

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**CARACTERÍSTICAS CORPORALES, ZOOMÉTRICAS,
METABÓLICAS Y REPRODUCTIVAS ASOCIADAS CON
LA FERTILIDAD A PRIMER SERVICIO EN VAQUILLAS
HOLSTEIN**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

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


PRESENTA
ANTONIO MONDRAGON CRUZ

DIRECTOR DE TESIS
Ph.D. ABELARDO CORREA CALDERÓN


La presente tesis “**CARACTERÍSTICAS CORPORALES, ZOOMÉTRICAS, METABÓLICAS Y REPRODUCTIVAS ASOCIADAS CON LA FERTILIDAD A PRIMER SERVICIO EN VAQUILLAS HOLSTEIN**”, realizada por el MVZ. Antonio Mondragon Cruz dirigido por el Ph. D. Abelardo Correa Calderón, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

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

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California.



Ph. D. Abelardo Correa Calderón
Director de Tesis



Dr. Ulises Macías Cruz
Sinodal



Ph. D. Leonel Avendaño Reyes
Sinodal

“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California, México

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIAS

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
CONTENIDO.....	v
LISTA DE CUADROS.....	Vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	Ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Importancia de la vaquilla de reemplazo en el hato lechero.....	3
2.2 Características a considerar en la selección de vaquillas de reemplazo.....	4
2.2.1 Edad a la pubertad.....	5
2.2.2 Fertilidad.....	6
2.2.3 Facilidad de parto.....	6
2.2.4 Aptitud lechera.....	7
2.2.5 Temperamento.....	8

2.2.6 Conformación y corrección estructural.....	9
2.3 Desarrollo y crecimiento óptimo de vaquillas para reemplazo.....	10
2.3.1 Efecto del crecimiento acelerado en vaquillas lecheras.....	11
2.4 Factores que afectan el desempeño reproductivo en vaquillas de reemplazo.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 Ubicación del estudio y clima.....	21
3.2 Animales de estudio, manejo e instalaciones.....	21
3.3 Colección de información de las vaquillas.....	22
3.4 Datos climatológicos.....	23
3.5 Medición de progesterona y metabolitos.....	23
3.6 Medidas del tracto reproductivo.....	24
3.7 Análisis estadístico.....	24
IV. RESULTADOS.....	25
V. DISCUSIÓN.....	28
VI. CONCLUSIÓN.....	47
VII. LITERATURA CITADA.....	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones climáticas registradas durante el estudio.....	41
Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de variables de estudio y correlaciones de medidas corporales y edad al primer servicio con medidas zoométricas (cm), metabólicas (mg/dl) y reproductivas (cm) registradas en vaquillas Holstein al inicio del empadre.....	42
Cuadro 3. Medidas zoométricas (cm) a diferentes edades en vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio.....	43
Cuadro 4. Características corporales a diferentes edades en vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio.....	44
Cuadro 5. Características del tracto reproductor y edad al primer servicio de vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio.....	45
Cuadro 6. Concentración en suero de progesterona a los 11 y 12 meses de edad y de metabolitos al momento del primer servicio en vaquillas Holstein gestantes y no gestantes.....	46

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar las características corporales, zoométricas, metabólicas y reproductivas asociadas con la fertilidad al primer servicio en vaquillas Holstein. Se utilizaron 88 vaquillas a partir de los 5 meses de edad, hasta su primer servicio. Las características corporales evaluadas fueron el peso vivo (PV), condición corporal (CC), ganancia diaria de peso (GDP) y algunas medidas zoométricas. Al momento del primer servicio se tomó una muestra sanguínea por animal para determinar las concentraciones de algunos metabolitos. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre medidas corporales y edad al primer servicio con el resto de las variables. La información se analizó bajo un diseño completamente al azar utilizando el programa estadístico de SAS. El PV se correlacionó ($P < 0.05$) positivamente con la CC, GDP, urea sanguínea, alto y ancho de ovario, y con la mayoría de las medidas zoométricas. La GDP presentó una correlación ($P < 0.05$) positiva con el largo y ancho de ovario, ancho de pelvis y, negativa con el alto de pelvis, diagonal pélvica y edad al primer servicio. Las medidas zoométricas, del tracto reproductor y edad al primer servicio no mostraron ($P > 0.05$) diferencia entre vaquillas gestantes y no gestantes al primer servicio. Las características corporales como PV y CC al primer servicio fueron mayores ($P < 0.05$) en las vaquillas no gestantes, al igual que los niveles de glucosa en suero sanguíneo. Las variables que mostraron tener una relación mayor con la edad a primer servicio, fueron la GDP, el ancho de la pelvis y largo del ovario.

Palabras claves: Vaquillas, gestantes, peso vivo, metabolitos, primer servicio.

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ganadería lechera en México se ha visto limitado por la falta de vaquillas de reemplazo, entre otros factores (Kurt, 1999). Por ello, es importante diseñar sistemas de crianza que resulten en una producción eficiente y rentable de vaquillas para reemplazo (Muñoz *et al.*, 1997). La crianza de vaquillas representa del 15 al 20% de los gastos del hato y se considera el segundo mayor gasto de la empresa, por debajo de los costos de alimentación (Gabler *et al.*, 2000). La alimentación es de importancia debido a que las vaquillas alcanzan la pubertad al obtener del 30 al 40% de su peso vivo adulto (Hoffman *et al.*, 2007; Froidmont *et al.*, 2013). El peso es una medida que ayuda a determinar el crecimiento de las vaquillas de reemplazo, sin embargo, no se puede evaluar el crecimiento basado únicamente en esta medida (Heinrichs *et al.*, 1992) porque esta variable puede estar influenciada por la condición corporal. Por esta razón se han implementado medidas zoométricas, que junto con el peso vivo, produzcan resultados más exactos sobre el desarrollo de las vaquillas (Hoffman, 1997). La determinación de la ganancia diaria de peso (GDP) desde el nacimiento hasta su primer servicio en vaquillas, puede servir como indicador de la edad a la pubertad, primer servicio y parto (Sejrsen y Purup, 1997). Se considera que la GDP ideal desde el nacimiento al primer servicio es de 700 a 800 g/d (Shamay *et al.*, 2005). Stelwagen y Grieve (1992) señalaron que una GDP en vaquillas Holstein mayor a 1000 g/d podría acortar la edad a la pubertad y disminuir los costos debido a edades al primer servicio y parto más tempranos (<14 y <23 meses, respectivamente); sin embargo, se ha

encontrado que esta GDP y edades al primer servicio tempranas conllevan a una disminución láctea en su primera lactancia (Silva *et al.*, 2002). Ettema y Santos (2004) indicaron que una edad al primer servicio <13 meses podría ser perjudicial para la salud del animal, por el incremento de partos distócicos, por una falta del desarrollo corporal, derivando en patologías uterinas y baja producción láctea (Pirlo *et al.*, 2000). Por ello, se ha recomendado que en vaquillas Holstein, el primer servicio sea entre 13 y 14 meses de edad (Donovan *et al.*, 2003; Chebel *et al.*, 2007), con un peso de 340 a 365 kg, con el fin de evitar problemas al parto (Heinrichs y Hargrove, 1991). Sin embargo, otros investigadores como Hoffman (1997) consideran que el peso ideal para el primer servicio es de 363 a 390 kg. En su primer servicio, las vaquillas se encuentran en crecimiento, lo que provoca que la utilización de los metabolitos se vea comprometido (Taylor *et al.*, 1966; Huszenicza *et al.*, 1988). Rabiee y Lean (2000) demostraron que la glucosa ayuda al desarrollo folicular, por el contrario, altos niveles de urea disminuyen la fertilidad por el aumento en pH uterino, afectando con ello al embrión (McEvoy *et al.*, 1997). De acuerdo a lo anterior se han tomado distintos criterios para que una vaquilla sea inseminada por primera vez, sin embargo, muchos autores han diferido en la características idóneas de una vaquilla a primer servicio. El objetivo de este estudio fue evaluar las características corporales, zoométricas, metabólicas y reproductivas asociadas con la fertilidad al primer servicio en vaquillas Holstein. Adicionalmente, se estimaron correlaciones entre las características corporales y edad a primer servicio con las variables relacionadas con el desarrollo de las vaquillas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la vaquilla de reemplazo en el hato lechero

Actualmente en México, los ganaderos lecheros han puesto más atención en la crianza de sus propios animales que utilizarán para reemplazos, tratando con ello de ser una empresa más viable económicamente (Waterman *et al.*, 2012). Una crianza de vaquillas de reemplazo eficiente puede asegurar la futura producción de leche y un crecimiento del hato (Zamora *et al.*, 2000; Engelken, 2008). La selección de reemplazos se ha basado en las características de producción de los padres, lo que ha permitido un incremento en la producción por vaca, pero esto, también ha ocasionado una reducción en la vida productiva de estos animales debido al desgaste fisiológico ocasionado por mantener una alta producción, lo cual repercute en el porcentaje de animales desechados (Radke *et al.*, 2005). El número de vaquillas requeridas para reemplazo depende principalmente del porcentaje anual de desechos, el cual se considera que debe ser de alrededor del 20 al 30 % del total del hato (Heinrichs *et al.*, 1992). Lo expresado anteriormente justifica el por qué toda explotación lechera debe de contar con un buen programa de cría, que permita un mayor progreso genético y un posible incremento en el tamaño del hato, o bien, obtener ingresos adicionales por la venta de vaquillas al parto (Tozer y Heinrichs, 2001).

La inversión utilizada en una cría de vaquillas se estima que es entre 15 y 20 % del total de los ingresos por la venta de la producción láctea (Gabler *et al.*, 2000; Stevenson y Ahmadzadeh, 2011). En la mayoría de las empresas lecheras el hato de reemplazo está considerado como el segundo mayor gasto,

por debajo de los costos de alimentación (Heinrichs *et al.*, 1992; Ettema y Santos (2004).

Kertz *et al.* (1998) concluyeron que la alimentación es el mayor gasto en la crianza de vaquillas, pero también demostraron que reducir los costos de alimentación puede traer consigo menores ganancias de peso debido a una baja calidad de la dieta. Estos mismos autores sostienen que los costos de alimentación por vaquilla son menores durante los siete y ocho meses de edad, ya que durante esa etapa los animales utilizan más eficientemente los nutrientes contenidos en la dieta y, por lo tanto, logran un mayor incremento de peso corporal a un menor costo.

En un estudio realizado en la zona de Querétaro, México, mostró que el costo promedio de una vaquilla de reemplazo al parto era de \$9,854.59 pesos, lo que permitía que la cría de animales de reemplazo fuera rentable hasta en un 52.51% con respecto a la compra de animales del extranjero, cuyo costo estimado era aproximadamente de \$15,000.00 pesos (Báez *et al.*, 2000).

2.2 Características a considerar en la selección de vaquillas de reemplazo

La selección y clasificación de becerras para ser futuras vaquillas de reemplazo inicia a una edad aproximada de 3 meses, que es la edad en que se lleva a cabo el proceso de destete (Engelken, 2008). Al seleccionar las vaquillas para reemplazos, se deben considerar las características de importancia económica como edad a la pubertad, fertilidad, facilidad de parto, aptitud

lechera, temperamento, conformación y corrección estructural, entre las principales (Ritchie y Hawkins, 2002).

2.2.1 Edad a la pubertad

Moran *et al.* (1989) señalan que la pubertad inicia en las vaquillas cuando presentan su primer estro y un cuerpo lúteo normal. Debido a esto, la edad a la pubertad es uno de los principales factores relacionados con otros parámetros como la edad a primer servicio y parto (Jarrige, 1981; Gasser *et al.*, 2006). Las vaquillas que comienzan a ciclar a edades tempranas tienen una mayor oportunidad de que conciban a una edad que les permita tener su primer parto entre los 23 y 24 meses (Ritchie y Hawkins, 2002).

En vaquillas lecheras de tamaño grande, como la raza Holstein, la pubertad usualmente se presenta entre los 9 y 11 meses de edad, al igual que vaquillas de talla pequeña como la Jersey, sin embargo, el peso corporal difiere, ya que en vaquillas lecheras grandes el peso es de 250 a 280 kg, a diferencia de las vaquillas de tamaño pequeño que alcanzan su pubertad entre 170 a 190 kg (Sejrsen y Purup, 1997). Algunos investigadores como Clanton *et al.* (1983) señalan que la edad a la pubertad parece estar determinada por la cantidad total de crecimiento obtenido durante el período de post-destete, más que por la tasa de crecimiento pre-destete. Sin embargo, lo anteriormente señalado no está claramente probado, debido a que se han encontrado resultados contradictorios cuando se ha determinado la influencia de la tasa de crecimiento pre y post destete sobre la edad a la pubertad (Patterson *et al.*, 1992; Heinrichs y Gabler, 2003).

Acorde a lo anterior, la edad en la cual las vaquillas alcanzan la pubertad también dependerá del plano nutricional, de tal manera que la llegada de la pubertad puede adelantarse o retrasarse (Bailey, 1997).

