



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

## DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

### POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

#### PARÁMETROS DE ORDEÑO MECÁNICO, LONGITUD Y DIÁMETRO DEL PEZÓN DE VACAS JERSEY, HOLSTEIN Y SUS CRUZAS EN PASTOREO

#### TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

Presenta:

**JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ PAEZ**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión de: **JOSÉ GUADALUPE GARCÍA MUNÍZ, Ph.D**



Diciembre 2015

Chapingo, estado de México

**“PARÁMETROS DE ORDEÑO MECÁNICO, LONGITUD Y DIÁMETRO DEL  
PEZÓN DE VACAS JERSEY, HOLSTEIN Y SUS CRUZAS EN PASTOREO”**

Tesis realizada por **JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ PAEZ**, bajo la dirección del  
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito  
parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Director:**



Ph. D. J. Guadalupe García Muñiz

**Asesor:**



M. C. Noel Chávez Aguilera

**Asesor:**



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

## CONTENIDO

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE CUADROS .....                                                                                                  | v  |
| LISTA DE FIGURAS .....                                                                                                  | vi |
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....                                                                                           | 1  |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                                                                         | 3  |
| 2.1 Situación actual de la producción de leche en México .....                                                          | 3  |
| 2.2 Fisiología del ordeño mecánico .....                                                                                | 4  |
| 2.3 Factores de variación en la producción de leche .....                                                               | 5  |
| 2.3.1 Raza de la vaca.....                                                                                              | 5  |
| 2.3.2 Etapa de lactancia.....                                                                                           | 6  |
| 2.3.3 Tiempo de ordeño .....                                                                                            | 7  |
| 2.3.4 Frecuencia de ordeño .....                                                                                        | 7  |
| 2.3.5 Tamaño de la ubre .....                                                                                           | 8  |
| 2.3.6 Sistema de ordeño .....                                                                                           | 10 |
| 2.4 Literatura citada .....                                                                                             | 12 |
| 3. PARÁMETROS DE ORDEÑO MECÁNICO, LONGITUD Y DIÁMETRO DEL<br>PEZÓN DE VACAS JERSEY, HOLSTEIN Y SUS CRUZAS EN PASTOREO . | 16 |
| 3.1 RESUMEN.....                                                                                                        | 16 |
| 3.2 ABSTRACT.....                                                                                                       | 18 |
| 3.3 INTRODUCCIÓN .....                                                                                                  | 19 |
| 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                           | 21 |
| 3.4.1 Localización del experimento .....                                                                                | 21 |
| 3.4.2 Equipo de ordeño .....                                                                                            | 21 |
| 3.4.3 Muestreos .....                                                                                                   | 21 |
| 3.4.4 Variables medidas y generadas .....                                                                               | 21 |
| 3.4.5 Análisis estadístico.....                                                                                         | 22 |

