal (Grant y Albright, 1995).

Posteriormente del parto, el consumo voluntario de MS no es suficiente para cubrir los requerimientos de las vaquillas, por lo cual los animales entran en un balance energético negativo. En estas situaciones, la energía necesaria se



obtiene a partir del alimento consumido y de las movilizaciones de las reservas corporales. Más del 40% de la grasa butírica de la leche producida en los primeros días de lactancia es sintetizada a partir de las reservas de las grasas movilizadas (Bell, 1995). La movilización de reservas y la consecuente pérdida de estado corporal permiten que más del 30% de la producción durante el primer mes de lactancia y su utilización, se extienda hasta que la producción se reduce al 80% de la lograda en el pico productivo (Gallo et al., 1996). La movilización de reservas en el inicio de la lactancia no es mala, mientras que el exceso de movilización si lo es.

#### **4.2.6. Producción total (PT)**

En el cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos para la variable PT de las vaquillas por edad al parto. Se observó una mayor producción ( $P < 0.01$ ) en vaquillas paridas a los 25 meses de edad (10,990 kg), y una menor producción en vaquillas paridas entre 22 (8,786 kg) y 23 (8,975 kg). Van Amburgh et al. (1988) encontraron una reducción de 5% en el rendimiento de leche en vaquillas que paren a 21.3 meses, con una tasa de crecimiento prepuberal acelerada de 1.0 kg/d, pero indicó que las reducciones se asociaron a un menor peso corporal al momento del parto para estas novillas. La reducción del rendimiento en la producción de leche durante la primera lactancia en vaquillas bajo crecimiento acelerado, también puede estar asociado con una reducción de parenquitomasa ADN en el tejido secretor y de las glándulas mamarias (Sejrsen et al., 2000).

Tozer y Heinrichs (2001) estimaron que hay una reducción en los costos de crianza de 18% cuando la edad al primer parto se reduce de 25 a 21 meses. Sin embargo, estos cálculos no consideran los cambios que ocurren en la reproducción, producción de leche y la supervivencia de las vacas primíparas en diferentes edades.

La Figura 2 muestra los resultados sobre la variable SPC por efecto de la interacción época por año sobre los SPC. Se observó un mayor ( $P < 0.01$ ) número de SPC en las vaquillas que fueron inseminadas en la época de Primavera, comparado con las relacionadas en Invierno. Araujo (2004) menciona que el desarrollo folicular es más regular en las estaciones de primavera que en los periodos de invierno, y que además está condicionado por una serie de mecanismos o controles en interrelaciones entre el ambiente, sistema nervioso y la actividad reproductiva.

Los factores ambientales que se presentan en las diversas estaciones del año tienen influencia sobre la fertilidad (Lehman, 1986), ya que estos actúan a través de diversas vías neurales extra hipotalámicas para después influir sobre las hormonas liberadoras de gonadotropinas en el hipotálamo, lo cual va a inducir a la hormona luteinizante (LH) y a la hormona folículo estimulante (FSH) por vía sistema venoso (Lehman, 1986).

El promedio general de DEL en vacas de primer parto en el presente estudio fue de 305 d. La Figura 3 muestra los promedios de DEL por año. Este promedio general difiere a lo reportado por Pérez (1986) y por Saucedo (1987) de 292 d y por Núñez (1988) de 293 d, respectivamente, en estudios realizados en

hatos individuales en el estado de Chihuahua. Sin embargo, difiere de lo señalado por Abubakar et al. (1987) y Avendaño (1989), quienes realizaron estudios de hatos de diversos estados de nuestro país encontrando promedios de 263 y 288 días en leche respectivamente. Estas diferencias entre resultados publicados y los encontrados se deben a la época en la que se desarrollo cada estudio. Con respecto a los DEL por año, se observa que a través de los cuatro años de estudio, los DEL fueron menores ( $P < 0.01$ ) para 2010 comparado con los otros años (Figura 3).

El promedio de PP en vacas de primer parto analizadas en el presente estudio fue de 36.5 kg. La figura 4 muestra los promedios para la variable PP por año. Este promedio general es superior a lo reportado por Piedra Flores et al. (2012), quienes evaluaron el comportamiento de la curva de lactancia en vaquillas Holstein x cebú en el valle de Cajamarca, Perú, reportando un PP de 18 kg. Las vacas primerizas tienden a dar curvas más lineales, ya que el pico de lactación es 25% menor que las vacas adultas; aunque las vacas adultas, aunque alcanzan mayores picos, no muestran mayor persistencia después del pico (Gasque 2008).

Harris y García – Bojalil (1989) indican que las vacas necesitan estar en óptimas condiciones corporales de 2.5 a 3.0 para alcanzar el pico de producción más alto, y una mayor persistencia de la curva, ya que en este periodo de lactación la grasa corporal es utilizada por el mismo animal para cubrir sus deficiencias energéticas ocasionadas por la producción de leche. El comportamiento fisiológico de lactación del ganado lechero depende en gran

medida del manejo y la alimentación, la cual está en función de las demandas de cada etapa de la curva de lactancia (Cervantes et al., 2006).

El promedio general de DPP en vacas de primer parto analizadas en el presente estudio fue de 101 d. La Figura 5 muestra los promedios para la variable DPP por efecto de la interacción año por época. Los resultados son inferiores a los reportado por el modelo de Wood et al. (1988), quienes encontraron 132 d al evaluar en vacas de primer parto. Pero superiores a los reportados por García et al. (2007), quienes indican un promedio de 78.1 d. Esta variación entre resultados se debe a que las vaquillas de primer parto tienen curvas de lactancias menos persistentes y con una producción de leche menor que las multíparas. En este sentido, Dijkstra et al. (1997) señalan que en vacas de primer parto se observa una tasa de proliferación celular menor que en las multíparas, lo que pudiera afectar la rapidez con la que se presentan los DPP en vacas de primer parto. Con respecto a los DPP por época del año, se observa que a través de los cuatro años de estudio, la producciones fueron mayores ( $P < 0.001$ ) en la época de invierno para 2008 y 2009 (Figura 5). Estas diferencias podrían atribuirse al manejo alimentación que se realizan de un establo a otro. Las diferencias en producción por año repercuten en la fisiología del animal, así como también en los mejoramientos genético, cambios en los sistemas de alimentación y el manejo de los hatos.

El promedio general de PT en vacas de primer parto en el presente estudio fue de 8 964 kg. La Figura 6 muestra la producción total por efecto de interacción época por año. El promedio general es superior a lo reportado por Pérez et al.

(1986) y Molina et al. (1991), quienes encontraron un promedio de 7,497 y 8,437 kg, respectivamente, en un hato lechero en Mexicali, B. C. México. En otros estudios que involucran registros de todo el país e inscritos en el control de producción láctea, Abubakar et al. (1987) encontraron una media de 7,082 kg, en tanto que Avendaño (1989) indica un promedio medio de producción de 6,687 kg durante un periodo de seis años. Las diferencias en comparación con el presente estudio seguramente están influenciadas por el tiempo en que fueron realizados. Con respecto a la PT por efecto de la interacción época por año, se observó que la producción fue significativa mayor ( $P < 0.01$ ) en primavera que en invierno durante el 2007, mientras que en los otros años no se encontraron diferencias entre épocas (Figura 6). Esta diferencia entre primavera e invierno del 2007 con respecto a los demás años se da por el manejo, la alimentación y en menor medida a los factores climáticos.