2.2.2 Fertilidad

Una evaluación visual de las vaquillas de reemplazo ayuda a desechar aquellas hembras que muestren apariencia masculina (súper hembra) y que pudieran presentar algún problema de baja fertilidad para el hato, así como aquellas vaquillas que muestren un aspecto frágil también deberían ser desechadas (Ritchie y Hawkins, 2002). Un método efectivo para evaluar la eficiencia reproductiva de vaquillas ha sido desarrollado por Investigadores de la Universidad de Colorado, el cual se le conoce como Calificación del Tracto Reproductivo (Reproductive Tract Scoring, RTS). Esta evaluación se realiza entre los 12 y 15 meses de edad, y toda aquella vaquilla que alcance una calificación de 1 y 2 puntos en una escala que va de 1 a 5 puntos, será una vaquilla que tendrá una alta probabilidad de presentar una eficiencia reproductiva baja y/o deficiente (Hall, 2005). Por lo contrario, las vaquillas que presenten una calificación entre 4 y 5 puntos, son las que pudieran tener una eficiencia reproductiva más alta (Quezada *et al.*, 2004; Stevenson *et al.*, 2008).

2.2.3 Facilidad de parto

En cuanto a la incidencia de distocia en vaquillas de primer parto, se ha encontrado que es de alrededor del 30 % (Tenhagen *et al.*, 2007), con una tasa de mortalidad al nacimiento del 10 %. Además, las vaquillas que requieren asistencia al parto tienden a presentar patologías uterinas post-parto y por

consecuencia tienen mayores dificultades para volver a preñarse (Romero y Teodomiro, 2005). Investigaciones han mostrado que existen varios factores que tienen influencia sobre la dificultad al parto (Ettema y Santos, 2004), pero los de mayor importancia se consideran que son: peso de la cría al nacimiento, sexo de la cría, tamaño pélvico de la vaquilla y peso de la vaquilla al parto (Mee, 2008). Por consiguiente, los productores tienen que tomar decisiones antes del inicio del programa de empadre para reducir los problemas al parto (Deutscher, 1995). La relación entre el peso de la cría y el área pélvica de la vaquilla es el factor con la mayor influencia sobre el grado de distocia (Hiew y Constable, 2015). Las vaquillas deben ser evaluadas para determinar su área pélvica y eliminar aquellas que presenten una área pequeña. La incidencia de partos distócicos podría reducirse a través de la eliminación de las vaquillas con una área pélvica menor a 140 cm² al momento de su primer servicio (Navarro *et al.*, 2008). Esta característica es altamente heredable (0.36 a 0.68) por lo que se puede mejorar a través de la selección de vaquillas con un mayor desarrollo del área pélvica (Deutscher, 1991).

2.2.4 Aptitud lechera

Se ha demostrado que las vacas de menor tamaño viven más tiempo, poseen mejor conversión alimenticia, tienen menos problemas de salud, presentan una mejor fertilidad y pueden tener una mayor producción de leche (Hansen, 2005). Una vaca con buen carácter lechero debe presentar una estructura corporal abierta y/o amplia, con costillas bien definidas y espaciadas entre sí; la piel debe verse delgada, suelta y plegable; el cuello debe ser largo y

esbelto; la cruz, la línea superior, la grupa y los muslos deben ser magros y angulosos, y los huesos ilíacos e isquiáticos deben estar claramente definidos y libres de cualquier depósito de grasa (WHFF, 2005).

Dentro de una raza, la manera más efectiva de mejorar la aptitud lechera es emplear toros o hijos de esos toros que tengan valores altos de diferencia esperada de progenie (DEP) en aptitud lechera, y luego retener a sus hijas. La retención de las vaquillas que nacen de vacas que presentan una mayor producción de leche, debería de resultar en un aumento en la capacidad de producción de leche (Ritchie y Wawkins, 2002).

2.2.5 Temperamento

Con frecuencia se ignoran las implicaciones económicas derivadas del temperamento del ganado. La justificación para dedicar tiempo en la evaluación del temperamento es debido a que aquellos animales con miedo y ansiedad tienden a ser animales más estresados, lo cual resulta en una disminución en la productividad (Paranhos da Costa, 2000).

El temperamento o docilidad es una característica que se transmite a la descendencia, debido a que su heredabilidad oscila entre 0.15 y 0.40. Vaquillas extremadamente nerviosas han mostrado una tasa de preñez 10 % más baja en comparación a hembras más dóciles (Ritchie y Hawkins, 2002). Estos mismos autores señalan que el ganado con mal temperamento es más difícil y peligroso de manejar, por lo que es aconsejable desechar del hato a esas vaquillas, dado que existe la posibilidad que presenten serios problemas al ser manejadas.

Existen varias maneras de evaluar el temperamento, como la utilizada por Boissy y Bouissou (1988), quienes usaron registros de frecuencias cardíacas y niveles de cortisol para evaluar el efecto de diferentes intensidades de manejo sobre la reacción de vacas lecheras. Otro método usado es la prueba de velocidad de fuga (o velocidad de salida) en donde se registra el tiempo requerido por los animales para recorrer una distancia determinada, y en la cual los animales más rápidos reciben las calificaciones más bajas en cuanto al temperamento (Burrow *et al.*, 1988). La selección de ganado de temperamento calmado y/o dócil puede convertirse en un factor clave para maximizar la ganancia de peso y lograr una optimización productiva y reproductiva del hato (Voisinet *et al.*, 1997).

2.2.6 Conformación y corrección estructural

Una buena estructura ósea contribuye a la longevidad productiva del ganado lechero. Estudios han demostrado que esta característica está relacionada con la eficiencia general del hato. Investigadores encontraron que conforme la intensidad de selección para producción de leche se incrementaba, algunas características físicas resultaban afectadas, como sucedió con la incidencia de ubres pendulosas (Moro y Ruiz, 1998). Por otra parte, el mejoramiento genético de algunos rasgos de conformación de la ubre ayudó a reducir el conteo de células somáticas y, por lo tanto, mejoró la salud de la glándula mamaria (Zhang *et al.*, 1994). Un factor que afecta la estructura esquelética son los problemas podales como crecimiento excesivo de pezuñas, pezuñas débiles, talones pocos profundos, cuartillas vencidas, patas rectas,

arremetidas, encorvadas y patas juntas con corvejón separado. Estos problemas están relacionadas unos con otros, lo que perjudica al animal por no permitirle desarrollarse plenamente, lo cual reduce su vida productiva (Harlan y David, 2002; Romero y Teodomiro, 2005).

2.3 Desarrollo y crecimiento óptimo de vaquillas para reemplazo

El peso en las vaquillas lecheras es una medida importante para evaluar su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, determinar el crecimiento únicamente con la medición de esta variable puede resultar engañoso (Hoffman, 1997), ya que el peso vivo no indica si el crecimiento y desarrollo es debido al crecimiento del esqueleto o al aumento de la deposición de grasa en el cuerpo del animal (Bagg *et al.*, 1985). El peso vivo puede verse afectado también por factores como la preñez. Por esta razón se han implementado otras mediciones, que junto con el peso vivo, permitan obtener información más exacta sobre el desarrollo y crecimiento en vaquillas (Heinrichs y Hargrove, 1991).

Entre las mediciones sugeridas para determinar el crecimiento y desarrollo corporal se encuentran: altura a la cruz, longitud del cuerpo, alto y ancho de cadera, circunferencia torácica y área pélvica (Hoffman, 1997; White *et al.*, 2015). Las mediciones de altura a la cruz y ancho de cadera pueden ser más precisas para determinar el crecimiento del esqueleto, ya que por lo regular, no están influenciadas por variables como la condición corporal (Heinrichs *et al.*, 1992; London *et al.*, 2012). Las mediciones del esqueleto, junto con el peso del animal, deben utilizarse como criterio para evaluar los niveles de crecimiento y

con ello tener más seguridad de reducir problemas, como la distocia al parto (Wickersham y Schultz, 1963; Hoffman, 1997). Factores como la genética, nutrición y el manejo en general también pueden afectar el crecimiento del animal (Heinrichs y Hargrove, 1987; Heinrichs y Gabler, 2003). En lo que respecta a la genética, existen diferencias sustanciales para características como tamaño y tasa de crecimiento entre los diferentes grupos de toros, inclusive dentro de una misma raza lechera (Lee *et al.*, 1988; Lee, 1997).

En relación a la nutrición, el alimentar vaquillas para un rápido crecimiento cuesta más económicamente por día que alimentar para ganancias de peso bajas; un buen programa de desarrollo de reemplazos debe lograr que la vaquilla alcance la edad y peso adecuado a un mínimo costo (Looper y Bethard, 2000). Los animales que tienen una mayor capacidad genética para lograr un mayor crecimiento pueden ser capaces de tener una alta ganancia diaria de peso, debido a un mayor crecimiento esquelético sin tener deposición de tejido adiposo (Bagg *et al.*, 1985).

2.3.1 Efecto del crecimiento acelerado en vaquillas lecheras

Existe la posibilidad de aumentar las tasas de crecimiento a través de un aumento de energía y proteína en la dieta, lo que resulta en alcanzar a edades más tempranas la pubertad, el primer servicio y el parto (Ettema y Santos, 2004; Brown *et al.*, 2005). La rapidez con la que una vaquilla se desarrolla puede ser influenciada por el plano nutricional, principalmente en cuanto al nivel de energía en la dieta (Llamas, 1996). Al respecto, Gardner *et al.* (1977) y Sejrsen *et al.* (2000) reportaron un efecto negativo del alto consumo de energía en vaquillas

sometidas a un crecimiento acelerado, el cual afectó el desarrollo de la glándula mamaria. Stelwagen y Grieve (1992) encontraron que vaquillas alimentadas con dietas para obtener ganancias diarias de peso de 600, 750 y 1000 g/d, no presentaron diferencias en producción y composición de la leche en su primer lactancia. En un estudio realizado por Foldager *et al.* (1988) encontraron que el promedio de edad al primer estro disminuyó de 16.6 a 8.4 meses, cuando la ganancia diaria de peso se incrementó de 450 a 850 g por día. Otros investigadores indicaron que una ganancia de 800 g por día desde el nacimiento hasta el primer servicio es lo óptimo para lograr una adecuada condición y peso a su primera inseminación (Barmore *et al.*, 1995; Le Cozler *et al.*, 2009).

El forzar a la vaquilla a un crecimiento acelerado puede traer consecuencias como un aumento en la incidencia de distocia, una mayor deposición de grasa en ubre, problemas de reproducción post-parto, reducción de la longevidad y la necesidad de proporcionar dietas más costosas (Ettema y Santos, 2004; Le Cozler *et al.*, 2009). Los partos a edades tempranas (< 22 meses) derivados de un crecimiento acelerado han sido relacionados con bajas producciones de leche en la primera lactación de vaquillas primíparas (Little y Kay, 1979; Abeni *et al.*, 2000). Lo anteriormente señalado es debido a que el desarrollo del tejido secretor mamario se reduce, debido al alto contenido de energía proporcionada en la dieta, con el fin de lograr un crecimiento acelerado (Hoffman *et al.*, 2007). Resultados de algunos estudios sugieren que el crecimiento acelerado prepuberal tiene menos efectos negativos sobre la producción de leche cuando los partos son a edades > 23 meses (Abeni *et al.*,

2000). En un estudio conducido por Harrison *et al.* (1983), encontraron que el peso total de la glándula mamaria no fue afectado por las ganancias diarias de 570, 760 y 1180 g/d, sin embargo, se observó que el tejido secretor de la glándula mamaria se redujo en las vaquillas con ganancias diarias de 1180 g (crecimiento acelerado), además de provocar una reducción en la producción de leche durante la primera lactancia de las vaquillas (Little y Kay, 1979; Hoffman *et al.*, 2007).

2.4 Factores que afectan el desempeño reproductivo en vaquillas de reemplazo

El aparato reproductor de la hembra antes de la pubertad presenta un crecimiento lento y no muestra actividad funcional. Aunque se considera que la edad a la pubertad no está determinada por el peso vivo directamente, sí lo está por algunas condiciones fisiológicas que resultan del peso vivo (Grajales *et al.*, 2006). Existen estudios que han demostrado cómo la nutrición afecta el desarrollo de algunos órganos reproductivos. Sin embargo, pocos estudios han analizado el mecanismo endocrino por medio del cual la nutrición influye en la edad en la que las vaquillas inician su actividad ovárica. Algunos autores señalan que el estado nutricional afecta negativamente la pulsatilidad de la hormona luteinizante (LH) en vaquillas en desarrollo (Schillo *et al.*, 1992). El manejo de la nutrición es de importancia debido a que las vaquillas deben de alcanzar entre el 30 y 40 % de su peso corporal adulto al llegar a la presentación de su primer celo (Wattiaux, 2011). Gardner *et al.* (1977) evaluaron la influencia

del tamaño corporal sobre la edad al primer servicio y parto en vaquillas Holstein. Estos autores encontraron que las vaquillas que crecieron más rápidamente redujeron en 1.9 meses la edad a su primer celo y la edad a su primer servicio fue de 9.6 meses en comparación a vaquillas con un crecimiento estándar que recibieron su primer servicio a los 16.8 meses.