|       |                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5   | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                   | 25 |
| 3.5.1 | Estadísticos descriptivos para variables de ordeño y de tamaño de la ubre..... | 25 |
| 3.5.2 | Modelos de regresión aleatoria para variables de ordeño.....                   | 26 |
| 3.5.3 | Modelos de análisis de varianza para largo y diámetro del pezón                | 33 |
| 3.6   | CONCLUSIONES .....                                                             | 35 |
| 3.7   | AGRADECIMIENTOS.....                                                           | 35 |
| 3.8   | LITERATURA CITADA .....                                                        | 36 |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Producción de leche ( $\text{kg d}^{-1}$ ) de vacas Holstein y sus cruzas de acuerdo a los días en leche (DEL) y la frecuencia de ordeño diario. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 6  |
| Cuadro 2. Promedios de parámetros de ordeño para vacas Holstein y Suecas en primera lactancia y segunda o tercera lactancia. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 7  |
| Cuadro 3. Dimensiones de las ubres de vacas Holstein y sus cruzas con Pardo Suizo <sup>1</sup> . ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 10 |
| Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de variables medidas y generadas en el estudio .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 25 |
| Cuadro 5. Prueba de significancia para los efectos fijos del genotipo de la vaca y covariables significativas, especificados en los modelos de regresión aleatoria de mejor ajuste para tiempo de ordeño, flujo de leche y producción de leche en el ordeño vespertino de vacas Holstein, Jersey y sus cruzas manejadas en pastoreo en Chapingo, estado de México.....                                                                         | 31 |
| Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$ EE) para el efecto fijo de genotipo de la vaca y coeficientes de regresión para producción de leche y días en leche en el día de muestreo después del ajuste de modelos de regresión aleatoria para tiempo de ordeño, flujo de leche y producción de leche en el ordeño vespertino de vacas Holstein, Jersey y sus cruzas manejadas en pastoreo en Chapingo, estado de México <sup>1</sup> ..... | 32 |
| Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$ EE) para el efecto fijo de genotipo de la vaca y cuarto de la ubre para el largo y diámetro del pezón de vacas Jersey, Holstein y sus cruzas manejadas en pastoreo en Chapingo, estado de México .....                                                                                                                                                                                           | 34 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Principales estados productores de leche en México. ....                                                                                                                                                                                                                                          | 3  |
| Figura 2. Ubre típica de una vaca Holstein x Jersey .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 9  |
| Figura 3. Equipo de ordeño portátil utilizado en el experimento .....                                                                                                                                                                                                                                       | 11 |
| Figura 4. Regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas sólidas) y regresiones aleatorias (líneas quebradas) de vacas individuales (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos de producción de leche en el día de muestreo (panel inferior). ....                       | 27 |
| Figura 5. Regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas sólidas) y regresiones aleatorias (líneas quebradas) de vacas individuales (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos para el tiempo de ordeño en el día de muestreo (panel inferior). ....                     | 28 |
| Figura 6. Regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas sólidas) y regresiones aleatorias (líneas quebradas) de vacas individuales (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos para el flujo de leche en el ordeño vespertino del día de muestreo (panel inferior) ..... | 29 |

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y a los profesores del Posgrado en Producción Animal por permitirme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Maestría en Ciencias.

A Ph. D. J. Guadalupe García Muñiz por sus valiosas enseñanzas en la dirección de este proyecto, sus consejos y sobre todo por la confianza puesta en mí en tan poco tiempo.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por su valioso apoyo para la elaboración del presente trabajo y por sus invaluable consejos.

Al. M.C. Noel Chávez Aguilera por sus aportes a la investigación realizada y por su confianza.

A los trabajadores del Módulo de Producción de Leche Orgánica, de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se realizó el muestreo. Muy en especial a la Ingeniero Sonia Contreras Piña.

A mi esposa, M.C. Nancy Santiago, por su estar siempre presente en todos los momentos y por su apoyo para la realización de la fase de campo de la investigación.

## DEDICATORIAS

A Dios por darme la dicha de vivir y a mis Padres, Carmen Paez y Dimas Jiménez †, por sus sabios consejos, su confianza y su apoyo que siempre me han brindado.

A mi esposa, Nancy Santiago, por sus consejos, paciencia y sobre todo por su amor, pieza fundamental en esta etapa de mi vida.

A mis hijos, Abraham Josué y María José, por su amor y comprensión, sus sonrisas son mi motivación y fuente de inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos (Max y Marco), mi cuñada (Ale) y sobrinas (Alexa, Ximena y Frida), por su apoyo y cariño que a diario me demuestran.

A mi abuelita, Librada Buendía, que aunque ya no estés en este mundo, sé que cuento con tu apoyo y cariño, gracias por los consejos que siempre tuviste a bien darme, ahora son fundamentales en mi preparación profesional y personal.

A la familia Peralta González por su valioso apoyo y consejos.

A mis amigos que siempre están ahí en los momentos difíciles.

A mis compañeros del PPA, en especial a Itzel, Paco, Emmanuel, José Luis, Saavedra, Sonia y Luisa, por su amistad y cariño.

A la Dra. Citlalli C. y a Blanquita por su apoyo incondicional y su amistad fraterna.