Las condiciones del medio afectan el comportamiento productivo de las vaquillas, limitando la expresión de su potencial genético. Dentro de los factores que tienen mayor influencia en la producción de leche, la alimentación tiene importancia para el rendimiento óptimo, independientemente de la estación del año (Bodisco et al., 1996). Es sabido que la raza Holstein tiene su potencial para producir grandes volúmenes de leche, sin embargo, las condiciones ambientales a las que se encuentran sometida la limita.

#### 4.2.7. Costos por el uso de semen

En el modelo para analizar la variable costo del semen se incluyó tipo de semen, compañía proveedora del semen, año y sus interacciones, las cuales no fueron significativas ( $P>0.05$ ). El Cuadro 4 presenta los resultados sobre el costo por tipo de semen, donde se observa que es significativamente mayor ( $P<0.01$ ) el costo en semen sexado que para semen convencional ( $41.30 \pm 0.62$  y  $23.55 \pm 0.51$  dólares respectivamente), lo que significa una diferencia de 17.78 dólares. Estos resultados son menores a los reportados por Olynk y Wolf et al. (2007), quienes indican que el costo por unidad del semen convencional y sexado es 15 y 45 dólares, respectivamente, lo cual indica una diferencia de 30 dólares.

Si se toma en cuenta el valor señalado en la literatura de aproximadamente 1.5 servicios por concepción, esta inversión se recupera cuando se obtiene 88 contra 48% de hembras con semen convencional. Las ventajas económicas de usar semen sexado para la inseminación artificial dependerá grandemente de la diferencia que exista entre el valor de las crías machos o de hembras, de la tasa de preñez y de los costos extras del semen sexado (Seidel, 2003). El semen sexado tiene un mayor costo, es más delicado y su fertilidad es ligeramente más baja que la del convencional. Es una herramienta que ha probado ser eficiente en vaquillas, sin embargo, se deben determinar las condiciones para poder aplicar esta tecnología. En Estados Unidos, el uso del semen sexado en vacas ha ido en aumento, desde 0.1% en 2006, 1.3% en 2007 y 2.1% en 2008, del total de la producción lechera, lo cual indica que su uso es viable (Hutchison y Norman, 2009). En una proyección temprana, Van Vleck (1981) estimó que el uso del

semen sexado puede ser rentable con un costo máximo de \$ 19 por unidad en base a un precio de \$ 6 por unidad para semen convencional, pero que también se estima que la tasa de progreso genético podría aumentar en 15% con una ampliación en el uso de semen sexado.

Seidel (2003) informó que el uso del semen sexado puede aumentar hasta resolver la escasez de vaquillas de reemplazo, pero puede disminuir una vez que el déficit se corrige. El uso de semen sexado también puede ayudar a evitar problemas de bioseguridad en la compra de reemplazos fuera de la manada (Seidel, 2003; Weigel, 2004). El costo añadido de una unidad de sexado semen se estimó ser de \$ 30 a 46 dólares en 1999 (Amann, 1999) y de \$ 30 a 35 dólares en 2005 (Cassell, 2005; DeJarnette, 2005). Ettema et al. (2007) modelaron el uso de semen sexado para condiciones de la industria lechera danesa y concluyen que el beneficio del semen sexado era posible. Sin embargo, el precio de mercado de los animales de reemplazo se vería afectado, lo cual afecta directamente a la rentabilidad del uso de semen sexado.

La Figura 7 muestra los promedios de costos de las pajillas por compañía vendedora de semen en el presente estudio, los cuales fueron en promedio 40 y 23 dólares para semen sexado y convencional, respectivamente ( $P < 0.01$ ), lo que produce un sobre precio de 17 dólares por pajilla cuando se usa semen sexado. Este resultado fue consistente a través de las 3 compañías de donde se adquirió el semen. Por otro lado, la Figura 8 muestra los resultados de la interacción tipo de semen y año, la cual afectó de manera significativa ( $P < 0.01$ ) el costo promedio por

pajilla. Esta gráfica muestra que el costo del semen sexado es consistentemente mayor que el convencional a través de los 4 años analizados. En relación al costo de la pajilla, es difícil realizar una comparación confiable entre hatos, ya que la decisión de la compra de las pajillas es muy particular y puede presentar variaciones importantes entre hatos. Es decir, el costo de la pajilla depende del criterio para su selección, lo que puede estar influenciado por las características que el toro mejore, la edad del toro, el número de hijas en la prueba y los ancestros (principalmente padre y madre). En cuanto a las características que los toros mejoran, es importante mencionar que debido a que en México no se remunera al productor por el nivel de grasa, proteína o sólidos totales en la leche producida, esos caracteres no se toman en cuenta al momento de seleccionar un semental. Por eso, la selección enfatiza solo en la producción de leche, lo cual puede afectar negativamente a la composición de la leche. En la explotación bajo estudio, el productor enfatiza en tres aspectos importantes para seleccionar los sementales: primero el precio, tratando de que no sean mayores de 20 y 45 dólares para convencional y sexado; segundo, un índice que incluya mejoras en producción de leche y tipo (Type Production Index), y tercero, los ancestros del animal, que sean conocidos por su mérito genético en producción de leche (Comunicación personal Ing. Martín Adame Beltrán).



## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del Valle de Mexicali, Baja California, el uso del semen sexado en la IA de vaquillas Holstein de reemplazo permitió obtener un 89% de crías hembras, casi el doble de lo obtenido con semen convencional. Sin embargo, los parámetros reproductivos servicios, tales como por concepción y tasa de concepción fueron mejorados usando semen convencional comparando el uso del semen sexado. La tasa de mortalidad fue menor en vaquillas que fueron inseminadas con semen sexado, lo cual coincidió con el mayor porcentaje de hembras y sugiere una menor frecuencia de distocias. No obstante, la pajilla de semen sexado costó en promedio 17 dólares más que la pajilla con semen convencional. A través de los años, solo el promedio de servicios por concepción mostraron una tendencia a disminuir. Las variables productivas no mostraron diferencia por efecto del tipo de semen, y sólo la producción de leche total difirió por compañía de semen. Adicionalmente se analizó la producción de leche total por edad de la vaquilla al primer parto, observando que la producción aumentó conforme el parto se presentó de los 21 a los 25 meses. La interacción año por época de parto afectó algunas variables productivas y reproductivas, lo cual indicó que la época de primavera tuvo un efecto negativo sobre servicios por concepción, días en leche, días al pico de producción, pico de producción y producción total de leche. No obstante su costo, el semen sexado produjo significativamente más hembras y disminuyó los problemas de mortalidad al parto en vaquillas Holstein de reemplazo.

## **VI. APENDICE**

Cuadro 1. Proporción sexual de las crías (PSC) producto de semen sexado y convencional en vaquillas Holstein de reemplazo.

<b>Tipo</b>	<b>PSC</b>
Sexado	88.89 (550/633) <sup>a</sup>
Convencional	48.88 (481/984) <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Porcentajes con distinta literal difieren (P<0.01)

Cuadro 2. Promedios y porcentajes de parámetros reproductivos por tipo de semen en vaquillas Holstein de reemplazo.

<b>Tipo</b>	<b>N</b>	<b>SPC</b>	<b>TC (%)</b>	<b>TM (%)</b>
Convencional	984	1.72 ± 0.03 <sup>a</sup>	93.19 (917/984) <sup>a</sup>	5.89 (58/984) <sup>a</sup>
Sexado	633	1.21 ± 0.02 <sup>b</sup>	77.88 (493/633) <sup>b</sup>	2.84 (18/633) <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> Medias en columna con diferente literal difieren (P<0.01).