Ettema y Santos (2004) señalaron que la edad al primer parto es un parámetro importante que determina en parte, los costos de la crianza de reemplazos, además indicaron que la tasa de concepción a la primera inseminación post-parto, así como los días abiertos, fueron influenciados de manera negativa por la edad a primer servicio y primer parto. Estos mismos autores observaron una reducción de ambos parámetros en las vaquillas con edad a primer parto entre 23 y 24 meses en comparación con las que parieron a edad de < 22 meses. Algunos investigadores como Van Amburgh *et al.* (1998) y Ettema y Santos (2004), indicaron que un parto a una edad temprana (<23 meses) es perjudicial para la producción de leche y la longevidad de las vaquillas. Resultados similares fueron reportados por Sejrsen y Purup (1997) y Hoffman *et al.* (1997), quienes advierten que la producción de leche puede verse afectada cuando los partos son a edades tempranas (<23 meses), debido a una falta de desarrollo del tejido mamario. Estos problemas llevaron a los investigadores a buscar alternativas que permitieran aumentar el crecimiento sin incrementar la deposición de grasa (Hoffman, 1997). Para lograr lo antes mencionado se ha recomendado que las vaquillas deben de lograr un incremento de peso diario de aproximadamente 800 g/d desde el nacimiento

hasta su primer parto (Van Amburgh *et al.*, 1991; Bailey, 1997). En general, una vaquilla para reemplazo debe tener su primer parto alrededor de los 24 meses con un peso entre 545 a 565 kg (Donovan *et al.*, 2003), logrando con esto una disminución en los costos de crianza y una rápida recuperación de la inversión (Pirlo *et al.*, 2000).

Por otra parte, un alta temperatura ambiental combinada con una elevada humedad relativa son factores ambientales que provocan lo que se conoce como estrés calórico y que afecta la eficiencia reproductiva, principalmente en el ganado destinado para producción de leche (St-Pierre *et al.*, 2003; Correa-Calderón *et al.*, 2014). Investigadores como Moberg (2000) definen al estrés calórico como una respuesta biológica, cuando la temperatura ambiente rebasa el límite superior de la zona termoneutral. El impacto del estrés calórico sobre la reproducción en ganado lechero se da por la reducción en la manifestación del celo, crecimiento folicular, desarrollo de cuerpo lúteo, así como en la tasa de concepción (Jordan, 2003).

La detección oportuna del celo es importante cuando se pretende identificar a vaquillas para ser servidas por inseminación artificial, lo cual requiere un cuidadoso e intenso trabajo para lograr detectar la mayor proporción de celos. Reportes indican que vaquillas bajo condiciones de estrés calórico reducen la duración e intensidad del estro, haciendo más difícil su detección (Younas *et al.*, 1993; Santos *et al.*, 2004). Un estudio conducido por Ferreira *et al.* (2011) mostró un efecto negativo del estrés calórico sobre la calidad del ovocito y la fertilidad en vaquillas Holstein, concluyendo que el

estrés calórico está asociado negativamente a la calidad del ovocito y a una disminución del desarrollo embrionario temprano.

Por otra parte, la condición corporal en vaquillas Holstein es de importancia, debido a que con esta variable se puede determinar el grado de nutrición de los animales. Acorde con esto, algunos investigadores han definido a la condición corporal como un método subjetivo para evaluar las reservas energéticas en los animales (Zárate, 1999; López, 2006), y es reconocido por los productores como una herramienta útil para mejorar las estrategias de alimentación, salud, manejo y fertilidad de un hato. La condición corporal en las vaquillas de reemplazo es tan importante como la de las vacas (López, 2006). Un manejo nutricional adecuado durante el desarrollo ayuda a mantener una condición corporal óptima en vaquillas, y con ello, prevenir la incidencia de enfermedades, así como un mal desarrollo corporal. La condición corporal es una medida para estimar la cantidad de tejido graso subcutáneo en ciertos puntos anatómicos, o bien el grado de pérdida de masa muscular. Durante los últimos años, dos tipos de registros de condición corporal se han descrito e investigado en todo el mundo (Bewley *et al.*, 2008). Las escalas utilizadas para calificar la condición corporal difieren una de otra, pero en general, coinciden en que los valores bajos reflejan emaciación y valores altos obesidad (Roche *et al.*, 2009). Uno de los registros de la condición corporal consiste en un sistema gráfico de 5 puntos, en donde 1 es considerada emaciada, 2 delgada, 3 promedio, 4 grasosa y 5 obesa. Esta evaluación describe cambios en la conformación de la condición corporal en ocho zonas anatómicas identificadas como importantes (Edmonson *et al.*,

1989). Cuando se presenta un aumento en la condición corporal, tienden a disminuir algunos contenidos corporales como agua, proteína y minerales, mientras que la grasa se incrementa, reemplazando al agua en los tejidos orgánicos. Por esto, los registros de condición corporal son una medida subjetiva del almacenamiento de grasa corporal. El registro de la condición corporal, por ser de naturaleza subjetiva, presenta ciertas discrepancias en cuanto a la repetitividad de la condición corporal entre observaciones (López, 2006). Por otra parte, investigadores desarrollaron un sistema diferente en cuanto a puntuación de la evaluación de condición corporal, utilizando una escala de 1 a 9 (Whitman *et al.*, 1975), pero con el mismo fundamento y características corporales con respecto al planteado por Edmonson *et al.* (1989). Este sistema de registro de 1 a 9 puede extrapolarse al de 1 a 5 (Ruegg y Milton, 1995).

La variación de la condición corporal de un animal en forma individual o de la totalidad del hato tiene varias implicaciones que pueden ser utilizadas para la toma de decisiones de manejo. Los animales en una buena condición corporal (3.0 a 3.5 puntos) post-parto pueden movilizar sus reservas sin presentar problemas metabólicos ni en su desempeño reproductivo. Por el contrario, vaquillas primíparas post-parto con una condición baja (< 3), requieren de una mayor suplementación, ya que tienden a reducir su producción de leche y tasa de preñez (López, 2006). La condición corporal y sus cambios son más confiables como indicadores del estado nutricional en comparación al peso corporal, ya que esta variable puede estar afectada por la gestación y la

cantidad de alimento en el tracto gastrointestinal (Zárate, 1999). La condición corporal ideal en vaquillas Holstein está dentro del rango de 2.8 a 3 (en escala de 1 a 5) y está en función de la etapa de crecimiento y gestación (Gearhart *et al.*, 1990). Cuando se presenta una condición corporal excesiva (> 4), existe una tendencia a presentarse problemas metabólicos afectando la productividad del animal (Waltner *et al.*, 1993). Las vacas que se encuentran en una condición corporal entre 3 a 3.5 (en escala de 1 a 5) post-parto presentan el celo más rápidamente, comparado con las que tienen valores menores de condición corporal (Ferguson *et al.*, 1994).

Las tasas de concepción a primer servicio son generalmente más bajas en vaquillas cuando la condición corporal es menor a 2.0 (42 %), y más altas cuando la condición corporal está dentro de los registros de 3.0 a 4.0 (63 %) (Leaver, 1977).

Por otra parte, Ruegg y Milton (1995) consideraron que una vaca primípara con condición corporal mayor a 3.0 tiene un 29 % más elevada la tasa de preñez post-parto en comparación con vaquillas con una condición corporal menor a 2.5. Una baja condición corporal (< 2) no solo afecta la tasa de preñez, sino también el intervalo entre partos, la edad de la cría al destete y su ganancia diaria de peso.

La nutrición es uno de los factores que influyen sobre la eficiencia reproductiva en ganado lechero. Una reducción en el consumo de nutrientes, demora el inicio de la presentación de la pubertad en vaquillas Holstein e incrementa los servicios por concepción a primer servicio y post-parto (Bossis *et*

al., 1999). Una mala nutrición durante el desarrollo de la vaquilla conlleva a una deficiencia de energía en ella misma y esto provoca un retraso en el inicio de la actividad reproductiva (Williams, 1989; Heinrichs y Gabler, 2003). Lo anterior también afecta el desarrollo y crecimiento folicular, además de causar bajas manifestaciones del celo (Montiel y Ahuja, 2005). Un déficit nutricional se manifiesta cuando la vaquilla comienza a utilizar sus reservas corporales de energía (Jolly *et al.*, 1995), por lo que genera una deficiencia de energía en órganos secundarios como los reproductivos, causando con ello una reducida presentación del celo o una nula ovulación.

Por otra parte, los niveles de metabolitos sanguíneos son de suma importancia en las vaquillas, debido a que a través de éstos se puede determinar su estado nutricional. Por su parte, la glucosa es la principal fuente de energía usada por el ovario para llevar a cabo funciones como desarrollo folicular y ovulación, además este metabolito es requerido para la utilización del oxígeno a nivel de ovario (Rabiee y Lean, 2000).

Alves *et al.* (2014) evaluaron en vacas raza Girolando la calidad de ovocitos en dos diferentes épocas del año, además de correlacionar las concentraciones de metabolitos con algunos parámetros reproductivos. Estos investigadores encontraron una correlación positiva entre las concentraciones de glucosa y el número de folículos grandes (>9 mm), concluyendo que la glucosa tiene un efecto directo en el desarrollo folicular. Por otro lado, el colesterol en plasma sanguíneo tiene también una función importante en aspectos reproductivos, ya que éste es un precursor de las hormonas esteroides y

algunas vitaminas. En ganado productor de leche, la concentración de colesterol en plasma se ha visto afectada por algunos factores como el estrés por calor (Martínez *et al.*, 2010).

Un aumento en las concentraciones de urea en sangre provoca una disminución en la fertilidad, ya que ocasiona cambios en el ambiente uterino, afectando la viabilidad del embrión (McEvoy *et al.*, 1997). En un estudio conducido por De Wit *et al.* (2001), demostraron que la tasa de fertilización *in vitro* y la división celular de ovocitos de ganado bovino se afectaron negativamente al exponer el ovocito a concentraciones de 6 mM de urea. Esto causó muerte embrionaria temprana y un retorno al ciclo estral normal.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del estudio y clima

El estudio se realizó en las instalaciones de la recria San Carlos, empresa dedicada al desarrollo de vaquillas Holstein y la cual se localiza en el km 15 de la carretera Mexicali – San Felipe en el valle de Mexicali, Baja California, México, en las coordenadas geográficas 32° 43" de latitud norte, 30° 52" de latitud sur, 114° 42" de longitud este y 115° 56" de longitud oeste (INEGI, 2009). La región se caracteriza por ser una zona árida, con temperaturas máximas en verano de 50°C y mínimas durante invierno de 0°C, con una precipitación promedio de 85 mm por año (SMN, 2013).

3.2. Animales de estudio, manejo e instalaciones

Ochenta y ocho vaquillas de raza Holstein fueron utilizadas en el estudio, a partir de 5 y 6 meses de edad hasta su primer servicio, el cual fue a partir de noviembre del 2015 a enero del 2016. Las vaquillas fueron alimentadas tres veces al día (6:00, 9:00 y 16:00 h), con una ración integral balanceada de acuerdo a los requerimientos de su etapa de desarrollo. Las vaquillas se inseminaron a criterio del técnico inseminador considerando su condición corporal, altura y edad del animal. El diagnóstico de gestación se realizó a los 40 ± 2 días post-inseminación. Posterior al diagnóstico de gestación, las vaquillas fueron divididas en dos grupos de acuerdo a su estado de preñez en gestantes (n=71) y no gestantes (n=17) en su primer servicio.

Las vaquillas se mantuvieron bajo condiciones de estabulación en corrales provistos de sombras, comederos y bebederos. La dimensión de los corrales fue de 29.9 x 33.5 m, con una área total de 1001.55 m² (25.03 m² /animal). Las áreas de los comederos estaban equipadas con trampas individuales unidas entre sí (0.63 m de ancho y 0.91 m de altura a partir de la pared interna del comedero). La estructura de la sombra fue lámina galvanizada con medidas de 18.14 x 5.82 m, altura de 2.78 m y espacio de 2.6 m²/cabeza. Cada corral contó con un bebedero de concreto en la parte sur del corral (2.5 x .95 m y .30 m de fondo).

3.3. Colección de información de las vaquillas

Las variables relacionadas con el desarrollo y crecimiento se registraron en todas las vaquillas a partir de los 5 y 6 meses de edad, las cuales fueron peso vivo (PV, kg), altura a la cruz (cm), altura a la cadera (cm), perímetro torácico (cm), longitud de cuerpo (cm), ancho de cadera (cm) y distancia entre huesos isquiáticos (cm). Una segunda medición de estas variables se realizó entre los 11 y 12 meses de edad, adicionando la condición corporal (CC) y ganancia diaria de peso (GDP, calculada a partir de los 5 y 6 meses de edad). Una semana previo al inicio del empadre se volvieron a registrar las mismas medidas zoométricas y corporales, además de las medidas pélvicas que fueron: Alto, ancho y diagonal tomada a 30° de la vertical. La ganancia diaria de peso desde el inicio del estudio hasta la semana previa al empadre, y la edad al primer servicio fueron registradas.

3.4. Datos climatológicos

La información climatológica se obtuvo de la estación meteorológica (Davis Vantage pro2 plus) situada en el área de estudio. La información registrada fue radiación solar, velocidad de viento, temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR) en intervalos de una hora. Con la información de TA y HR se estimó el ITH durante el desarrollo del estudio, usando la fórmula propuesta por Hanh (1999):

$$ITH = 0.81 (T \text{ } ^\circ\text{C}) + HR (T \text{ } ^\circ\text{C} - 14.4) + 46.4$$

Donde:

ITH = es el Índice Temperatura-Humedad

T = es la Temperatura Ambiente en °C

HR = es la Humedad Relativa en %

3.5. Medición de progesterona y metabolitos

Los niveles de progesterona en suero fueron determinados en todas las vaquillas entre los 11 y 12 meses de edad. Dos muestras sanguíneas por animal fueron colectadas por punción en la vena coccígea, a intervalos de 10 días entre una y otra, usando tubos vacutainer de 10 ml (Becton Dickinson, Franklin Lakes). Las muestras colectadas fueron centrifugadas a 3500 rpm durante 15 minutos a 10 °C para separar el suero, el cual fue almacenado en alícuotas de 2 ml a -20 °C hasta su posterior análisis. El análisis se realizó en un analizador semiautomático (Vitro DT6011 Ortho-Clinical Diagnostics Inc. Jhonson & Jhonson), siguiendo las instrucciones del fabricante. De acuerdo a los niveles de progesterona en suero, se determinó que la vaquilla estaba

ciclando cuando los niveles eran superiores a 1 ng/ml en al menos en uno de los dos muestreos.