SINCERAMENTE

ORLANDO JIMÉNEZ

## DATOS BIOGRÁFICOS



### Datos generales

Nombre: José Orlando Jiménez Paez

Fecha de nacimiento: 13 de junio de 1991

Lugar de nacimiento: Chimalhuacán, Estado de México

CURP: JIPO910613HMCMZR09

Profesión: Ingeniero Mecánico Agrícola

Cédula profesional: 08764282

### Desarrollo académico

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Licenciatura: Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Maestría: Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera. Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo.

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de leche de bovino representa el 83% de la producción mundial láctea de todas las especies. En México, el valor de la producción de leche representa aproximadamente una cuarta parte del valor total de la producción ganadera (FIRA, 2001; Espinoza *et al.*, 2005; SIAP-SAGARPA, 2009).

En México la producción de leche se lleva a cabo fundamentalmente en tres sistemas de producción: intensivo, lechería familiar y doble propósito en las regiones tropicales (Valdovinos *et al.*, 2015). El sistema intensivo utiliza razas especializadas como la Holstein, raciones mezcladas completas, hatos en confinamiento total y la mayoría de sus productores están horizontal y verticalmente integrados a través de las principales empresas productoras de leche en México como Alpura y Lala. El sistema de lechería familiar utiliza animales especializados de la raza Holstein y cruza de ésta con animales criollos, cuya alimentación es con base en esquilmos agrícolas y concentrados. El sistema de doble propósito utiliza animales producto de la cruce entre razas cebuínas y europeas como Holstein y Pardo Suizo, así como el pastoreo de diversas especies forrajeras tropicales. En este sistema se generan leche y un becerro destetado de aproximadamente 180 a 200 kg de peso a los 7 a 9 meses de edad.

Una de las principales características que cambia dentro de estos sistemas de producción es la forma de alimentar al ganado, que va desde el pastoreo libre hasta una ración mezclada completa ofrecida en confinamiento; sin embargo, otros factores como la raza de la vaca influyen grandemente en la producción y composición de la leche.

Existen diferentes factores que influyen sobre la cantidad de leche producida por animal por día, como la raza, sistema de alimentación, número de lactancia, día de lactancia, entre otros (Blake, 1978; Prendiville *et al.*, 2010; Løvendahl y Chagunda, 2011; Carlström *et al.*, 2013).

En la investigación que aquí se reporta se realizó una comparación de parámetros de ordeño mecánico y las dimensiones de los pezones de vacas Holstein, Jersey y sus cruzas manejadas en un sistema de pastoreo rotacional de praderas de alfalfa y pastos templados como ballico perenne (*Lolium perenne*) y ovillo (*Dactylis glomerata*). El objetivo del estudio fue comparar las dimensiones de los pezones y los parámetros de ordeño de los genotipos evaluados para identificar el genotipo con mejores parámetros de ordeño mecánico cuando se utiliza un equipo portátil en un sistema de producción de leche en pastoreo.

En el segundo capítulo se presenta revisión de literatura en donde se resume la información general a cerca de los factores que influyen sobre la producción de leche de bovinos lecheros.

En el tercer capítulo se presenta el artículo científico con las especificaciones para ser enviado a la revista Agrociencia. En donde se tuvo como objetivo comparar parámetros de ordeño mecánico, longitud y diámetro de pezones de vacas Jersey, Holstein y sus cruzas manejadas en pastoreo y ordeñadas con un equipo portátil de ordeño mecánico, en donde se encontró que la combinación de mayor longitud y menor diámetro de pezones para cruzas se tradujo en un flujo más rápido de leche y un menor tiempo de ordeño.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Situación actual de la producción de leche en México

La producción de leche en México para el año 2014 fue de 11, 129,152 toneladas, siendo Jalisco el estado principal en producción con 2,085,859, seguido de Coahuila y Durango (Figura 1).



Figura 1. Principales estados productores de leche en México.  
Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2015.

Espinoza *et al.* (2005) y Valdovinos *et al.* (2015) reportan que la producción de leche en México se lleva a cabo en tres sistemas de producción principalmente: extensivo, intensivo y familiar o de traspatio. Cada uno de estos sistemas tienen características diferentes que van desde el sistema de alimentación del ganado, el manejo genético y reproductivo y el tamaño del hato, así como el grado de integración al mercado que presentan los distintos tipos de productores.