SPC= Servicios por concepción; TC= Tasa de concepción; TM= Tasa de mortalidad al nacimiento.

Cuadro 3. Promedios y porcentajes de parámetros reproductivos por año en vaquillas Holstein de reemplazo.

<b>Año</b>	<b>N</b>	<b>SPC</b>	<b>TC</b>	<b>TM</b>
<b>2007</b>	237	1.81 ± 0.06 <sup>a</sup>	89.87 (213/237) <sup>a</sup>	4.64(11/237) <sup>a</sup>
<b>2008</b>	454	1.56 ± 0.04 <sup>a</sup>	85.46 (388/454) <sup>a</sup>	4.85(22/454) <sup>a</sup>
<b>2009</b>	511	1.47 ± 0.03 <sup>a</sup>	88.26 (451/511) <sup>a</sup>	5.68(29/511) <sup>a</sup>
<b>2010</b>	415	1.37 ± 0.03 <sup>a</sup>	86.27 (358/415) <sup>a</sup>	3.37(14/415) <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Porcentajes estadísticamente similares (P>0.05)

SPC= Servicios por concepción; TC= Tasa de concepción; TM= Tasa de mortalidad al nacimiento.

Cuadro 4. Medias y errores estándar de parámetros productivos por tipo de semen en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.

<b>Tipo</b>	<b>Costo</b>	<b>DEL</b>	<b>DP</b>	<b>PP</b>	<b>PT</b>
<b>Sex</b>	41.30 ± 0.62 <sup>a</sup>	294.8 ± 4.38 <sup>a</sup>	90.21 ± 3.42 <sup>a</sup>	35.61 ± 0.69 <sup>a</sup>	8531.9 ± 238.6 <sup>a</sup>
<b>Con</b>	23.55 ± 0.51 <sup>b</sup>	296.2 ± 2.77 <sup>a</sup>	98.32 ± 2.16 <sup>a</sup>	36.90 ± 0.43 <sup>a</sup>	8940.4 ± 139.4 <sup>a</sup>

<sup>a, b</sup> Medias con diferente literal en columna difieren (P<0.01).

Medias con misma literal en hilera son estadísticamente iguales P(>0.05).

Con= Semen convencional, Sex= Semen sexado

DL= Días en leche; DP= Días al pico de producción; PP= Producción de leche al pico; PT= Producción total de leche.

Cuadro 5. Medias y errores estándar de parámetros productivos y reproductivos por compañía de semen en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.

<b>CIA</b>	<b>SPC</b>	<b>DEL</b>	<b>DPP</b>	<b>PP</b>	<b>PT</b>
<b>A</b>	1.61 ± .03 <sup>a</sup>	295.1 ± 3.58 <sup>a</sup>	90.30± 2.80 <sup>a</sup>	36.10± .56 <sup>a</sup>	8407.0 ± 191.94 <sup>b</sup>
<b>B</b>	1.58 ± .04 <sup>a</sup>	293.6 ± 4.22 <sup>a</sup>	96.08± 3.29 <sup>a</sup>	36.47± .66 <sup>a</sup>	9119.2 ± 204.16 <sup>a</sup>
<b>C</b>	1.60 ± .04 <sup>a</sup>	297.8 ± 4.03 <sup>a</sup>	96.42± 3.14 <sup>a</sup>	36.19± .63 <sup>a</sup>	8682.1 ± 203.18 <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> Medias con diferente literal por columna difieren (P<0.01)

Medias con la misma literal en hilera son estadísticamente iguales P(<0.05).

CIA= Compañía, SPC= Servicios por concepción, A= Alta Genetics, B= ABS, C= Select Sires.

DL= Días en leche; DP= Días al pico de producción; PP= Producción de leche al pico; PT= Producción total de leche.

Cuadro 6. Medias y errores estándar de parámetros productivos en vaquillas Holstein de reemplazo de acuerdo a su edad al primer parto.

Meses	DEL	DPP	PP	PT
21	278.97 ± 42.85 <sup>a</sup>	72.60 ± 41.73 <sup>a</sup>	39.77 ± 3.61 <sup>a</sup>	9055.10 ± 2204.55 <sup>b</sup>
22	302.75 ± 2.98 <sup>b</sup>	101.94 ± 2.9 <sup>b</sup>	35.93 ± 0.25 <sup>c</sup>	8785.65 ± 153.76 <sup>d</sup>
23	302.66 ± 2.99 <sup>b</sup>	99.48 ± 2.91 <sup>b</sup>	36.52 ± 0.25 <sup>c</sup>	8975.13 ± 154.15 <sup>d</sup>
24	316.24 ± 5.84 <sup>c</sup>	98.29 ± 5.69 <sup>b</sup>	38.40 ± 0.49 <sup>b</sup>	9795.19 ± 300.94 <sup>c</sup>
25	355.55 ± 16.23 <sup>d</sup>	66.13 ± 15.81 <sup>c</sup>	39.15 ± 1.36 <sup>a</sup>	10989.91 ± 385.20 <sup>a</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> Medias con diferente literal por columna difieren (P<0.01).

Medias con la misma literal dentro de hilera son iguales (P>0.05).

DL= Días en leche; DP= Días al pico de producción; PP= Producción de leche al pico; PT= Producción total de leche.



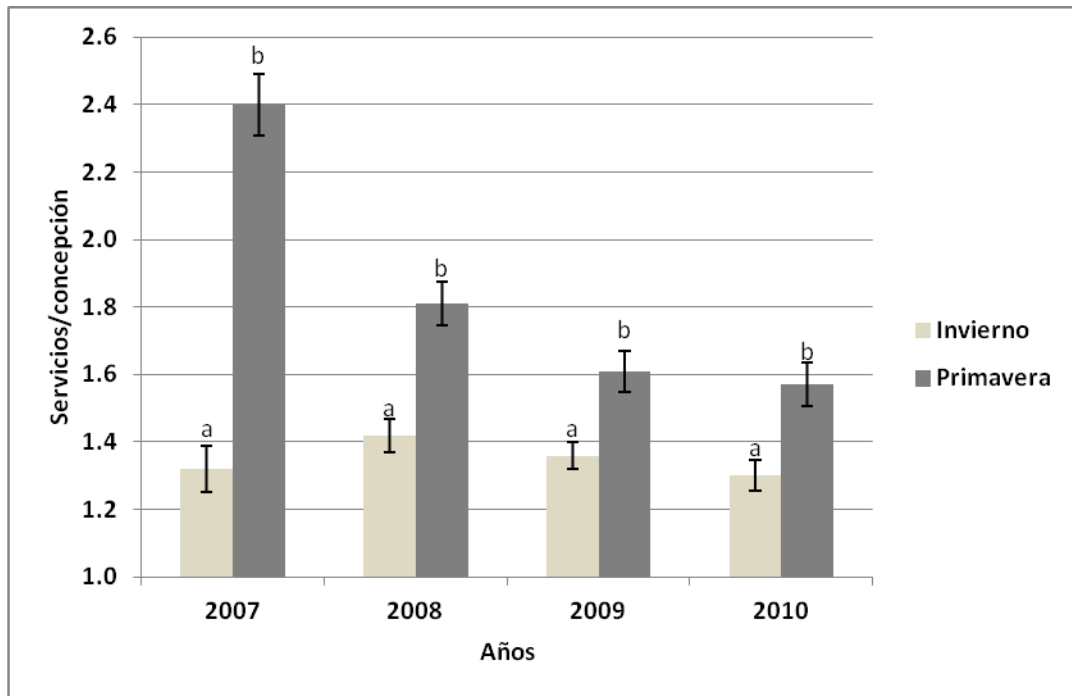


Figura 2. Promedios de servicios generales de concepción por época y año de IA en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. <sup>a,b</sup> Promedios de SPC dentro de año son altamente significativos (  $P < 0.01$ ). Época: invierno (noviembre – abril), Época: primavera (mayo – octubre).