Para el análisis de metabolitos, se colectó una muestra de sangre al momento de la inseminación artificial en cada vaquilla. Los metabolitos evaluados fueron colesterol, triglicéridos, glucosa, proteína total y urea. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio donde se prepararon al igual que las anteriores muestras. Estas concentraciones se analizaron con un auto-analizador sanguíneo modelo (DT-60, Johnson Co., High Wycombe, UK).

3.6. Medidas del tracto reproductivo

Se realizó una medición del ovario en todas las vaquillas del estudio una semana antes del inicio del empadre. Esta medición consideró la altura (cm) y el ancho (cm) del ovario. Esto se realizó mediante la utilización de un ultrasonido con un transductor transrectal (Aloka, Prosound 2, Wallingford, Connecticut. EE.UU).

3.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables registradas previo al inicio de programa de empadre. Se realizó un análisis de correlación de Pearson en las variables registradas en los grupos de vaquillas a un nivel de $\alpha = 0.05$. Las variables en los grupos de vaquillas gestantes y no gestantes fueron analizadas a través de un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar. La comparación de medias fue por medio de la prueba de Tukey a un nivel de $\alpha = 0.05$. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico (SAS, 2004).

IV. RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestran las condiciones ambientales prevalecientes durante el estudio. Los meses de verano (junio-septiembre) fueron los más calientes, registrándose temperaturas mensuales promedio entre 28 y 31 °C, mientras que los meses de invierno y parte de primavera (noviembre a marzo) registraron temperaturas promedio mensuales en un rango de 10 a 21 °C. Los promedios mensuales de humedad relativa se mantuvieron homogéneos en la mayoría de los meses, detectándose en el mes de enero un aumento (72%) en esta variable climática. Durante los meses de verano se registraron los ITH más elevados, ubicándose en un rango de entre 83.90 y 87.30 unidades a través de los meses. Los promedios mensuales de ITH en los meses de invierno y parte de primavera fueron menores a 74 unidades.

Los resultados de estadísticos descriptivos para medidas corporales, zoométricas y reproductivas, así como de las concentraciones de metabolitos sanguíneos en vaquillas a su primer servicio se presentan en el Cuadro 2. Dentro de los valores promedio de algunas características que mayormente son utilizadas para seleccionar vaquillas de reemplazo, se encuentran, previo al primer servicio el peso vivo, la condición corporal y la edad al primer servicio de las vaquillas, las cuales fueron de 384.80 ± 30.55 kg, 3.27 ± 0.27 unidades y 431.14 ± 10.76 d, respectivamente. En relación a las medidas zoométricas, se observó un valor promedio para altura a la cruz y cadera de las vaquillas de 131.64 ± 3.37 y 139.09 ± 3.50 cm, respectivamente, con un área pélvica de

209.36 ± 30.88 cm². A nivel metabólico, las vaquillas en su primer servicio presentaron concentraciones sanguíneas de colesterol, triglicéridos, glucosa, proteína total y urea de 163.99 ± 26.31, 26.87 ± 7.05, 85.61 ± 11.83, 7.21 ± 0.53 y 26.67 ± 8.50 mg/dL, respectivamente. Cabe mencionar que la mayoría de las mediciones corporales y zoométricas presentaron coeficientes de variación menores a 10%, con excepción de las medidas del tracto reproductor y las concentraciones de metabolitos.

Las medidas corporales y la edad al primer servicio se correlacionaron con medidas zoométricas, con concentraciones de metabolitos y con medidas del tracto reproductor (Cuadro 2). La condición corporal se correlacionó ($P < 0.05$) positivamente ($0.19 \leq r \leq 0.32$) con peso vivo, circunferencia torácica, distancia entre huesos isquiáticos, ancho de pelvis y ancho de ovario; mientras que el peso vivo se correlacionó ($P < 0.05$) positivamente ($0.22 \leq r \leq 0.57$) con la GDP, alto y ancho cadera, largo de cuerpo, circunferencia torácica, distancia entre huesos isquiáticos, ancho de pelvis, concentración de urea y alto y ancho de ovario. Por su parte, la GDP mostró correlacionarse ($P < 0.05$) positivamente ($0.21 \leq r \leq 0.33$) con ancho de pelvis, y alto y ancho de ovario; no obstante, la GDP se correlacionó ($P < 0.05$) negativamente ($-0.24 \leq r \leq -0.18$) con medidas pélvicas (altura y diagonal) y edad a primer servicio. Finalmente, la edad al primer servicio se correlacionó ($P < 0.05$) negativamente ($-0.02 \leq r \leq -0.28$) con ancho de pelvis y las mediciones del ovario. El resto de las mediciones y concentraciones de metabolitos no mostraron ($P > 0.05$) correlacionarse con la condición corporal, peso vivo, GDP o edad a primer servicio.

Por otra parte, las medidas zoométricas registradas a diferentes edades (5-6 meses, 11-12 meses y previo al primer servicio) no difirieron ($P>0.05$) entre vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio (Cuadro 3). Similarmente, no se detectaron variaciones ($P>0.05$) en las mediciones pélvicas entre los dos grupos de vaquillas. No obstante, mientras que a los 5-6 meses y 11-12 meses no hubo diferencias ($P>0.05$) en el peso vivo entre vaquillas gestantes y no gestantes, previo al primer servicio se observó mayor ($P<0.05$) peso vivo y condición corporal a favor de vaquillas no gestantes (Cuadro 4). La GDP a los 11-12 meses, así como previo al primer servicio no fue afectada por el estado fisiológico (gestantes vs. no gestantes). En el caso de los resultados del tracto reproductivo previos al primer servicio (Cuadro 5), se observó que sus mediciones (alto y ancho de ovario), no variaron ($P>0.05$) entre vaquillas gestantes y no gestantes. Similarmente, la edad a primer servicio no difirió ($P>0.05$) entre vaquillas gestantes y no gestantes.

Las concentraciones séricas de progesterona, así como las de colesterol, triglicéridos, proteína total y urea no fueron diferentes ($P>0.05$) de acuerdo al estado fisiológico de las vaquillas (gestantes vs. no gestantes; Cuadro 6). Sin embargo, la concentración de glucosa en suero difirió entre grupos, siendo mayor ($P<0.05$) en vaquillas no gestantes en comparación a las gestantes (90.54 ± 2.3 vs. 83.46 ± 1.5 mg/dL).

V. DISCUSIÓN

En el presente estudio, el promedio de temperatura en verano rebasó los 30 °C, no así en invierno y parte de primavera, donde los promedios de temperatura estuvieron por debajo de 22 °C. Estos datos obtenidos coinciden con los reportados por el SMN (2013), donde indican que en el área de Mexicali, B.C., el promedio anual de temperatura para esta zona es de 22.2 °C, mientras que la humedad relativa se mantiene en un rango de 48.3 a 69.0 %.

La adecuada selección de vaquillas es de importancia para garantizar una aceptable tasa de concepción y una producción de leche adecuada. Tradicionalmente, las características usadas para seleccionar las vaquillas al inicio del empadre son: el peso vivo, la edad y recientemente la condición corporal, así como la altura a la cruz y a la cadera. Diversas investigaciones han reportado que el peso vivo, la edad y la condición corporal recomendada al primer servicio en vaquillas Holstein se encuentra en los rangos de 340 - 365 kg (Heinrichs, 1992; Tozer y Heinrichs, 2001), 13 - 15 meses (Donovan y Braun, 1987) y de 2.8 a 3.0 unidades en una escala de 5 puntos (Kerzt *et al.*, 1998), respectivamente. Además, de altura a la cruz de 119 a 126 cm, y a la cadera de 125 a 132 cm (Hoffman, 1997). El alcanzar estos parámetros al primer servicio permite que el primer parto se logre entre los 22 y 24 meses de edad, lo cual según Donovan y Braun (1987) y Lammers *et al.* (1999), es la edad óptima para que ocurra el primer parto asegurando con ello, una buena producción láctea en su primera lactancia.

La edad al primer servicio registrada en el presente estudio se encuentra dentro del rango recomendado para iniciar su vida reproductiva (12.8 - 14.7 meses). Sin embargo, el peso vivo y la condición corporal, así como la altura a la cruz y cadera, estuvieron ligeramente por encima de lo recomendado. Las vaquillas de este estudio obtuvieron un promedio de ganancia diaria de peso desde el inicio del estudio hasta su primer servicio de 910 g/d, superior a lo recomendado en este periodo el cual es de 700 a 800 g/d (NRC, 1989; Abeni *et al.*, 2000). Asimismo, Heinrichs y Gabler (2003) concluyó que las vaquillas de la raza Holstein pueden llegar a su primer parto entre los 22 y 24 meses de edad si alcanzan una ganancia diaria de peso mínima de 820 g/d desde el nacimiento hasta el parto.

Se ha encontrado que vaquillas con crecimiento acelerado tienden a producir menos leche en su primera lactancia debido a un mal desarrollo del tejido mamario (Hoffman *et al.*, 1992, 2007). El crecimiento acelerado en vaquillas puede ocasionar una mayor deposición de grasa en ubre, lo cual puede provocar una baja en la producción de leche en la primera lactancia (Ettema y Santos, 2004). Resultados similares fueron reportados por Sejrsen y Purup (1997), quienes encontraron que cuando la ganancia diaria de peso en vaquillas Holstein pre-púberes excede de 700 g/d, el tejido secretorio mamario puede dañarse y afectar la subsecuente producción de leche. Sin embargo, Kertz *et al.* (1987) encontraron que la ganancia diaria de peso en vaquillas Holstein entre los 3 a 12 meses de edad podía incrementarse hasta 1000 g/d sin el acumulamiento excesivo de grasa. Buskirk *et al.* (1996) mencionan que vaquillas con mayor

ganancia diaria de peso alcanzan la pubertad a una edad más temprana y con una buena producción de leche en su primera lactancia, sin afectar negativamente la tasa de concepción al primer servicio.

Existen algunas mediciones zoométricas que han sido utilizadas como criterio de selección de vaquillas para reemplazo. Estas mediciones también podrían tener importancia como indicadores de fortaleza ósea, asimismo, podrían relacionarse con la producción de leche y dificultad al parto (Daly y Riese, 1992; Navarro *et al.*, 2008). En un estudio en donde se aumentó la proporción de proteína-energía, se dio como resultado un aumento en la anchura y altura de la cadera, altura a la cruz y crecimiento de circunferencia torácica (Lammers, 1998).

La cadera de las vaquillas al primer servicio presentó 70.35 cm de ancho en promedio, valor que es muy superior a los 52 cm reportados por Shanks y Spahr (1982) en vacas primíparas. Esta diferencia entre resultados puede deberse a que los programas de selección en vaquillas Holstein han evolucionado con el tiempo, y con ello el tipo de vaquillas a seleccionar. En el caso de la pelvis, las vaquillas Holstein evaluadas obtuvieron en promedio 14.81 cm de altura, 14.06 cm de ancho, 15.65 cm de diagonal y 209.36 cm² de área pélvica. Este tamaño de área se considera óptimo para vaquillas al primer servicio, ya que reduce los problemas de distocia (Navarro *et al.*, 2008)

Las concentraciones séricas promedio de glucosa (85.61 mg/dL) y proteína total (7.21 mg/dL) estuvieron dentro de los rangos de referencia

(glucosa: 40 - 100 mg/dL y proteína total: 6.7 - 7.5 mg/dL), mientras que los niveles de urea en suero (26.67 mg/dL) estuvieron ligeramente por encima del límite máximo (10-25 mg/dL); esto acorde a lo indicado para vacas por Merck (2015). Por otra parte, de acuerdo a los valores de referencia para ganado indicados por Radostits *et al.* (2000), los niveles de colesterol, proteína total y urea encontrados en las vaquillas Holstein en este estudio son adecuados, mientras que los niveles de glucosa y triglicéridos fueron elevados. Cabe mencionar que los rangos de referencia señalados por Merck (2015) y Radostits *et al.* (2000) son generales para vacas, independientemente de raza, estado fisiológico y edad, lo cual puede explicar las discrepancias encontradas entre los valores obtenidos en este estudio y los reportados como referenciales.

Estudios conducidos por Betancourt (2014) y Angulo (2015) en la misma zona de este estudio, encontraron niveles séricos de glucosa muy similares (85.6 y 88.8 mg/dL, respectivamente) a los encontrados en este trabajo, no así para los niveles de colesterol, los cuales estuvieron 32 mg/dL por debajo de los determinados en las vaquillas de este estudio. Similarmente, Angulo (2015) encontró una concentración en suero de colesterol de 130 mg/dL, el cual fue inferior en 33 mg/dL al valor promedio observado en este trabajo para ese metabolito. En ese mismo estudio reportaron solamente 20 mg/dL en promedio para la concentración de glucosa sérica en las vaquillas Holstein al momento del primer servicio, siendo este valor muy inferior al observado en el actual trabajo y a los rangos establecido para ganado lechero por Merck (2015).