De acuerdo con Financiera Rural (2009), las principales razas utilizadas en México para producción de leche son: Holstein y Jersey, aunque existen otras que son utilizadas en menor proporción como: Suizo Americano y Ayrshire. Cada raza se distingue por sus características de producción de leche y adaptación a las condiciones climáticas de la región donde se explote.

La producción de leche de vaca es un aspecto relevante para los productores, debido a que influye en el aspecto económico del rancho directamente, tomando en cuenta la composición de la misma, debido a que de ello depende el precio de compra (Lindmark-Månsson *et al.*, 2003).

Thompson *et al.* (2009) y Wattix (2011), reportan que la leche es un fluido que contiene diversos tipos de moléculas, que se puede definir como el producto de la secreción de la glándula mamaria. Sin embargo, la definición de leche puede diferir una de otra dependiendo del uso final: dietético, química, física, biológica, etcétera (Hershberger, 2012).

## **2.2 Fisiología del ordeño mecánico**

Se entiende como aptitud al ordeño mecánico de un animal a la capacidad para liberar la mayor parte la leche contenida en la ubre ante el estímulo de un equipo de ordeño, en el menor tiempo posible y con el mínimo de intervenciones manuales por parte del ordeñador (Smith, 1975; Fernández, 1983; Holmes y Wilson, 1989).

De acuerdo con Rovai (2001) los factores que influyen sobre la aptitud al ordeño mecánico se pueden clasificar en dos grupos:

- Los relacionados con la morfología de la ubre, tanto externas como internas.
- Los relacionados con aspectos temperamentales del animal y su interacción con el ordeñador.

Los efectos de los mecanismos fisiológicos de los animales deben de combinarse con los efectos generados por la máquina. Como resultado de esta interacción, la leche puede llegar hasta los pezones y ser colectada (Holmes y Wilson, 1989).

El proceso de eyección de leche se refiere a lo que comúnmente conocemos como “bajada de leche”, en el cuál intervienen diferentes hormonas. Para poder obtener la leche retenida en el sistema secretor es necesaria la estimulación del animal, está se tiene que asemejar la acción realizada por el becerro o por la mano humana.

Lesser *et al.* (1999) enlista algunas de las consecuencias que pueden ocurrir si no existe el estímulo necesario al momento de ordeñar:

- a) Menos colección de leche de la producida.
- b) Menor porcentaje de grasa.
- c) Tiempo de ordeño prolongado.
- d) Menor duración de la lactancia.

### **2.3 Factores de variación en la producción de leche**

La leche que puede llegar a producir un bovino está determinada por la magnitud y el tiempo que pueda mantenerse el potencial productivo a los pocos días después del parto. Ambos parámetros se ven influenciados por un gran número de factores: los que dependen del animal directamente y los del medio ambiente o prácticas de manejo (Blake, 1978).

En diversos estudios se reporta que dentro de los factores que influyen en la producción y composición de la leche se encuentran: la raza de la vaca, etapa de la lactancia, nutrición, el sistema y nivel de alimentación, los cambios estacionales, la frecuencia de ordeño y el sistema de ordeño (Blake, 1978; Huppertz y Kelly, 2009; Prendiville *et al.*, 2010; Løvendahl y Chagunda, 2011; Carlström *et al.*, 2013).

Un factor que afecta la producción de leche es la adaptación que el animal tenga al equipo de ordeño. De acuerdo con Ortiz (2012) la máquina ordeñadora realiza una aspiración alternada entre periodos de depresión con periodos de descanso, simulando la acción de amamantamiento del becerro. Por esta razón, es recomendable que los animales se acostumbren con anterioridad a la rutina que se someten los animales que entran diariamente a la sala de ordeño.

#### **2.3.1 Raza de la vaca**

La habilidad de un bovino para producir leche, es una característica heredable que presenta variación entre la raza y sus cruas. En general, la disminución o aumento de la producción de leche de acuerdo con la raza de la vaca varía en el

siguiente orden: Holstein, Pardo Suizo, Ayrshire, Guernsey y Jersey (Tyler y Ensminger, 2006).