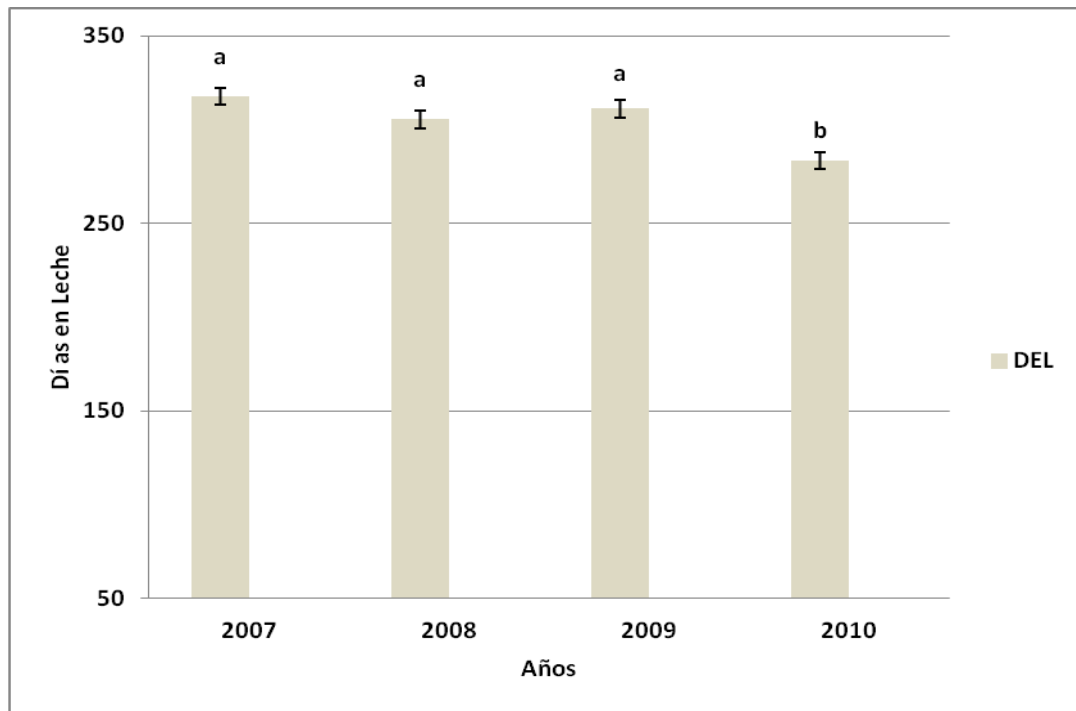


Figura 3. Promedios de días en leche por año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. <sup>a,b</sup> Distinta literal por año son diferentes ( $P < 0.01$ ), Misma literal son estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ).

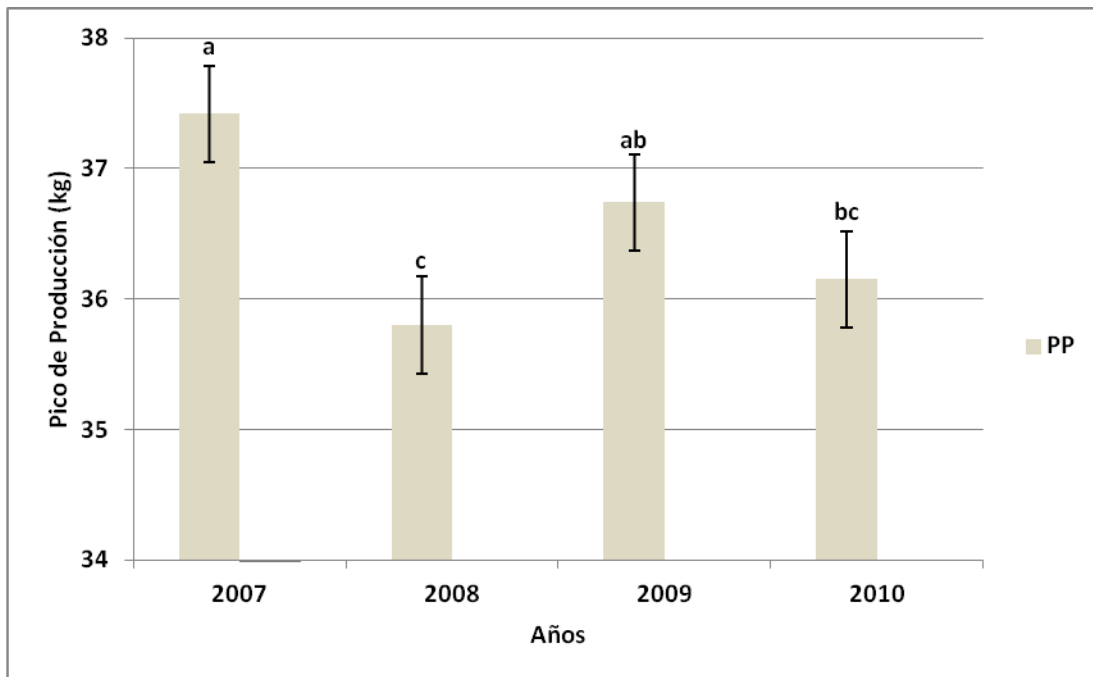


Figura 4. Promedios de pico de producción por año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. <sup>a,b,c</sup> distinta literal difieren ( $P < 0.01$ ), misma literal son estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ).

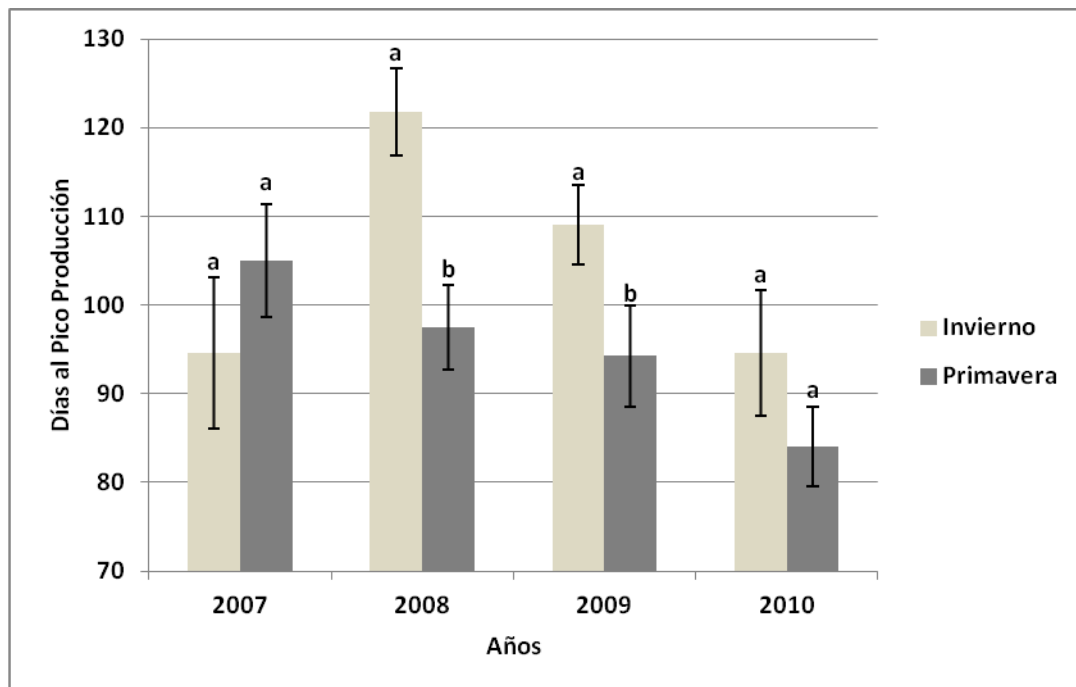


Figura 5. Promedios de días al pico de producción por época y año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. <sup>a,b</sup> distinta literal entre año difieren ( $P < 0.01$ ), misma literal entre año son estadísticamente iguales  $P (> 0.05)$ .