Estudios han reportado que el tamaño de los ovarios en vaquillas es un indicador de la madurez sexual y el nivel de desarrollo folicular (Fortune *et al.*, 2013). Generalmente, ovarios de mayor tamaño se relacionan con una mayor presencia de folículos antrales, lo cual resulta benéfico para la fertilidad a primer servicio en vaquillas (Mossa *et al.*, 2012). En este estudio, el ovario de las vaquillas presentó un alto y ancho de 1.85 ± 0.25 y 1.56 ± 0.22 cm, respectivamente. En vaquillas Holstein, Ireland *et al.* (2008) encontraron que, mientras los ovarios con baja población de folículos antrales presentaban un largo de 2.30 ± 1.40 cm y ancho de 1.23 ± 1.10 cm, los ovarios con alta población de folículos tenían un largo de 2.80 ± 1.30 cm y ancho de 1.55 ± 0.80 cm. Aparentemente, las vaquillas Holstein del estudio de Ireland *et al.* (2008) a diferencia de este estudio, presentaban mayor tamaño ovárico, aun y cuando el número de folículos antrales fueron bajos. Lo anterior pudiera ser explicado porque las vaquillas de ese estudio tenían una mayor edad (12-18 meses) y peso vivo (411 ± 14 kg) al momento del primer servicio comparado con la de este estudio; esto pudo resultar benéfico para una mayor actividad ovárica.

Por otra parte, la mayoría de las mediciones registradas en las vaquillas Holstein mostraron un coeficiente de variación menor a 20 %. Algunos estudios realizados en ganado señalan que es normal encontrar coeficientes de variación relativamente bajos en grupo de animales contemporáneos del mismo sexo y raza (Rodero y Herrera, 2000; Contreras *et al.*, 2011). Lo anterior es explicado porque los animales de una cierta raza siempre siguen patrones de crecimiento muy similares, dado que las características de producción tienden a presentar

índices de herencia superiores a los que presentan las características reproductivas (Wasana *et al.*, 2015). Así mismo, se debe tener en cuenta que en la recría donde se realizó el estudio, se mantiene una vigilancia rigurosa en la selección de las vaquillas entre el periodo post-destete y la pubertad. Lo anterior permite desechar aquellas hembras que presenten un rezago en su desarrollo y crecimiento, resultando en una mayor homogeneidad corporal y estructural dentro del grupo de vaquillas de reemplazo.

El peso vivo mostró estar correlacionado positivamente con la ganancia diaria de peso y la condición corporal, aunque con esta última variable la relación fue considerada baja ($r=0.32$). El hecho que el peso vivo obtuviera una mayor correlación con la ganancia diaria de peso comparado con condición corporal, puede ser debido a que durante esta fase del crecimiento de los animales los nutrientes son direccionados más para la formación de músculo y hueso, que para tejido graso (Bavera *et al.*, 2005). La condición corporal es una medición ampliamente usada para evaluar la condición nutricional de los animales y se basa en la característica corporal que le puede dar el acumulamiento de grasa en diferentes partes del cuerpo a un animal (López, 2006). También se debe considerar que la medición de la condición corporal se realiza de manera subjetiva, y una sobre- o sub-estimación de esta variable por parte del evaluador podría alterar el nivel de relación que hay entre peso vivo y condición corporal. No se encontró una relación entre condición corporal y ganancia diaria de peso, lo cual sugiere que la ganancia de peso pre-puberal en vaquillas se debe al desarrollo y crecimiento de la parte músculo-esquelética.

La edad al primer servicio en las vaquillas se correlacionó negativamente con la ganancia diaria de peso, lo cual coincide con lo reportado en otros estudios (London *et al.*, 2012; Eborn *et al.*, 2013), donde indican que una mayor ganancia de peso pre-puberal o un crecimiento acelerado en este periodo reduce la edad a primer servicio. Las vaquillas con mayor ganancia diaria de peso presentan un mayor desarrollo de folículos antrales, lo cual a su vez aumenta los niveles de estrógenos y permite que se alcance la pubertad a una edad más temprana y que ocurra la primera ovulación (Sejrsen *et al.*, 2000). Un estudio realizado en vaquillas Holstein por Le Cozler *et al.* (2009), demostraron que la edad al primer servicio fue similar a pesar de que la edad a primer celo se redujo cuando la ganancia diaria de peso aumentó de 850 a 978 g/d. Cabe resaltar que, aun y cuando los resultados de este estudio y de otros demuestran que una mayor tasa de crecimiento pre-puberal acorta la edad a primer servicio, no se recomienda realizar el empadre de vaquillas Holstein a edades menores de 13 meses, ya que puede provocar la presencia de problemas, tales como: partos distócicos, menor producción de leche en su primera lactancia, así como problemas patológicos en el útero que conllevan a la infertilidad y/o una reducción en su vida productiva (Ettema y Santos, 2004).

Por otra parte, el peso vivo de las vaquillas Holstein previo al primer servicio se correlacionó positivamente con algunas medidas zoométricas, específicamente con las medidas de cadera, circunferencia torácica, distancia entre huesos isquiáticos y largo de cuerpo. Estos resultados son explicados porque a medida que el cuerpo del animal va incrementando de peso, el

desarrollo y crecimiento de músculo y huesos también va aumentando (Stelwagen y Grieve, 1992). Gardner *et al.* (1977) demostraron que el peso vivo y las medidas zoométricas tienen una relación desde el nacimiento hasta el primer servicio, sin embargo, cuando los animales alcanzan el peso entre 335 y 365 kg, esta relación tiende a disminuir debido a que entran en una etapa de crecimiento alométrico, donde el animal crece más lento y la composición corporal tiende a aumentar.

En otros estudios han reportado una correlación positiva entre peso vivo y medidas zoométricas tales como altura y ancho de cadera, longitud del cuerpo y circunferencia torácica en ganado Holstein (Heinrichs *et al.*, 1992; Ozkaya y Bozkurt, 2009) y ganado negro Japonés (Malau-Aduli *et al.*, 2004). En un estudio conducido por White *et al.* (2015), en donde compararon las características zoométricas que presentaban vaquillas Holstein de exhibición y vaquillas de hatos lecheros comerciales, encontraron que la altura a la cruz, altura a la cadera y ancho de cadera, tenían una correlación positiva con el peso corporal. Los resultados de nuestro estudio son debido a que, en animales en crecimiento, el aumento de peso vivo provoca cambios en la composición corporal y crecimiento del musculo-esquelético (Vargas *et al.*, 2000).

La ganancia diaria de peso que presentaron las vaquillas Holstein desde el inicio del experimento hasta el primer servicio, mostró una correlación positiva con el ancho de pelvis, no así con las medidas de alto y diagonal pélvica, con las cuales presentó una correlación negativa. El hecho que la ganancia diaria de peso se haya correlacionado positivamente con el ancho de pelvis, sugiere que

problemas distócicos en vaquillas pueden ser reducidos si se incrementa la tasa de crecimiento pre-puberal, y con ello, obtener un mejor desarrollo del área pélvica (Buskirk *et al.*, 1996). Es importante considerar que una elevada ganancia de peso puede promover un aumento en la deposición de grasa en el canal pélvico, y en consecuencia, reducir el alto y diagonal de la pelvis (Bailey, 2009). Lo anterior coincide con los resultados reportados por Stahringer *et al.* (2003), quienes en un estudio en vaquillas Cebuinas y Europeas, encontraron que una mayor ganancia diaria de peso (689 vs. 504 g/d) disminuyó el área pélvica. Similarmente, Hoffman *et al.* (1997) en un estudio de crecimiento acelerado post-puberal, reportaron una relación negativa entre la ganancia diaria de peso y el área pélvica. Cabe mencionar que en este estudio también se obtuvo una correlación positiva baja entre condición corporal y el ancho de pelvis, lo cual también pudiera deberse a un aumento en la cantidad de tejido graso en la parte pélvica (Mee, 2008), considerando que las vaquillas ya habían llegado a una etapa de crecimiento alométrico.

La mayoría de los metabolitos sanguíneos registrados al momento del primer servicio no se correlacionaron con el peso vivo, condición corporal, ganancia diaria de peso y la edad al primer servicio, sin embargo, los niveles de urea mostraron una correlación positiva baja ($r=0.25$) con el peso vivo. Al respecto, García-López y Bacallao (2010) mencionan que un mayor consumo de alimento puede promover un aumento en las concentraciones de urea sanguínea, siendo esta situación más evidente cuando las dietas están formuladas con una alta relación proteína/energía metabolizable en rumen. Cabe

resaltar que en este estudio, las vaquillas presentaron un promedio de peso vivo superior a lo recomendado al primer servicio en vaquillas Holstein, lo cual pudiera sugerir que las vaquillas de este estudio presentaron un mayor consumo de alimento.

El peso vivo y la ganancia diaria de peso mostraron una correlación positiva pero baja con el alto y ancho de ovario. En un estudio realizado por Ireland *et al.* (2008), encontraron que el tamaño del ovario estaba influenciado por el número de folículos antrales presentes en el ovario, y que este número va en aumento a medida que el animal va creciendo y desarrollándose. Eborn *et al.* (2013) en una investigación en vaquillas de carne, a las cuales sometió a dos planes nutricionales (alto vs. bajo) en energía post-destete, encontró una correlación positiva entre el número de folículos antrales y el tamaño del ovario. Estos investigadores concluyeron que las vaquillas alimentadas con una dieta alta en energía presentaban una elevada ganancia diaria de peso, resultando en un mayor número de folículos antrales y un aumento en el tamaño del ovario.

En general, todas las medidas zoométricas evaluadas no mostraron ser diferentes entre vaquillas gestantes y no gestantes al primer servicio. En un estudio realizado por Bavera y Peñafort (2005), encontraron que la altitud y amplitud de la cadera es un indicador de la fertilidad en el ganado bovino. Esto es debido a que las vacas que presentan caderas anchas también presentan una mayor cantidad de tejido adiposo en la zona de la cadera, al igual que en la pelvis, pudiendo causar dificultades para concebir (Le Cozler *et al.*, 2009). No obstante, en congruencia con nuestros resultados, Donovan *et al.* (2003) al

evaluar los factores asociados con la tasa de concepción a primer servicio en vaquillas Holstein inseminadas artificialmente, concluyeron que la altura a la cruz y cadera no afectaron la fertilidad al primer servicio. Los resultados de este estudio, al igual que los de Donovan *et al.* (2003), pudieran ser debido a la poca variación que existió entre las medidas zoométricas en los estudio.

El peso vivo y la condición corporal entre los 11 y 12 meses, así como la edad al primer servicio, no variaron entre vaquillas gestantes y no gestantes. Así mismo, interesantemente se encontró que las vaquillas no gestantes presentaban mayor peso y condición corporal que las vaquillas gestantes previo a la inseminación. En razas de carne se han observado problemas de baja fertilidad debido a elevados pesos al primer servicio en vaquillas (Buskirk *et al.*, 1996), sin embargo, no se han encontrado trabajos previos que lo indiquen en vaquillas Holstein. Dunne *et al.* (1999) mencionan que las vaquillas que presentan elevados pesos debido a un mayor consumo de alimento, tienen bajas concentraciones circulantes de progesterona, y en consecuencia, una baja tasa de supervivencia embrionaria y fertilidad. La asociación negativa entre consumo de alimento y niveles circulantes de progesterona en ganado lechero se debe a que un elevado consumo de alimento favorece un incremento en el flujo sanguíneo hepático, lugar donde se metaboliza la progesterona (Sangsrivong *et al.*, 2002). La disminución de progesterona en la circulación puede ser debido a una elevada metabolización en hígado, lo cual resulta en una reducción de la fertilidad en vacas (Lucy, 2001; Washburn *et al.*, 2002) por un aumento en pérdidas embrionarias tempranas (Vasconcelos *et al.*, 1997). Basado en lo

anterior, las vaquillas no gestantes de este estudio presentaron mayor peso y condición corporal que las vaquillas gestantes, lo que pudiera ser debido a un aumento en el consumo de alimento; situación que las llevó posiblemente a que si quedaran gestantes, perdieran el embrión por un inadecuado ambiente uterino debido a bajos niveles de progesterona.

El tamaño ovárico previo al primer servicio fue similar entre vaquillas gestantes y no gestantes. Este resultado de tamaño ovárico no coincide con lo observado en estudios previos (Ireland *et al.*, 2008; Mossa *et al.*, 2012; Eborn *et al.*, 2013), donde indican que vaquillas con ovario de mayor tamaño son más fértiles debido a que presentan mejor desarrollo folicular y una cantidad mayor de folículos antrales. Es probable que las vaquillas del estudio se encontraran en diferentes etapas del ciclo estral al momento que se realizó la evaluación del ovario, dado que las mediciones se llevaron a cabo una semana antes de iniciar con el periodo de empadre, el cual duró aproximadamente un mes. Idealmente hubiera sido muy pertinente realizar las mediciones teniendo la plena seguridad que se encontraban en fase folicular.