Prendiville *et al.* (2010) reportaron que para vacas Holstein-Frisian comparadas con vacas Jersey, se encontró diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) para las vacas HF en donde su producción promedio fue de  $18 \text{ kg d}^{-1}$ ; mientras que para Jersey fue de  $14.2 \text{ kg d}^{-1}$ . La producción de leche promedio reportada por Løvendahl y Chagunda (2011), para vacas Holstein fue de  $10.88 \pm 4.41 \text{ kg ordeño}^{-1}$  y para Jersey fue de  $6.45 \pm 2.63 \text{ kg ordeño}^{-1}$ .

### 2.3.2 Etapa de lactancia

Conforme avanza la etapa de lactancia se observan cambios en la morfología y fisiología de la glándula mamaria, en donde el número de células secretoras y su capacidad productiva son afectadas por la etapa de lactancia, lo cuál se refleja en la producción diaria de leche (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005).

Murney *et al.* (2015) reportan que no hay diferencia significativa entre los primeros días de la lactancia para vacas Holstein y sus cruizas con Jersey en cuanto a producción de leche para uno o cuatro ordeños por día; sin embargo, se encontró diferencia significativa para los tratamientos en los días cinco al 19 y post-tratamiento dentro de los 55 a los 200 días después de comenzada la lactancia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de leche ( $\text{kg d}^{-1}$ ) de vacas Holstein y sus cruizas de acuerdo a los días en leche (DEL) y la frecuencia de ordeño diario.

| DEL    | 4 ordeños | 1 ordeño | E.E. | P        |
|--------|-----------|----------|------|----------|
| 3-4    | 8.5       | 8.4      | 0.3  | NS       |
| 5-9    | 13.8      | 7.7      | 0.2  | $<0.001$ |
| 55-200 | 10        | 8.9      | 0.2  | $<0.001$ |

Fuente: Adaptado de Murney *et al.* (2015).

Por otro lado, Løvendahl y Chagunda (2011) reportan que conforme avanza la lactancia se pueden encontrar diferencias en algunas variables, por ejemplo, reportan que después de los 50 días en leche, el contenido de grasa

correlacionado con otras variables se estabilizó, cuando días antes eran débiles las correlaciones.

### 2.3.3 Tiempo de ordeño

El tiempo de ordeño más que un factor que intervenga directamente con la producción de leche, es una práctica que se debe controlar para una buena rutina de ordeño (Kruze, 1998).

Carlström *et al.* (2013) reportaron para vacas Holstein de primera lactancia un promedio para tiempo de ordeño de  $4.58 \pm 1.61$  minutos, mientras que para vacas con dos o tres lactancias el tiempo de ordeño se alargó ligeramente y fue de  $4.97 \pm 1.82$  minutos, con una producción de  $12.10 \pm 3.19$  y  $14.92 \pm 4.48$  kg vaca<sup>-1</sup> respectivamente. Lo cual, en promedio, generó un flujo de leche de 2.64 kg minuto<sup>-1</sup> (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedios de parámetros de ordeño para vacas Holstein y Suecas en primera lactancia y segunda o tercera lactancia.

| Variable                 | Lactancia 1 |       | Lactancia 2 ó 3 |       |
|--------------------------|-------------|-------|-----------------|-------|
|                          | Holstein    | Sueca | Holstein        | Sueca |
| Producción de leche (kg) | 12.10       | 10.98 | 14.92           | 12.69 |
| Tiempo de ordeño (min)   | 4.58        | 4.83  | 4.97            | 5.19  |
| Flujo de leche (kg/min)  | 3.65        | 3.12  | 4.14            | 3.35  |

Fuente: Adaptado de Carlström *et al.* (2013).

### 2.3.4 Frecuencia de ordeño

La frecuencia de ordeño de las vacas es un factor que tiende a incrementar la producción diaria de leche desde un 10 hasta un 15 %. Sin embargo, Murney *et al.* (2015) reportaron para vacas Holstein y sus cruza con Jersey que no hay diferencia en producción diaria de leche si se ordeña una o cuatro veces al día (Cuadro 1).

### **2.3.5 Tamaño de la ubre**

La morfología mamaria es de gran importancia para la selección de cualquier especie lechera. Ubres bien conformadas facilitarán grandemente la cosecha de la leche durante el ordeño.