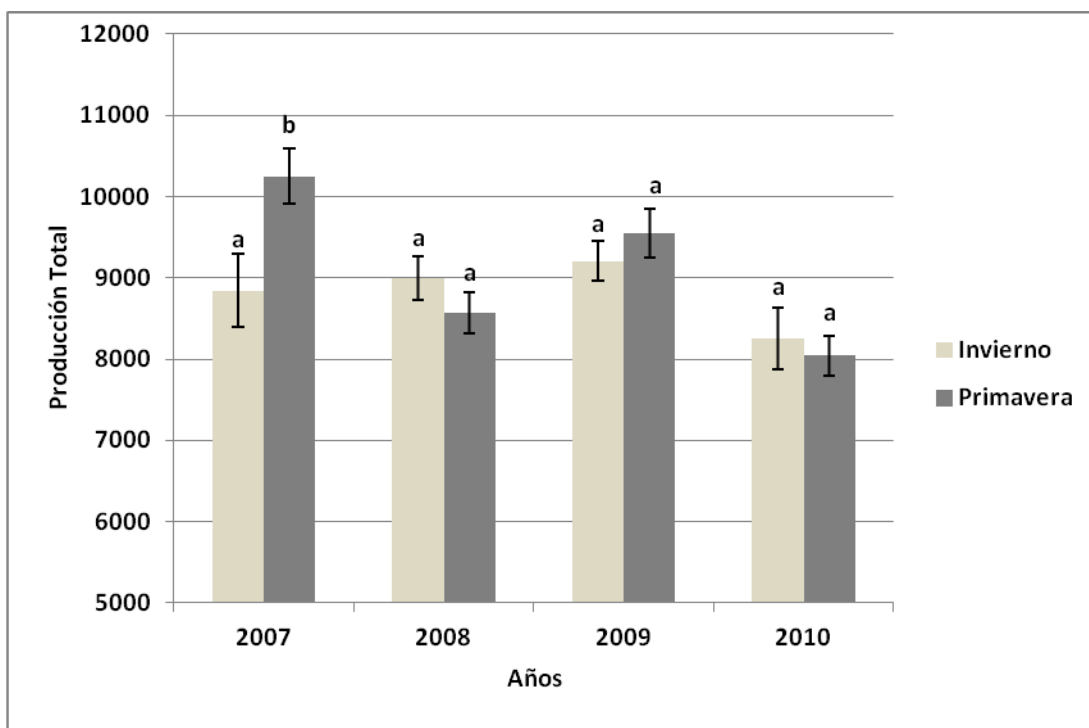


Figura 6. Promedios para la variable producción total de leche por época y año de parto en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo. <sup>a,b</sup> Distinta literal difieren ( $P < 0.01$ ), misma literal dentro de año son estadísticamente iguales  $P > 0.05$ .

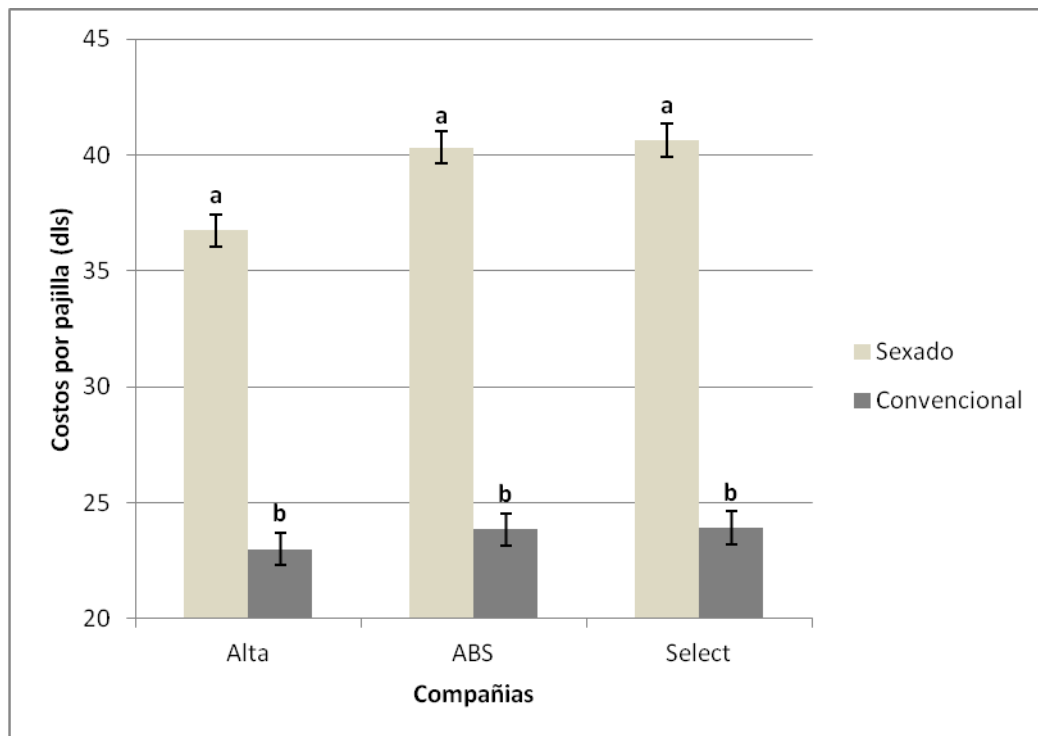


Figura 7. Promedios de costos de pajilla de semen por compañía en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.