En este estudio se observó que solamente las concentraciones séricas de glucosa fueron diferentes entre vaquillas gestantes y no gestantes, siendo más elevadas en vaquillas diagnosticadas como vacías posterior a su primer servicio. Este resultado puede ser atribuido a un mayor consumo de alimento en vaquillas no gestantes, esto considerando que también se encontró mayor peso vivo en estas hembras. Posiblemente, las elevadas concentraciones de glucosa sanguínea ocasionaron pérdidas embrionarias tempranas, de tal manera que al

momento del diagnóstico se encontraban vacías las vaquillas clasificadas como no gestantes. En un estudio realizado por Ellington *et al.* (1990), se demostró que un medio rico en glucosa inhibe el desarrollo de blastocitos a las 36 y 48 h. Por su parte, Seshagiri y Bavister (1991) reportaron que existe una disminución en el consumo de oxígeno en embriones cultivados con exceso de glucosa y fosfato, observándose una inhibición en la actividad respiratoria celular. La inhibición en la respiración embrionaria que causa la glucosa acompañada de fosfato se debe a la competencia de la glucólisis con las enzimas y/o componentes del ciclo de Krebs, tales como ADP, Pi, NAD o pirúvico (Petters *et al.*, 1990).

Cuadro 1. Condiciones climáticas registradas durante el estudio.

	Temperatura ambiente (°C)			Humedad relativa (%)			ITH (Unidades)		
	Promedio	Min. ¹	Max. ¹	Promedio	Min. ¹	Max. ¹	Promedio	Min. ¹	Max. ¹
2015									
Febrero	16.14	8.56	25.16	69.08	32.82	95.54	67.40	56.24	74.55
Marzo	20.92	10.90	27.95	58.75	28.12	93.55	71.48	61.08	75.99
Abril	19.69	10.68	27.87	52.44	21.70	90.83	68.82	60.49	74.55
Mayo	20.78	12.63	28.10	55.10	27.02	93.09	70.75	64.00	76.12
Junio	28.09	18.73	36.41	48.32	20.17	87.15	79.31	73.83	83.90
Julio	28.11	20.13	34.93	52.67	27.18	87.27	80.65	75.43	84.55
Agosto	30.62	20.09	37.67	50.68	24.02	85.86	83.43	78.50	87.30
Septiembre	27.98	21.11	34.64	55.30	29.00	86.18	81.73	76.74	86.12
Octubre	22.62	16.08	29.34	52.70	28.91	81.56	73.55	68.34	77.78
Noviembre	16.86	6.65	20.99	54.33	25.58	82.61	60.37	51.93	67.86
Diciembre	9.87	2.90	18.01	58.27	25.30	87.98	56.53	47.36	64.71
2016									
Enero	11.38	4.99	18.98	72.09	37.95	95.74	59.65	51.05	67.40
Febrero	15.35	6.91	23.93	48.66	18.78	79.10	62.85	53.91	70.74

ITH= Índice de temperatura y humedad (Hahn, 1999).

¹ Valores promedios diarios de mínimos (Min.) y máximos (Max.) de temperatura ambiente, humedad relativa e ITH representan el promedio de cada variable de todos los meses del estudio.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de variables de estudio y correlaciones de medidas corporales y edad al primer servicio con medidas zoométricas, metabólicas y reproductivas registradas en vaquillas Holstein al inicio del empadre.

Variables	Estadísticos descriptivos					Correlaciones			
	Media	DE	Min.	Max.	CV	CC	PV	GDP	Edad 1 ^{er} servicio
Corporales									
Peso vivo (kg)	384.80	30.55	322.00	496.00	7.33	0.32*	1.0	0.57*	-0.05
CC (unidades)	3.27	0.27	2.50	3.50	8.32	1.00	0.32*	0.15	-0.12
GDP (kg)	0.91	0.12	0.67	1.26	13.49	0.15	0.57*	1.00	-0.23*
Zoométricas (cm)									
Altura a la cruz	131.64	3.37	121.00	140.00	2.56	-0.10	0.09	-0.21	0.09
Altura a la cadera	139.09	3.50	131.00	149.00	2.53	0.01	0.39**	-0.07	0.00
Ancho de cadera	70.35	3.67	61.00	80.50	5.23	0.07	0.37*	-0.02	-0.13
Largo de cuerpo	117.74	5.22	106.00	135.00	4.43	0.18	0.49**	-0.02	0.07
Circunf. torácica	170.91	6.72	150.00	197.00	3.93	0.20*	0.43**	-0.06	-0.02
DHI	19.23	1.38	16.00	22.00	7.22	0.31*	0.47**	0.11	-0.12
Alto de pelvis	14.81	1.40	10.00	18.00	9.44	-0.16	-0.01	-0.20*	0.10
Ancho de pelvis	14.06	1.03	11.00	16.50	7.35	0.21*	0.24*	0.33**	-0.28**
Diagonal pélvica	15.65	0.95	12.00	18.00	6.11	0.00	0.01	-0.24*	0.02
Área pélvica (cm ²)	209.36	30.88	110.00	280.50	14.75	0.17	0.06	-0.18	-0.28
Metabólicas (mg/dL)									
Colesterol	163.99	26.31	86.77	221.54	16.04	0.00	0.05	0.16	-0.11
Triglicéridos	26.87	7.05	14.95	47.66	26.14	0.04	-0.01	-0.04	0.06
Glucosa	85.61	11.83	34.29	106.73	13.82	0.03	-0.13	-0.16	0.10
Proteína total	7.21	0.53	5.06	8.72	7.44	0.11	-0.10	-0.03	-0.03
Urea	26.67	8.50	17.78	66.86	31.86	0.01	0.25*	0.11	0.07
Reproductivas (cm)									
Alto de ovario	1.85	0.25	1.10	2.50	13.88	0.20	0.22*	0.28*	-0.20*
Ancho de ovario	1.56	0.22	0.80	2.10	14.20	0.21*	0.24*	0.33**	-0.02*
Edad 1 ^{er} servicio	431.14	10.76	413.00	475.00	2.49	-0.12	-0.05	-0.23*	1.00

(d)

CC= Condición corporal, GDP= Ganancia diaria de peso (registrada durante el periodo de estudio), DHI= Distancia entre huesos isquiáticos.

DE= Desviación estándar, Min.= Valores mínimos, Max.= Valores máximos, CV= Coeficiente de variación.

* P<0.05, ** P<0.01.

Cuadro 3. Medidas zoométricas (cm) a diferentes edades en vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio*.

Variables	No gestantes	Gestantes	EE
Entre 5 y 6 meses de edad			
Altura a la cruz	111.55	110.49	0.90
Altura a la cadera	121.86	120.71	0.79
Ancho de cadera	54.88	54.38	0.61
Largo de cuerpo	90.32	87.67	1.42
Circunferencia torácica	130.07	129.56	1.31
Distancia entre huesos isquiáticos	11.13	10.93	0.25
Entre 11 y 12 meses de edad			
Altura a la cruz	129.38	130.13	2.28
Altura a la cadera	137.30	135.26	0.79
Ancho de cadera	65.73	65.01	0.71
Largo de cuerpo	110.44	110.91	2.15
Circunferencia torácica	161.76	160.81	1.07
Distancia entre huesos isquiáticos	16.61	16.65	0.32
Previo al primer servicio			
Altura a la cruz	131.86	131.55	0.66
Altura a la cadera	140.17	138.68	0.68
Ancho de cadera	71.05	70.15	0.71
Largo de cuerpo	118.67	117.51	1.00
Circunferencia torácica	171.30	171.09	1.25
Distancia entre huesos isquiáticos	19.48	19.16	0.26
Alto de pelvis	14.65	14.86	0.27
Ancho de pelvis	13.90	14.13	0.20
Diagonal pélvica	15.86	15.55	0.18
Área pélvica (cm ²)	204.08	211.37	6.08

*No se encontró diferencia entre grupos $P > 0.05$.

EE= Error estándar.

Cuadro 4. Características corporales a diferentes edades en vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio.

Variables	No gestantes	Gestantes	EE
Peso vivo (kg)			
5-6 meses	152.57	149.49	4.90
11-12 meses	339.34	327.73	5.71
Previo al 1er. Servicio	391.59 ^a	377.60 ^b	5.07
Condición corporal (unidades)			
5-6 meses	---	---	---
11-12 meses	3.14	3.08	0.07
Previo al 1er. Servicio	3.36 ^a	3.24 ^b	0.05
Ganancia diaria de peso (kg/d)			
5-6 meses	---	---	---
11-12 meses ¹	1.06	1.02	0.02
Previo al 1er. Servicio ²	0.64	0.69	0.06

¹GDP= Ganancia diaria de peso (calculada los primeros 6 meses del estudio).

²GDP= Ganancia diaria de peso (calculada entre 11-12 meses y previo al 1er. Servicio).

EE= Error estándar.

^{ab} Medias dentro de hileras con distinta letra difieren P<0.05.

Cuadro 5. Características del tracto reproductor y edad al primer servicio de vaquillas Holstein gestantes y no gestantes al primer servicio.

Variables	No gestantes	Gestantes	EE
Alto de ovario (cm)	1.90	1.82	0.05
Ancho de ovario (cm)	1.61	1.53	0.04
Edad a 1 ^{er} servicio (d)	429.4	431.8	2.1

No se encontró diferencia entre grupos $P > 0.05$.

EE= Error estándar.

Cuadro 6. Concentración en suero de progesterona a los 11 y 12 meses de edad y de metabolitos al momento del primer servicio en vaquillas Holstein gestantes y no gestantes.

	No gestantes	Gestantes	EE
Progesterona (ng/ml)	8.60	7.92	1.39
Colesterol (mg/dL)	167.74	162.36	5.49
Triglicéridos (mg/dL)	26.69	26.94	1.47
Glucosa (mg/dL)	90.54 ^a	83.46 ^b	2.38
Proteína Total (mg/dL)	7.28	7.18	0.11
Urea (mg/dL)	25.42	27.22	1.77

EE= Error estándar

^{a,b} Medias dentro de hileras con distinta letra difieren $P < 0.05$.

VI. CONCLUSIÓN

- Las características corporales como peso vivo y condición corporal al primer servicio fueron mayores en las vaquillas no gestantes. El mayor peso observado en las vaquillas no preñadas, además de algunos factores de manejo no evaluados en el estudio, pudieron causar una baja en la fertilidad de las vaquillas.
- La glucosa en suero sanguíneo fue el único metabolito que presentó una mayor concentración en las vaquillas no gestantes. Lo anterior pudo causar un efecto negativo sobre la tasa de concepción, debido a que niveles altos de glucosa afectan negativamente el desarrollo embrionario.
- Las variables que mostraron tener una mayor correlación con la edad a primer servicio fueron la ganancia diaria de peso (-23), el ancho de la pelvis (-28) y largo del ovario (-20).
- La población estudiada provino de un solo hato y de una misma región, lo cual la hace una población muy homogénea con muy poca variación y por lo tanto difícil de seleccionar en base a sus características corporales.

VII. LITERATURA CITADA

- Abeni, F., L. Calamari, L. Stefanini, and G. Pirlo, G. 2000. Effects of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on BCS, body size, metabolic profile and future milk production. *J. Dairy Sci.* 83:1468-1478.
- Alves, B.G., K.A. Alves, A.C. Lúcio, M.C. Martins, T.H. Silva, B.G. Alves, L.S. Braga, T.V. Silva, M.A.O. Viu, M.E. Beletti, J.O. Jacomini, R.M. Santos, and M.L. Gambarini. 2014. Ovarian activity and oocyte quality associated with the biochemical profile of serum and follicular fluid from Girolando dairy cows postpartum. *Anim. Reprod. Sci.* 146:117-125.
- Angulo, N.I.V. 2015. Evaluación del uso del semen sexado en vaquillas Holstein bajo enfriamiento artificial en verano comparado con invierno: tasa de concepción y respuesta fisiológica. (Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias). Universidad Autónoma de Baja California. p. 36-41.
- Bavera, G.A., y C.H. Peñafort. 2005. Evaluación exterior de los signos de fertilidad y subfertilidad de un rodeo. Sitio Argentino de producción animal. p. 1-15. http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/externior/07-evaluacion_exterior_de_los_signos.pdf (Consultado el 14 agosto del 2016).
- Bavera, G.A., O. Bocco, H. Beguet, y A. Petryna. 2005. Crecimiento, desarrollo y precocidad. Cursos de producción bovina de carne, FAV UNRC. Sitio Argentino de producción animal. p. 1-11. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externior/07evaluacion_exterior_de_los_signos.pdf (Consultado el 28 de mayo del 2016).
- Báez, D.S., C.M. Fierro, y H.F. Ingalls. 2000. Costo de producción promedio de una vaquilla de reemplazo lechera en la zona de Querétaro, Mexico. Simposio. <http://www.congresocbta.unam.mx/PA17.htm> (consultado el 30 abril 2015).
- Bailey, T. 1997. Evaluación económica de la vaquilla de reemplazo. *Rev. México-Holstein.* México, D. F. p. 14-17.
- Bailey, T.L. 2009. Monitoring Dairy Heifer Growth. Department of Dairy Science. Virginea Cooperative Extension. p. 1-5. https://pubs.ext.vt.edu/404/404-286/404-286_pdf.pdf (consultado 25 julio del 2016).