La secreción de leche se describe habitualmente como la actividad de una fábrica celular (el lactocito) que se transforma en producto (la leche). El proceso se controla integralmente por sistemas hormonales autócrinos y neuro-endócrinos. El desarrollo de la glándula mamaria se origina durante la gestación y el inicio de la lactación, involucionando muy rápidamente después del secado (Smith, 1975; Lesser *et al.*, 1979; Rovai, 2001; Caja *et al.*, 2002). El aspecto externo de la glándula mamaria puede variar dependiendo de la especie y se puede llegar a modificar conforme la edad o raza del animal.

La ubre está formada por dos tipos de tejidos, el secretor, que es el responsable de la formación de la leche, y el conjuntivo, el cuál es el encargado de mantener en buen estado el sistema interno de las glándulas mamarias. La proporción en que se encuentran estos dos tejidos determinan la capacidad lechera del animal.

En el interior, la ubre está dividida en dos partes, izquierda y derecha, divididas por un ligamento suspensorio que representa el soporte principal. Los cuartos están divididos por una ligera marca de tejido (Smith, 1975; Lesser, 1979). La leche producida por la glándula mamaria sale por medio de un orificio al final del pezón, en donde hay un esfínter que permite la abertura o cierre del pezón para que fluya la leche.

En la vaca lechera, la ubre de forma semiesférica, está ubicada en la región inguinal, constando de 4 cuartos provistos de pezón, actuando como unidades independientes. Los cuartos posteriores son más desarrollados y productivos que los anteriores, aportando 60 y 40% del volumen de producción respectivamente (Smith, 1975).



Figura 2. Ubre típica de una vaca Holstein x Jersey utilizada en el experimento (Fuente: Elaboración propia).

El pezón termina en un orificio estrecho cuyo cierre está dirigido por un músculo, el esfínter, que tiene por misión prevenir el paso prematuro de la leche, así como la de impedir la entrada de bacterias u otras impurezas. Por ello es de absoluta importancia que el ordeño se efectúe de manera que se conserve este músculo con su fuerza y flexibilidad. Del mismo modo, se debe evitar toda causa posible de daño, lesión o desgarro en la extremidad del pezón (Smith, 1975).

Los tamaños de las ubres pueden variar dependiendo de la raza que se esté utilizando, por ejemplo, Blöttner *et al.* (2011), reportaron que vacas Holstein tienen en promedio pezones significativamente más largos ( $P < 0.05$ ) que sus cruas con Pardo Suizo, dependiendo si eran de primera o segunda lactancia y de la ubicación de las mismas (Cuadro 2).

Cuadro 3. Dimensiones de las ubres de vacas Holstein y sus cruzas con Pardo Suizo<sup>1</sup>.

| Variable              | Primera lactancia       |                         | Segunda lactancia       |                         |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                       | Holstein                | Pardo Suizo X Holstein  | Holstein                | Pardo Suizo X Holstein  |
|                       | MCM ± EE                | MCM ± EE                | MCM ± EE                | MCM ± EE                |
| Longitud pezones (cm) |                         |                         |                         |                         |
| Delanteros            | 4.8 ± 0.11 <sup>b</sup> | 5.1 ± 0.11 <sup>a</sup> | 4.6 ± 0.12 <sup>b</sup> | 5.0 ± 0.16 <sup>a</sup> |
| Posteriores           | 4.0 ± 0.10 <sup>b</sup> | 4.3 ± 0.09              | 3.7 ± 0.13              | 4.1 ± 0.13              |
| Diámetro pezones (cm) |                         |                         |                         |                         |
| Delanteros            | 2.1 ± 0.04              | 2.2 ± 0.04              | 2.3 ± 0.06              | 2.4 ± 0.06              |
| Posteriores           | 1.1 ± 0.04              | 1.1 ± 0.03              | 2.2 ± 0.05              | 2.3 ± 0.05              |

<sup>1</sup>Dentro de lactancia y variable, medias de cuadrados mínimos (MCM) con diferente literal, son diferentes (P<0.05).

Fuente: Adaptado de Blöttner *et al.* (2011).