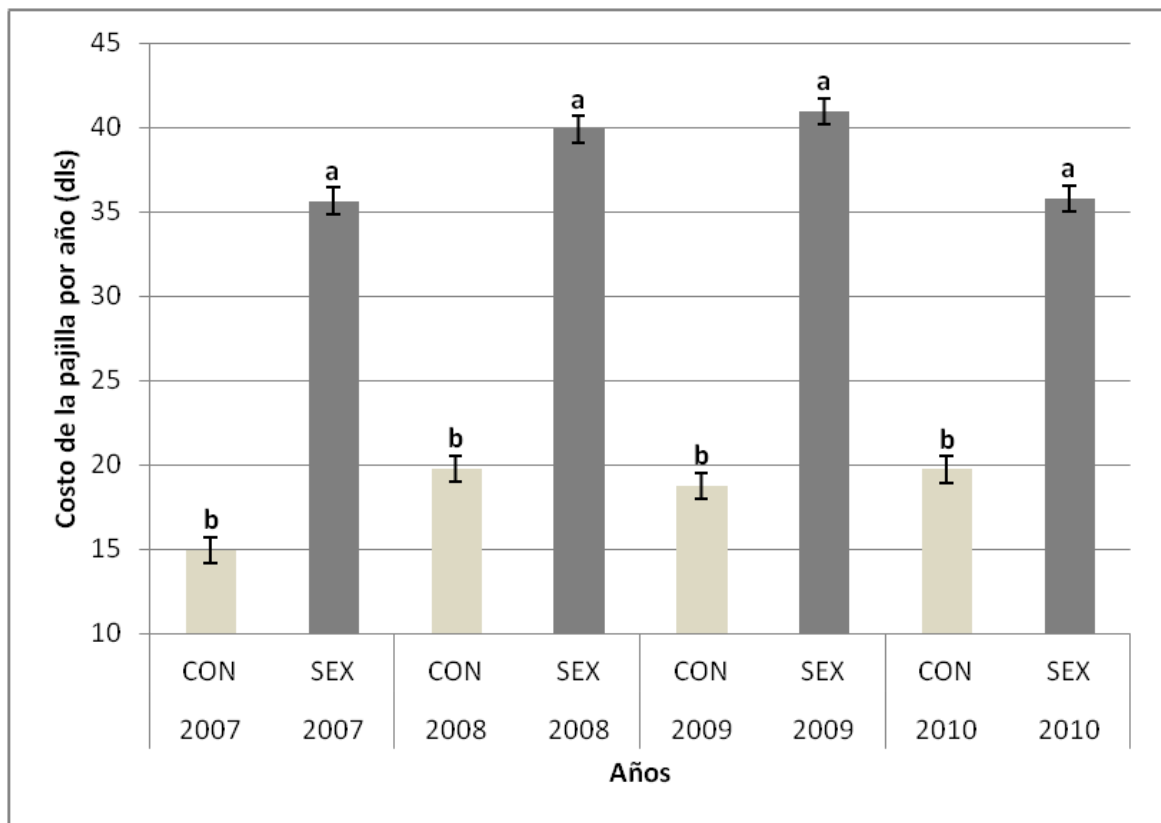


Figura 8. Promedios de costo por pajilla por tipo de semen y año en una explotación de vaquillas Holstein de reemplazo.

## VII. LITERATURA CITADA

- Abubakar, B.Y., R.E. McDowell, and L.D. Van Vleck. 1987. Interaction of environment for breeding efficiency and milk production of Holstein in México and Colombia. *Trop. Agr.* 64:26.
- Amann, R.P. 1999. Issues affecting commercialization of sexed sperm. *Theriogenology* 52:1441-1457.
- Araujo, G.A. 2004. Pubertad en la hembra bovina. Programa de zootecnia. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. CEAD Valledupar, Colombia. 38.
- Avendaño, R.L. 1989. Estimación de la tendencia genética para producción de leche en hatos Holstein de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila, G.J. 2004. Factores que influyen en la fertilidad. En: Memorias Científicas, XXVIII Congreso Nacional de Buiatria. Universidad Nacional Autónoma de México, FMVZ. 32-40.
- Ávila, T.S. 1988. Producción Intensiva de Ganado Lechero. Ed. CECOSA, México, D.F. 44.
- Bath, D.L., F.N. Dickinson, H.A. Tucker, R.D. Appleman. 1984. Ganado Lechero: Principios, Prácticas y Beneficios. Ed. Interamericana. México, D.F.
- Bell, A.W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73: p. 2804-2819.
- Bodisco, V., E. Ceballos y A. Carnevali. 1996. Influencia de la estación climática sobre la producción de las vacas criollas lecheras. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Memoria. México, D.F. 141-153.
- Bodmer, M., F. Janett, M. Hässing, N. Den Dass, P. Reichert, and R. Thun. 2005. Fertility in heifers and cows after low dose insemination with sex sorted and non-sorted sperm under field conditions. *Theriogenology* 64:164-55.
- Borchersen, S., and M. Peacock. 2009. Danish A.I. field data with sexed semen. *Theriogenology* 71:59-63.



- Cady, R.A. 1980. Evaluation of Holstein bulls for dystocia. Ph.D. Dissertation. Cornell University. Ithaca, New York, USA.
- Cassell, B. 2005. Does sexed have a role in your breeding program? *Hoard's Dairyman* 150:396.
- Chatterjee, S., and C. Gagnon. 2001. Production of reactive oxygen species by spermatozoa undergoing cooling, freezing, and thawing. *Mol Reprod. Dev.* 59:451– 458.
- Cerchiaro, I., M. Cassandro, R. Dal Zotto, P. Camier, and L. Gallo. 2007. A field study on fertility and purity of sex-sorted cattle sperm. *J. Dairy Sci.* 90:2538-2542.
- Cervantes, P., L. Fernández, y P. Ponce. 2006. Caracterización de las curvas de lactancias en producción y composición láctea de principales razas y cruza existentes en el trópico mexicano. *Rev. Salud Anim.* 28:90-95.
- De La Torre, S.J.F., G.F. Villaseñor, C.E. Estrada, G.H. Álvarez, G.E. Villaseñor, y B.H. Coronado. 2012. Conservación in vitro de germoplasma Vegetal. Publicación especial No. 1. INIFAP, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.106.
- De Vries, A. 2009. The economics of sexed semen in dairy heifers and cows. The Institute of food and Agricultural Sciences (IFAS) Extension, University of Florida, AN 214. Gainesville, FL. 25.
- DeJarnette, J.M. 2005. Sexed semen: Is it finally a reality? *Select sires selections* January. 8-9.
- DeJarnette, J.M., R.L. Nebel, B. Meek, J. Wells, and C.E. Marshall. 2007. Commercial application of sex sorted semen in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 90:228-239.
- DeJarnette, J.M., R.L. Nebel, and C.E. Marshall. 2009. Evaluating the success of sex-sorted semen in US dairy herds from on farm records. *Theriogenology* 71:49–58.
- Dejarnette, J.M., R.L. Nebel, C.E. Marshall, J.F. Moreno, C.R. McCleary, and R.W. Lenz. 2008. Effect of sex-sorted sperm dosage on conception rates in Holsteins in heifers and lactating cows. *J. Dairy Sci.* 91:1778-1785.
- Dejarnette, J.M., C.R. McCleary, M.A. Leach, J.F. Moreno, R.L. Nebel, C.E. Marshall. (2010). *J. Dairy Sci.* 93: 4079-4085.