- Bagg, J.G., D.G. Grieve, J.H. Burton, and J.B. Stone. 1985. Effect of protein on growth of Holstein heifer calves from 2 to 10 months. *J. Dairy Sci.* 68: 2929-2939.
- Barmore, J., P.C. Hoffman, and P.S. Price. 1995. Las raciones balanceadas ayudan a las vaquillas a crecer. *Horad's. Dairyman.* p.168-169.
- Bewley, J.M., A.M. Peacock, O. Lewis, R.E. Boyce, D.J. Roberts, M.P. Coffey, S.J. Kenyon, and M.M. Schutz. 2008. Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images. *J. Dairy Sci.* 91:3439-3453.
- Betancourth, J.F. 2014. Tasa de concepción en vaquillas Holstein inseminadas con semen sexado en dos diferentes épocas del año. (Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias). Universidad Autónoma de Baja California. p. 32-47.
- Boissy, A., and M.F. Bouissou. 1988. Effect of early handling on heifers' subsequent reactivity to humans and to unfamiliar situations. *Appl. Animal Behaviour Sci.* Vol. 20. p. 259-273.
- Bossis, I., R.P. Wettemann, S.D. Wetty, J.A. Viscarra, L.J. Spicer, and G.M. Diskin. 1999. Nutritionally induced anovulation in beef heifers: Ovarian and endocrine function preceding cessation of ovulation. *J. Anim. Sci.* 77:1536-1546.
- Brown, E.G., M.J. VandeHaar, K.M. Daniels, J.S. Liesman, L.T. Chapin, D.H. Keisler, and M.S.W. Nielsen. 2005. Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *J. Dairy Sci.* 88:585-594.
- Burrow, H.M., G.W. Seifert, and N.J. Cobert. 1988. A new technique for measuring temperament in cattle. *Australian Society of Animal Production.* Vol.17. p 154-157.
- Buskirk, D.D., D.B. Faulkner, W.L. Hurley, D.J. Kesler, F.A. Ireland, T.G. Nash, J.C. Castree, and J.L. Vicini. 1996. Growth, reproductive performance, mammary development, and milk production of beef heifers as influenced by prepubertal dietary energy and administration of bovine somatotropin. *J. Anim. Sci.* 74:2649-2662.
- Chebel, R.C., F.A. Braga, and J.C. Dalton. 2007. Factors affecting reproductive performance of Holstein heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 101:208-224.

- Clanton, D.C., L.E. Jones, and M.E. England. 1983. Effect of rate and time of gain after weaning of development of replacement beef heifers. *J. Anim. Sci.* 56:280-289.
- Contreras, G., Z. Chirinos, S. Zambrano, E. Molero y A. Paéz. 2011. Caracterización morfológica e índices zoométricos de vacas Criollo Limonero de Venezuela. *Rev. Frac. Agron.* 28:91-103.
- Correa-Calderón, A., C.I. Gómez-Álvarez, L. Avendaño-Reyes, R. Diaz-Molina, S. Medina-Cervantes, F. Rivera-Acuña, P. Luna-Nevárez, y U. Macias-Cruz. 2014. Efecto de la suplementación de progesterona y enfriamiento artificial post-inseminación sobre la eficiencia reproductiva de vaquillas Holstein durante el verano. *Arch. Med. Vet.* 46:189-196.
- Daly, R.F., and R.L. Riese. 1992. Pelvic measurements: applications in beef cattle practice today. *Iowa State University Veterinarian.* 54:1-14.
- De Wit, A.A.C., M.L.F. Cesar, and T.A. M. Kruip. 2001. Effect of urea during in vitro maturation on nuclear maturation and embryo development of bovine cumulus-oocyte-complexes. *J. Dairy Sci.* 84:1800-1804.
- Deutscher, G.H. 1991. Pelvic measurements for reducing calving difficulty. Cooperative Extension. Institute of Agricultural and Natural Resources. University of Nebraska. Lincoln. p.1315-1318.
- Deutscher, G.H. 1995. Reducing calving difficulty by heifer and sire selection and management. Proceedings, The Range Beef Cow Symposium XIV. December 5, 6 and 7. Gering, Nebraska.
- Donovan, G.A., and R.K. Braun. 1987. Evaluation of dairy heifer replacement-rearing programs. *Edu. Pract. Vet.* 9:133-139.
- Donovan, G.A., F.L. Bennett, and F.S. Springer. 2003. Factors associated with first service conception in artificially inseminated nulliparous Holstein heifers. *Theriogenology.* 60: 67–75.
- Dunne, L.D., M.G. Diskin, M.P. Boland, K.J. O'Farrell, and J.M. Sreeman. 1999. The effect of pre- and post-insemination plane of nutrition on embryo survival in beef heifers. *Anim. Sci.* 69:411-417.
- Eborn, D.R., R.A. Cushman, and S.E. Echtenkamp. 2013. Effect of postweaning diet on ovarian development and fertility in replacement beef heifers. *J. Anim. Sci.* 91:4168-4179.
- Engelken, T.J. 2008. Developing replacement beef heifers. *Theriogenology.* 70:569-572.

- Ettema, J.F., and J.E.P. Santos. 2004. Impact of age at first calving on lactation, reproduction, health, and income in first-parity Holstein on commercial farms. *J. Dairy Sci.* 87:2730-2742.
- Edmonson, A.J., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver, and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:68-78.
- Ellington, J.E., E.W. Carney, P.B. Farrell, M.E. Simkin, and R.H. Foote. 1990. Bovine 1-2-cell embryo development using a simple medium in three oviduct epithelial cell coculture systems. *Biol. Reprod.* 43:97-104.
- Ferguson, J.D., D.T. Galligan, and N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 77 :695-703.
- Ferreira, R.M., H. Ayres, M.R. Chiaratti, M.L. Ferraz, A.B. Araújo, C.A. Rodrigues, Y.F. Watanabe, A.A. Vireque, D.C. Joaquim, L.C. Smith, F.V. Meirelles, and P.S. Baruselli. 2011. The low fertility of repeat-breeder cows during summer heat stress is related to a low oocyte competence to develop into blastocysts. *J. Dairy Sci.* 94:2383-2392.
- Foldager, J., K. Sejrsen, and J.T. Sorensen. 1988. The effect of plane of nutrition on growth and feed utilization in RDM and SDM heifers revision of energy requirements for growth. Report 648th, Natl. Inst. Anim. Sci., Foulum, Denmark. p. 121-133.
- Fortune, J.E., M.Y. Yang, J.J. Allen, and S.I. Herrick. 2013. Triennial reproduction symposium: The ovarian follicular reserve in cattle: What regulates its formation and size. *J. Anim. Sci.* 91:3041-3050.
- Froidmont, E., P. Mayeres, P. Picron, A. Turlot, V. Planchon, and D. Stilmant. 2013. Association between age at first calving, year and season of first calving and milk production in Holstein cows. *Animal.* 7:665-672.
- Gabler, M.T., P.R. Tozer, and A.J. Heinrichs. 2000. Development of a cost analysis spreadsheet for calculating the costs to raise a replacement dairy heifer. *J. Dairy Sci.* 83:1104-1109.
- García-López, R., y Y. Bacallao. 2010. Influencia de la concentración de urea en plasma en la gestación y componentes lácteos para las condiciones del trópico. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 44:19-21.
- Gardner, R.W., J.D. Schuh, and L.G. Vargus. 1977. Accelerated growth and early breeding of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 60:1941-1948.

- Gasser, C.L., E.J. Behlke, D.E. Grum. 2006. Effect of timing of feeding a high-concentrate diet on growth and attainment of puberty in early-weaned heifers. *J. Anim. Sci.* 84:3118-3122.
- Gearhart, M.A., C.R. Curtis, H.N. Erb, R.D. Smith, C.J. Sniffen, L.E. Chase, and M.D. Copper. 1990. Relationship of changes in condition score to cow health in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 73:3132- 3140.
- Grajales, H., A. Hernández, y E. Prieto. 2006. Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livestock research for rural development*. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd18/10/graj18139.htm> (Consultado 27 mayo 2015).
- Hall, J.B. 2005. Reproductive evaluation of heifers. *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*. November 1 and 2. Lexington, Kentucky.
- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77: 10-20.
- Hansen, L.B. 2005. Vacas lecheras funcionales. Universidad de Minnesota. EE.UU. http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/09-tendencias_seleccion_genetica.pdf (Consultado el 10 junio del 2016).
- Harrison, R.D., P. Reynolds, and W. Little. 1983. A quantitative analysis of mammary glands of dairy heifers reared at different rates of live weight gain. *J. Dairy Res.* 50:405-412.
- Harlan, D.R., and R.H. David. 2002. Selecting replacement heifers. *Beef Cattle Handbook*. Michigan State University. http://www.iowabeefcenter.org/Beef%20Cattle%20Handbook/Selecting_Replacement_Heifers.pdf (Consultado el 23 mayo del 2016).
- Heinrichs, A.J., and G.L. Hargrove. 1987. Standards of weight and height of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 70:653-660.
- Heinrichs, A.J., and G.L. Hargrove. 1991. Standards of weight and height for Guernsey and Jersey heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1684-1689.
- Heinrichs, A.J., G.W. Rogers, and J.B. Cooper. 1992. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *J. Dairy Sci.* 75:3576-3581.

- Heinrichs, A. J., and M.T Gabler. 2003. Dietary protein to metabolizable energy ratios on feed efficiency and structural growth of prepubertal Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 86:268-274.
- Hiew, M.W.H., and P.D. Constable. 2015. The usage of pelvimetry to predict dystocia in cattle. *J. Vet. Malaysia.* 27:1-4.
- Hoffman, P.C. 1997. Optimum body size of Holstein replacement heifers. *J. Anim. Sci.* 75:836-845.
- Hoffman, P.C., and D.A. Funk. 1992. Applied dynamics of dairy replacement growth and management. *J. Dairy Sci.* 75: 2504-2516.
- Hoffman, P.C., M. Brehm, S.G. Price, and A. Prill-Adam. 1997. Effect of accelerated postpubertal growth and early calving on lactation performance of primiparous Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 79:2024-2031.
- Hoffman, P. C., C.R. Simson, and M. Wattiaux. 2007. Limit feeding of gravid Holstein heifers: effect on growth, manure nutrient excretion, and subsequent early lactation performance. *J. Dairy Sci.* 90:946–954.
- Huszenicza, G., J. Haraszti, L. Molnar, L. Solti, S. Fekete, K. Ekes and A.C. Yaro. 1988. Some metabolic characteristics of dairy cows with different post partum ovarian function. *J. Vet. Med.* 35:506-515.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Mexicali Baja California. Clave geostadística 02002 disponible en <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/> (consultado 18 de diciembre 2015).
- Ireland, J.L.H., D. Scheetz, F. Jimenez-Krassel, A.P.N. Themmen, F. Ward, P. Lonergan, G.W. Smith, G.I. Perez, A.C.O. Evans, and J.J. Ireland. 2008. Antral follicle count reliably predicts number of morphologically healthy oocytes and follicles in ovaries of young adult cattle. *Biol. Reprod.* 79:1219–1225.
- Jarrige, R. 1981. Alimentación de los Rumiantes. Ed. Mundi-Prensa. Institut National de la Recherche Agronomique. Versailles, Francia. p. 403.
- Jolly, P.D., S. McDougall, L.A. Fitzpatrick, K.L. Macmillan, and K.W. Entwistle. 1995. Physiological effects of undernutrition on postpartum anoestrus in cows. *J. Reprod. Fert.* 49: 477-492.
- Jordan, E.R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:104-114.

- Kertz, A.F., F. Reutzel, B.A. Barton, and R.L. Ely. 1998. Body weight, body condition score, and wither height of prepartum Holstein cow and birth weight and sex of calves by parity: A database and summary. *J. Dairy Sci.* 80: 525-529.
- Kurt, S.S. 1999. Alimentación de Bovinos. UNAM-FMVZ. División de Sistemas de Universidad Abierta y Educación a Distancia. México D.F .p. 32-37.
- Lacasse, P. 1993. Effect of plane of nutrition of dairy heifers before and during gestation on milk production, reproduction and health. *J. Dairy Sci.* 76:3420-3427.
- Lammers, B.P., A.J. Heinrichs, and R.S. Kensinger. 1999. The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal dairy heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. *J. Dairy Sci.* 82: 1754-1764.
- Lee, A.J., C.Y. Lin, A.J. Mcallister, K.A. Winter, G.L. Roy, J.A. Vesely, J.M. Wauthy, T.R. Batra, and A.S. Atwal. 1988. Growth and feed efficiency of pureline and crossline dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 71: 1000-1010.
- Lee, A.J. 1997. The interplay of feeding and genetics on heifer rearing and first lactation milk yield: A review. *J. Anim. Sci.* 75: 846-851.
- Le Cozler, Y., J.L. Peyraud, and J.L. Troccon. 2009. Effect of feeding regime growth intensity and age at first insemination on performances and longevity of Holstein heifers born during autumn. *Liv. Sci.* 124:72-81.
- Leaver, J.D. 1977. Rearing of dairy cattle. Effect of level of nutrition and body condition on the fertility of heifers. *Anim. Prod.* 25:219-224.
- Little, W., and R.M. Kay. 1979. The effects of rapid rearing and early calving on the subsequent performance of dairy heifers. *Anim. Prod.* 29: 131-142.
- Llamas, L.G. 1996. Producción de vaquillas de reemplazo: El Talón de Aquiles de la ganadería lechera en México. En: Memorias de ciclo de conferencias: Actualidades en alimentación de ganado lechero. AMENA. Univ. Autónoma de Qro. p. 27-39.
- London, M.L., J.K. Bernard, M.A. Froetschel, J.K. Bertrand, and W.M. Graves. 2012. The relationship between weight, age, and average daily gain to show performance of Georgia 4-H and Future Farmers of America (FFA) commercial dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 95:986-996.
- López, F.J. 2006. Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. Facultad de Ciencias Agronómicas. 4:77-86.

www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol4/9.pdf (Consultado 13 de octubre. 2015).