### 2.3.6 Sistema de ordeño

Los sistemas de ordeño mecánico tienen el mismo principio de funcionamiento. En todos ellos la leche se colecta por vacío (Lesser *et al.*, 1979; Delgado, 2005; Ortiz, 2012). Los componentes básicos de las máquinas de ordeño incluyen:

- a) Sistema de vacío
- b) Pulsadores
- c) Unidades de ordeño
- d) Tubería de leche
- e) Recibidor (jarra o balde)

Las máquinas de ordeño portátiles, nacen a partir de la necesidad de ordeñar a los animales dentro del mismo potrero, con el fin de evitar el constante desplazamiento de los animales de un lugar a otro. Además de ser prácticas para granjas dónde el número de animales es relativamente pequeño (Lesser *et al.*, 1979), el sistema es de bajo costo, comparado con las grandes máquinas de ordeño (Figura 3).

Estos sistemas se caracterizan por ser compactos, con facilidad de movimiento y maniobrabilidad. El sistema es instalado en un pequeño remolque, donde se

coloca un motor de combustión interna, eléctrico o ambos, además de los elementos básicos de una ordeñadora como son el sistema de vacío, el de recolección de leche, medidor de presión, balde de recolección y pezoneras (Ortíz, 2012).



Figura 3. Equipo de ordeño portátil utilizado en el experimento  
(Fuente: elaboración propia).

Hogeveen *et al.* (2001) y con Gäde *et al.* (2006) reportaron que el flujo medio de leche con un sistema de ordeño automático comercial fue de  $2.5 \text{ kg min}^{-1}$  para vacas Holstein; mientras que Carlström *et al.* (2013) reportan un flujo promedio de  $3 \text{ kg min}^{-1}$  para esta raza de vacas.

Ambord y Bruckmaier (2010) compararon dos sistemas comerciales de ordeño mecánico (DeLaval, Tumba, Suecia) y la producción de leche fue similar para ambos sistemas para vacas Holstein, con una producción promedio de 14.46 kg. Mientras que para flujo de leche en promedio fue de  $2.80 \text{ kg min}^{-1}$  en los dos sistemas.

## 2.4 Literatura citada

- Ambord S. and R. M. Bruckmaier. 2010. Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: Effects on milking characteristics and teat tissue condition. *Journal of Dairy Science* 93:3588-3594.
- Blake W., R., McDaniel B. T., and King R. A. 1978. Labor and milking machine inputs to milk harvest in dairy cattle: Implications for direct selection. *Journal of Dairy Science* 61: 474-488.
- Blöttner, S., B. J. Heins, M. Wensh-Dorendorf, L. B. Hansen and H. H. Swalve. 2011. Short communication: A comparison between purebred Holstein and Brown Swiss × Holstein cows for milk production, somatic cell score, milking speed, and udder measurements in the first 3 lactations. *Journal of Dairy Science* 94: 5212-5216.
- Caja, G.; Such, X.; Rovai, M. 2000. Udder morphology and machine milking ability in dairy sheep. *Proceedings of the 6th Great Lakes Dairy Sheep Symposium*, November 2-4, Guelph, Ontario, Canada.
- Carlström, C., G. Pettersson, K. Johansson, E. Strandberg, H. Stålhammar, and J. Philipsson 2013. Feasibility of using automatic milking system data from commercial herds for genetic analysis of milking ability. *Journal of Dairy Science* 96: 5324-5332.
- Delgado, A. 2005. Funcionamiento y evaluación de máquinas de ordeño y su repercusión en la mastitis Bovina. *Sitio Argentino de Producción Animal*. 9 p. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_bovina\\_de\\_leche/instalaciones\\_tambo/57-maquinas\\_mastitis.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/instalaciones_tambo/57-maquinas_mastitis.pdf)
- Espinoza-Ortega A., Álvarez-Macías A., Del Valle M. C., y Chauvete M. 2005. La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Revista Técnica Pecuaria en México* 34(1): 39-56.