- Den Daas, J.H., G. De Jong, L.M. Lansbergen, and A.M. Van Wagtedonk 1998. The relationship between the number of spermatozoa inseminated and the reproductive efficiency of individual dairy bulls. *J. Dairy Sci.* 81:1714 -1723.
- Dijkstra, J., J. France, M.S Dhanoa, J.A. Maas, M.D. Hanigan, A.S. Rook, and D.E. Beever. 1997. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. *J. Dairy Sci.* 80:2340-2354.
- Erb, H.N., R.D. Smith, P. A. Oltenacu, C. L. Guard, R. B. Hillman, P. A. Powers, M. C. Smith, and M. E. White. 1985. Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield and culling in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 68:3337–3349.
- Espinosa, M.A., y O.L.J. Montiel. 2011. Indicadores de crecimiento y desarrollo en crianza de vaquillas de reemplazo. *Ganadero XXXVI*: 94-102.
- Espinoza, C.R., and A.I. Córdova. 2012. Sexing sperm of domestic animals. *Trop. Anim. Health Prod.*, 45:1-8.
- Espinoza, J.L.V. 2006. Apuntes de Planes de Mejoramiento Genético. UABCS, México. (En Proceso de Revisión).
- Ettema, J.F., D. L. Hoag, and G.E. Seidel Jr. 2007. Economic opportunities for sexed semen on commercial dairies. *Hoard's West* 9:67-68.
- Ettema, J.F., and J.E.P. Santos. 2004. Impact of ages of first calving on lactation, reproduction, health, and income in first parity Holsteins on commercial farms. *J. Dairy Sci.* 87: 2730-2742.
- Faber, D.C., J.A. Molina, C.L. D.F. Vander Zwaag, y L.B. Ferré. 2003. Commercialization of animal biotechnology. *Theriogenology.* 59: 125-38.
- Fetrow, J., M. Overton, and S. Eicker. 2007. Sexed semen: economics of a new technology. *Proceedings Western Dairy Management Conference*, March 7-9, Reno, NV. Available at <http://www.wdmc.org/2007/fetrow.pdf>.
- Finch, V.A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in tropics. *J. Anim. Sci.* 62: 531-539.
- Flipot, P.M., G. L. Roy and J.J. Dufour. 1988. Effect of peripartum energy concentration performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 71: 1840-1850.
- Frijters, A.C.J., E. Mullaart, R.M.G, Roelofs, R.P, van Hoorne, J.F, Moreno, O, Moreno y J.S, Merton. 2009. What affects fertility of sexed bull semen more, low sperm dosage or the sorting process? *Theriogenology.* 71: 64-67.

- Gallo, L.P., Carnier, M. Cassandro, R. Montovani, L. Bailoni, B. Contiero, and G. Bitante. 1996. Change in body condition score of Holstein cows as affected by parity and mature equivalent milk yield. *J. Dairy Sci.* 79: 1004-1015.
- García, E. 1985. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). 2da ed. México, DF: Instituto de Geografía, UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, M., M. Valentina y A. Norlan. 2007. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agro empresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia* 32:841-846.
- Garner, D.L. 2001. Sex sorting mammalian sperm: concept to application in animals. *J. Andrology.* 22: 519-526.
- Garner, D.L., and G.E. Jr. Seidel. 2003. Past, present and future perspectives on sexing sperm. *Can J. Anim. Sci.* 83: 375-384.
- Garner, D.L. 2006. Flow cytometric sexing of mammalian sperm. *Theriogenology* 52:1421-1433.
- Garner, D.L., and G.E. Jr. Seidel. 2008. History of commercializing sexed semen for cattle. *Theriogenology.* 69: 357-895.
- Garner, D.L., and G.E. Jr. Seidel. 2000. Sexing Bull Sperm. *International Veterinary information Service Ed. Chenoweth P.J. Ithaca New York.* 34.
- Gasque, G.R. 1993. *Enciclopedia del Ganado Bovino.* Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Gasque, R., 2008. *Enciclopedia Bovina.* Universidad Nacional Autónoma de México. 1ra ed. México D.F.
- George, P., and P. Patterson. 1992. Determination of reproductive fertility sires. *J. Anim. Sci.* 71: 52-59.
- Gosálvez, J., M.A.C. Ramírez, C. López-Fernández, F. Crespo, K.M. Evans, M.E. Kjelland, y J.F. Moreno. 2011. Sex sorted bovine spermatozoa and DNA damage: I. Static features. *Theriogenology* 75:197-205.
- Grant, R.J., and J. L. Albright. 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 2791-2803.
- Hafez, E.S.E y B. Hafez. 2007. *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales.* 7a. ed. Ed. Interamericana. México, D.F.

- Harris, B.Jr., y C. García-Bojalil. 1989. Estrategias de alimentación para maximizar el consumo de materia seca. Conferencia Internacional sobre ganadería en los trópicos. Universidad de Florida. USA. Mem. 44-49.
- Heinrichs, A.J. 1993. Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *J. Dairy Sci.* 76:3179-3187.
- Heinrichs, A.J., and M. Vazquez-Anon. 1993. Changes in first lactation dairy herd improvement records. *J. Dairy Sci.* 76: 671–675.
- Hohenboken, W.D. 1999. Applications of sexed semen in cattle production. Animal and Poultry Sciences Department. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, USA.
- Hutchison, J.L., and H.D. Norman. 2009. Characterization and usage of sexed semen from US field data. *Theriogenology.* 71: 48.
- Jorge, P.F., T.A. Eduardo, y L.S. Natalia. 2012. Determinación del comportamiento de la curva de lactancia y producción lechera del ganado Holstein y Brown Swiss en el valle de Cajamarca Perú. Tesis de postgrado. Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional de Cajamarca. 28.
- Keown, J.F., and R. W. Everett. 1986. Effects of days carried calf, days dry, and weight of first calf heifers on yield. *J. Dairy Sci.* 69:1891-1899.
- Kuhn, M., J. L. Hutchinson, and G.R. Wiggans. 2006. Characterization of Holstein heifers fertility in the United States. *J. Dairy Sci.* 89: 4907-4920.
- Kurykin J, Jaakma U, Jalakas M, Aidnik M, Waldmann A, Majas L. 2007. Pregnancy percentage following deposition of sex-sorted sperm and different sites whiting the uterus in estrus-synchronized heifers. *Theriogenology* 67: 754–759.
- Linderoth, S. 2008. Sexed semen primer. *Dairy Herd Management*, January 2008. 25-27.
- Lucy, M.C. 2001. Reproductive loss in high producing dairy cattle: where will it end? *J. Dairy Sci.* 84:1277-93.
- Magnus, A. T., K. Juhani, Erkki, and D. Merja. 2004. Effect of insemination with doses of 2 or 15 millions frozen thawed spermatozoa and semen deposition site on pregnancy rate in dairy cows. *Theriogenology* 61:1583-1588.
- Machaty, Z., A. Paldi, T. Csaki, Z. Varga, I. Kiss, Z. Barandi and G. Vajta. 1993. Biopsy and sex determination by PCR of IVF bovine embryos. *J.Reprod Fertil*; 98: 467- 470.

- Maxwell, W. M. C., A. and L. Johnson. 1997. Chlortetracycline analysis of boar spermatozoa after incubation, flow cytometry grading, cooling, or cryopreservation. *Mol. Reprod. Dev* 46: 408-418.
- Medina, C.M. 2008. Eficiencia en la producción de becerras y vaquillas lecheras. En: Memoria. 3er Curso internacional de Clínica, Cirugía y Producción de Becerras y Vaquillas Lecheras. Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica. 26-35.
- Montaldo, H.V. y P.N. Barría. 1998. Mejoramiento genético de animales. *Ciencia al Día*. 2:1-19.
- Molina, R.L. 1991. Evaluación del comportamiento productivo y reproductivo de un hato Holstein del valle de Mexicali, Baja California. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones en Agricultura y Ganadería. Universidad Autónoma de Baja California. 11-46.
- Morris, C.A., G.L. Bennett, R.L. Baker, and A.H. Carter. 1986. Birth weight, dystocia and calf mortality in some New Zealand beef breeding herds. *J. Anim. Sci.* 62: 327-343.
- Norman, H. D., J. L. Hutchison, and R. H. Miller. 2010. Use of sexed semen and its effect on conception rate, calf sex, dystocia, and stillbirth of Holstein in the United States. *J. Dairy Sci.* 93: 3880-3890.
- Norman, H. D., J. R. Wright, S. M. Hubbard, R. H. Miller, and J. L. Hutchison. 2009. Reproductive status of Holstein and Jersey cows in the United States. *J. Dairy Sci.* 92:3517-3528.
- Núñez, O., J. M. 1988. Mejoramiento genético de un hato en el distrito de riego 005 en ciudad Delicias, Chihuahua. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Olynk, N.J. and C.A. Wolf. 2007. Expected net present value of pure and mixed sexed semen artificial insemination strategies in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 90: 2596- 2576.
- Oses, M.V., M.T. Teruel., y J.A. Cabodevila. 2009. Utilización de semen bovino sexado en inseminación artificial, transferencia embrionaria y fertilización in vitro. *Red Vet.* 20:138-145.
- Palma, G. A., N.S. Olivier, C.H. Neumüller and F. Sinowatz. 2008. Effects of Sex-sorted Spermatozoa on the Efficiency of in vitro Fertilization and Ultrastructure of in vitro Produced Bovine Blastocysts. *Anat. Histol. Embryol.* 37: 67–73.