- Looper, M., and G. Bethard. 2000. Management considerations in Holstein heifer development. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. Guide. p. 118.
- Lucy, M.C. 2001. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end?. *J. Dairy Sci.* 84:1277-1293.
- Malau-Aduli, A.E.O., M.A. Aziz, T. Kojima, T. Niibayashi, K. Oshima, and M. Komatsu. 2004. Fixing collinearity instability using principal component and ridge regression analyses in the relationship between body measurements and body weight in Japanese Black cattle. *J. Anim. Vet. Adv.* 3: 856-863.
- Martínez, A.L., M. Pérez, G. Gómez y D. Carrión. 2010. Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. REDVET. Disponible en: www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080810/081004.pdf (Consultado el día 17 de diciembre 2015).
- Mee, L.F. 2008. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: A review. *J. Vet.* 76:93-101.
- Merck, 2015. The Merck Veterinary Manual. http://www.merckvetmanual.com/mvm/appendixes/reference_guides/serum_biochemical_reference_ranges.html (Consultado el 30 de Julio del 2016).
- McEvoy, T.G., J.J. Robinson, R.P. Aitken, P.A. Findlay, and I.S. Robertson. 1997. Dietary excesses of urea influence the viability and metabolism of preimplantation sheep embryos and may affect fetal growth among survivors. *Anim. Reprod. Sci.* 47:71-90.
- Moberg, G.P. 2000. Biological response to stress: Implications for animal welfare. In: Basic principles and implications for animal welfare. p. 1-22. Wallingford: CABI Publishing.
- Montiel, F., and C. Ahuja. 2005. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: A review. *Anim. Reprod. Sci.* 85: 1-26.
- Mossa, F., S.W. Walsh, S.T. Butler, D.P. Berry, F. Carter, P. Lonergan, G.W. Smith, J.J. Ireland, and A.C.O. Evans. 2012. Low numbers of ovarian follicles ≥ 3 mm diameter are associated with low fertility in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:2355-2361.

- Moran, C., J.F. Quirke, and J.F. Roche. 1989. Puberty in heifers: A review. *Anim. Reprod. Sci.* 18:167-182.
- Moro, J.M., y F.L. Ruiz. 1998. Mejoramiento genético de características de conformación en ganado Holstein. *Vet. Mex.* 29: 385-398.
- Muñoz, R.M., J.R. Altamirano, y C. Juárez. 1997. ¿TLC y Lácteos: Función o experimento?. Centro de investigaciones económicas, sociales y tecnológicas de la agroindustria y la agricultura mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma de Chapingo, México. p. 34-38.
- Navarro, E.M., C.M. Campero, C. Mezzadra, y A. Sciotti. 2008. Evaluación del área pélvica en vaquillonas para carne de entore precoz y su relación con el parto. *Vet. Arg.* 25:413-429.
- NRC. 1989. National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th rev. ed. Nat. Acad. Sci., Washington, DC.
- Ozkaya, S., and Y. Bozkurt. 2009. The accuracy of prediction of body weight from body measurements in beef cattle. *Arch. Tierz.* 4: 371-377.
- Paranhos da Costa, M.J.R. 2000. Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. *Anais de Etología*, 18: 26-42.
- Patterson, A.M., G.B. Martín, A. Foldes, C.A. Maxwell, and G.P. Pearce. 1992. Concentrations of plasma melatonina and luteinizing hormone in domestic gilts reared under artificial long or short days. *J. Reprod. Fert.* 94:85-95.
- Petters, R.M., B.H. Johnson, M.L. Reed, and A.E. Archibong. 1990. Glucose, glutamine and inorganic phosphate in early development of the pig embryo in vitro. *J. Reprod. Fertil.* 89:269-275.
- Pirlo, G., F. Miglior, and M. Speroni. 2000. Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk yield returns and rearing costs on Italian Holstein. *J. Dairy Sci.* 83: 603-608.
- Quezada, C.A., G.A. Ramírez, C.F. Pérez, L. Avendaño-Reyes, y D.M. Hallford. 2004. Comparación de dos protocolos de sincronización del estro en vaquillas de carne con distintas calificaciones de tracto reproductivo. *Interciencia.* 29: 638-642.
- Radostits, O.M., C.C. Gay, D.C. Blood, and K.W. Hinchliff. 2000. Caudal vena caval thrombosis and embolic pneumonia in cattle (posterior vena caval thrombosis, PVCT). *Veterinary Medicine. A textbook of the diseases of*

- cattle, sheep, pigs, goats and horses. Ninth. ed. Saunders, London. p. 451-452.
- Radke, B.R., J.W. Lloyd, J.R. Black, and S. Harsh. 2005. The value of genetic information in selecting dairy replacement. *Prev. Vet. Med.* 71:71-81.
- Ritchie, H.D., and D.R. Hawkins. 2002. Selección de vaquillonas de reposición. *Beef Cattle Handbok*. Michigan State University. http://www.veterinaria.org/asociaciones/vetuy/articulos/artic_bov/099/bov099.htm (Consultado el 10 junio 2016).
- Rabiee, A.R., and I.J. Lean. 2000. Uptake of glucose and cholesterol by the ovary of sheep and cattle and the influence of arterial LH concentrations. *Anim. Reprod. Sci.* 64:199-209.
- Roche, J.R., N.C. Friggens, J.K. Kay, M.W. Fisher, K.J. Stafford, and D.P. Berry. 2009. Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 92:5769-5801.
- Romero, A., y H. Teodomiro. 2005. Como comprar vaquillas de reemplazo. Departamento de Producción Animal de Rumiantes, FMVZ. UNAM. Mexico. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/departamentos/rumiantes/bovinotecnia/BtRqZooG007.pdf> (Consultado el 1 mayo del 2016).
- Rodero, E., y M. Herrera. 2000. El concepto de raza. Un enfoque epistemológico. *Arch. Zootec.* 49: 5-16.
- Ruegg, P.K., and R.L. Milton. 1995. Body condition scores of Holstein cows on prince Edward Island, Canada; Relationships with yield, reproductive performance and disease. *J. Dairy Sci.* 78: 552-564.
- Sangsrivong, S., D.K. Combs, R. Sartori, L.E. Armentano, and M.C. Wiltbank. 2002. High feed intake increases liver blood flow and metabolism of progesterone and estradiol-17 β in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85:2831-2842.
- Santos, J.E.P., W.W. Thatcher, R.C. Chebel, R.L.A. Cerri, and K.N. Galvão. 2004. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. *Anim. Reprod. Sci.* 82:523-535.
- SMN. 2013. Sistema Meteorológico Nacional. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=208&Itemid=118 (Consultado 18 de diciembre 2015).
- Sejrsen, K., and S. Purup. 1997. Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: A review. *J. Anim. Sci.* 75:828-835.

- 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.
- SAS, 2004. SAS/STAT: User's guide statistics released 9.1. 2nd ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Seshagiri, P.B., and B.D. Bavister. 1991. Glucose and phosphate inhibit respiration and oxidative metabolism in cultured hamster eight-cell embryos: Evidence for the "Crabtree Effect". *Mol. Reprod. Dev.* 30:105-111.
- Shanks, D., and S.L. Spahr. 1982. Relationships among udder depth, hip height, hip width, and daily milk production in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 65:1771-1775.
- Shamay, A., D. Werner, U. Moallem, H. Barash, and I. Bruckental. 2005. Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 44:1460-1469.
- Schillo, K.K., J. Hall, and S. Hileman. 1992. Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *J. Anim. Sci.* 70: 3994-3996.
- Silva, L.F.P., M.J. VanDehaar, B.K. Whitlock, R.P. Radcliff, and H.A. Tucker. 2002. Short communication: Relationship between body growth and mammary development in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 85:2600-2602.
- Stahringer, R.C., O. Balbuena, C.D. Kucseva, L.C. Arakaki, y G. Cabarcos. 2003. Efecto de la utilización de monensina sobre la aptitud reproductiva de vaquillas. *Sitio Argentino de producción animal.* p. 1-5.
- Stelwagen, K., and D.G. Grieve. 1992. Effect of plane of nutrition between 6 and 16 months of age on body composition, plasma hormone concentrations and first-lactation milk production in Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 72:337-346.
- Stevenson, J.L., J.A. Rodrigues, F.A. Braga, S. Bitente, J.C. Dalton, J.E.P. Santos, and R.C. Chebel. 2008. Effect of breeding protocols and reproductive tract score on reproductive performance of dairy heifers and economic outcome of breeding programs. *J. Dairy Sci.* 91:3424-3438.
- Stevenson, J.S., and A. Ahmadzadeh. 2011. Replacement management in cattle breeding standards and pregnancy management. *Encyclopedia of Dairy Sci.* (Second Edi.). p. 410-416.

- St-Pierre, N.R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US Livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86:52-77.
- Taylor, R.L., O.F. Pahnish, C.B. Roubicek, and W.H. Hale. 1966. Plasma cholesterol concentration in unsupplemented range cattle. *J. Anim. Sci.* 22:1035-1039.
- Tenhagen, B., A. Helmbold, and W. Heuwieser. 2007. Effect of various degrees of dystocia in dairy cattle on calf viability, milk production, fertility and culling. *J. Vet. Med.* 5:98-102.
- Tozer, P.R., and A.J. Heinrichs. 2001. What affects the costs of raising replacement dairy heifers: a multiple-component analysis. *J. Dairy Sci.* 81: 527–538.
- Vasconcelos, J.L.M., R.W. Silcox, J.A. Lacerda, J.R. Pursley, and M.C. Wiltbank. 1997. Pregnancy rate, pregnancy loss, and response to heat stress after AI at 2 different times from ovulation in dairy cows. *Biol. Reprod.* 56:140-152.
- Van Amburgh, M., D. Galton, D. Fox, and D. Bauman. 1991. Opportunities exist to optimize dairy heifers growth. *Feedstuffs.* 64:12-17.
- Van Amburgh, M., D. Galton, D. Bauman, R.W. Everett, D. Fox, L. Chase, and H.N. Erb. 1998. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *J. Dairy Sci.* 81:527-538.
- Vargas, C.A., M.A. Elzo, C.C. Chase, and T.A. Olson. 2000. Genetic parameters and relationships between hip height and weight in Brahman cattle. *J. Anim. Sci.* 78:3045-3052.
- Voisinet, B.D., T. Grandin, J.D. Tatum, S.F. O' Connor, y J.J. Struthers. 1997. Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. *J. Anim. Sci.* 75:892-896.
- Waltner, S.S., J.P. McNamara, and J.K. Hillers. 1993. Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76:3410-3419.
- Waterman, R.C., T.W. Geary, J.A. Patterson, and R.J. Lipsey. 2012. Early weaning in northern great plains beef production system: II. Development of replacement heifers weaned at 80 or 215 of age. *Livest. Prod. Sci.* 148:36-45.

- Wattiaux, M. A. 2011. Heifer Raising - Birth to Weaning. Chapter 35: Measuring Growth. The Babcock Institute for International Dairy Research and Development [online]. -2011 Board of Regents of the University of Wisconsin System. <http://dysci.wisc.edu/research/babcock-institute/node>
- Wasana, N., C. Gwanghyun, P. SuBong, K. SiDong, J. Choi, B. Park, ChanHyuk Park, and D. ChangHee. 2015. Genetic relationship of productive life, production and type traits of Korean Holsteins at early lactations. *J. Anim. Sci.* 28:1259-1265.
- Washburn, S.P., W.J. Silvia, C.H. Brown, B.T. McDaniel, and A.J. McAllister. 2002. Trends in reproductive performance in southeastern Holstein and Jersey DHI herds. *J. Dairy Sci.* 85:244-251.
- Williams, G.L. 1989. Modulation of luteal activity in postpartum beef cows through changes in dietary lipid. *J. Anim. Sci.* 67:785-793.
- Wickersham, E.W., and L.H. Schultz. 1963. Influence of age at first breeding on growth, reproduction, and production of Well-Fed Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 46:544-549.
- White, D.S., K.J. Duberstein, J.L. Fain-Bohlen, J.K. Bertrand, A.H. Nelson, M.A. Froetschel, B.E. Davidson, and W.M. Graves. 2015. Allometric comparison of Georgia dairy heifers on farms and at youth shows. *J. Dairy Sci.* 98:1345-1353.
- Whitman, R. W., E. E. Remmenga, and J. N. Wiltbank. 1975. Weight change, condition and beef cow reproduction. *J. Anim. Sci.* 41:387-399.
- WHFF. 2005. "World Holstein-Friesian Federation". International type evaluation of dairy cattle. <http://www.whff.info/archives/archives.php> (Consultado el 25 de mayo del 2016).
- Younas, M., J.W. Fuquay, A.E. Smith, and A.B. Moore. 1993. Estrous and endocrine responses of lactating Holsteins to forced ventilation during summer. *J. Dairy Sci.* 76:430-436.
- Zárate, M.J. 1999. Manejo reproductivo del ganado bovino de doble proposito. Dia del ganadero. Campo Experimental la posta, INIFAP. Veracruz, Ver. Memoria. Tec. 5: 41-53.
- Zamora, A., J. Plaza, y A. Lara. 2000. Nota acerca de un sistema de alimentación y manejo de novillas lecheras. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 34:119-123.

Zhang, W.C., J.C.M. Dekkers, G. Banos, and E.B. Burnside. 1994. Adjustment factors and genetic evaluation for somatic cell score and relationships with other Traits of Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.* 77:659-665.