- Pearson De Vacaro, L. 1997. La cría de ganado lechero en Sudamérica tropical. Estudio FAO. Producción y Sanidad Animal 1: 80-85.
- Pérez, E.J.I. 2007. Comparación de la frecuencia de nacimientos de hembras con el método de Inseminación artificial con semen sexado y no sexado en vaquillas Holstein-Friesian. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de México. 32.
- Pérez, M.A. 1986. Mejoramiento genético de un hato lechero en Mexicali, B. C. México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- Reynoso, C.O, J.L. Romano, L.H.E. Flores, y C.J. Olmos. 2007. Situación de la ganadería lechera en la región de los altos de Jalisco en relación al entorno nacional e internacional sobre sistemas de producción de forrajes y leche. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. CUALTOS- UDG. 48
- Rodríguez, C.J. 1984. Comparación de aspectos reproductivos entre vacas importadas y nacidas en el país de un hato Jersey puro. U.C.R. San José, Costa Rica, p. 81
- Saucedo, Q. S. 1987. Evaluación de la producción y comportamiento reproductivo de los hatos de ganado Holstein en el estado de chihuahua. Tesis de Maestría. Facultad de zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- SAS, Institute Inc. 2004. SAS/STAT software: Changes and Enhancements, release 8.10, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Salisbury, G.W., and N.L. VanDemark. 1961. In: Physiology of reproduction and artificial insemination of cattle. W.H. Freeman and company, San Francisco, CA. 361
- Schenk, J,L., and R.W. Everett. 2007. Insemination of Holstein cows with sexed sperm. J. Dairy Sci. 90:1-18.
- Schenk, J.L., and G.E. Jr. Siedel. 2007. Pregnancy rates in cattle with cryopreserved, sexed spermatozoa: effects of laser intensity, staining conditions, and catalase. In: Juengel JI, Murray JF, Smith MF eds. Reproduction in Domestic Animals VI. Nottingham University Press, Nottingham, U.K. 165-177.
- Schenk, J.L. D.G. Cran, and G.E. Jr. Seidel. Pregnancy rates in heifers and cows with cryopreserved sexed sperm: effects of sperm numbers by inseminate,

- sorting pressure and sperm storage before sorting. *Theriogenology* 2009; 71: 717-728.
- Seidel, G.E. Jr, C.H Allen, Z. Brink, M.D. Holland, and M.B. Cattell. 1996. Insemination of heifers with very low numbers of frozen spermatozoa. *J. Anim. Sci.* 74: 235.
- Seidel, G.E. Jr., and D.L. Garner. 2002. Current status of sexing mammalian sperm. *Reproduction* 124: 733-743.
- Seidel, G.E.Jr. 2003. Economics of selecting for sex: the most important trait. *Theriogenology* 59:585-589.
- Seidel, G.E. Jr. 2007. Overview of sexing sperm. *Theriogenology* 68: 443-446.
- Seidel, G.E. Jr., 2009. Sperm sexing technology. The transition to commercial application. An introduction to the symposium "Up date on sexing mammalian sperm", *Theriogenology*, 71:1-3.
- Seidel, G.Ej Jr., and J.L. Schenk. 2008. Pregnancy rates in cattle with cryopreserved sexed sperm: Effects of sperm numbers per insemand site of sperm deposition. *Anim. Reproduction Sci.* 105:129-138.
- Seidel, G.E. Jr. 1999. Sexed sperm and sexed embryos where are we and where are we going, and when. In: Proc. 18<sup>th</sup> Ann Convention America Embryo Transfer Association. p. 47-59.
- Seidel, G.E. Jr. J.L. Schenck, S.P. Herickhoff, S.P Doley, Z. Brick, R.D. Green, and D.G. Cran. 1999. Insemination of heifers with sexed sperm. *Theriogenology*. 52: 1407-1429.
- Sejrsen, K., S. Purup, M. Vestergaard, and J. Foldager. 2000. High body weight gain and reduced bovine mammary growth: Physiological basis and implications for milk yield potential. *Domest. Anim. Endocrinol.* 19: 93-104.
- Select Sires Inc, Gender Selected Sires. Selected Sires Selections. August 2005.
- Silva del Rio, N., P. Stewart, Y.M. Rapnicki, Chang, and P. M. Friecke. 2007. An observational analysis of twis births, calf sex ratio, and calf mortality in Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90:1255-1264.
- SIAP- SAGARPA. 2009. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera en <http://www.siap.gob.mx>.
- Silva, W. J. 1998. Changes in reproductives performance of Holstein dairy cows in Kentucky from 1972 to 1996. *J. Dairy Sci.* 81:244.

- Smith, V.R. 1962. Fisiología de la lactación. 5ª ed. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., 163-221.
- Taylor, J. F., K. R. Phillips, and M. A. Tomaszewski. 1988. Net present value and economic merit of sexed semen and splitting units of semen for Australian Holsteins. *J. Dairy Sci.* 71:3100-3111.
- Tozer, P. R., and A. J. Heinrichs. 2001. What affects the costs of raising replacement dairy heifers: A multiple-component analysis? *J. Dairy Sci.* 84:1836-1844.
- Tubman, L. M., Z. T.K. Brink, Suh, and G. E. Jr. Seidel. 2004. Characteristics of calves produced with sperm sexed by flow cytometry/cell sorting. *J. Anim. Sci.* 82: 1029–1036.
- Van Amburgh, M. E., D. M. Galton, D. E. Bauman, R. W. Everett, D. G. Fox, L. E. Chase, and H.N. Erb. 1988. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *J. Dairy Sci.* 81: 527-538.
- Urrego, R. R.A., M. Olivera. 2008. Efecto de la centrifugación sobre la membrana plasmática y el ADN de espermatozoides bovinos. *Rev. Ciencia Pecuaria.* 202:19-26.
- Van Vleck, L. D. 1981. Potential genetic impact of artificial insemination, sex selection, embryo transfer, cloning, and selfing in dairy cattle. In *new technologies in animal Breeding*. B. G. Brackett and Seidel Jr., ed Academic Press New York, NY. 222-242
- Weigel, K.A. 2004. Exploring the role of sexed semen in dairy production systems. *J. Dairy Sci.* 87: 120-130.
- Wood, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature.* 216: 164-165.
- Zamora, A., J. Plaza, y Lara, A. 2000. Nota acerca de un sistema de alimentación y manejo de novillas lecheras. *Rev. Cubana Ciencia Agrícola* 34:11.