- Fernández, N, Arranz, J., Caja, G., Torres, A., y Gallego, L. 1983. Aptitud al ordeño mecánico de ovejas de raza Manchega: I. Biometría corporal, características morfológicas de la ubre y cría de corderos. In: 3rd International Symposium on Machine Milking of Small Ruminants. Sever-Cuesta, Valladolid, Spain. pp. 653-666.
- Financiera Rural. 2009. Bovino y sus derivados. Disponible en línea en: <http://www.gbcbiotech.com/bovinos/industria/Bovino%20y%20sus%20derivados%20Financiera%20Rural%202012.pdf>. Consultada el 1 de noviembre de 2015.
- FIRA, 2001. Boletín informativo No. 317 Vol. XXXIII. 2001. Tendencias y Oportunidades de Desarrollo de la Red Leche en México. México. 137 p.
- Gäde, S., E. Stamer, W. Junge, and E. Kalm. 2006. Estimates of genetic parameters for milkability from automatic milking. *Livestock Science* 104:135–146.
- Hershberger D. A., U. 2012. Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o estabulación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 72 p.
- Hogeveen, H., W. Ouweltjes, C. J. A. M. de Koning, and K. Stelwagen. 2001. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livestock Production Science* 72: 157–167.
- Holmes, C. W. y Wilson, G. F. 1989. Producción de leche en praderas. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. pp: 79-95.
- Huppertz T. and A. L. Kelly. Properties and constituents on cow's milk. 2009. In: *Milk Processing and Quality Management*. Tamime, A. Y. (ed.). Blackwell. Oxford Reino Unido. pp: 23- 47.
- Kruze, J. 1998. La rutina de ordeño y su rol en los programas de control de mastitis bovina. *Archivos de Medicina Veterinaria Med. Vet.* 30(2): 7-16.

- Lesser, A. R., Rodriguez O., M., y Cabona, O. J. 1979. Instalaciones y equipo de ordeño. 1° edición. Editorial Hemisferio Sur. Argentina. 318 p.
- Lindmark-Månsson, H., R. Fondén y H. E. Pettersson. 2003. Composition of Swedish dairy milk. *International Dairy Journal* 13: 409–425.
- Løvendahl, R. and M. G. G. Chagunda. 2011. Covariance among milking frequency, milk yield, and milk composition from automatically milked cows. *Journal of Dairy Science* 94: 5381-5392.
- Murney R., Stelwagen K., Wheeler T. T., Margerison J. K., and Singh K. 2015. The effects of milking frequency in early lactation on milk yield, mammary cell turnover, and secretory activity in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98: 305-311.
- Ortíz-Cañavate, J. 2012. Las máquinas agrícolas y su aplicación. 7° edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. pp: 441-457.
- Prendiville, R., M. Pierce, and F. Buckley. 2010. A comparison between Holstein-Friesian and Jersey dairy cows and their F1 cross with regard to milk yield, somatic cell score, mastitis, and milking characteristics under grazing conditions. *Journal of Dairy Science* 93: 2741-2750.
- Rovai, M. 2001. Caracteres mamarios que afectan a la aptitud al ordeño mecánico de ovejas de raza Manchega y Lacaune. Ph. D. Thesis. Universidad Autónoma de Barcelona.
- SIAP-SAGARPA. 2009. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Boletín de Leche. México.
- Smith V., R. 1975. Physiology of lactation. 5° edición. Ames. Iowa, E.U. A. pp.?
- Svennersten-Sjaunja K., and K. Olsson. 2005. Endocrinology of milk production. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 241-258.

- Thompson, A., M. Boland and H. Singh. 2009. Milk Proteins from Expression to Food. 1a (ed.). Elsevier. USA. 535 p.
- Tyler, H. D., and M. E. Ensminger. 2006. Dairy Cattle Science. 4a. (ed.). Pearson Prentice Hall. Ohio E.U. pp: 215-217.
- Valdovinos T., M. E., Espinoza G., J. A., y Velez I., A. 2015. Innovación y eficiencia de unidades bovinas de doble propósito en Veracruz. Revista Mexicana de Agronegocios 36:1306-1314.
- Wattiaux, M. A. 2011. Composición de la leche y valor nutricional. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin-Madison. USA. pp. 73-76.

### **3. PARÁMETROS DE ORDEÑO MECÁNICO, LONGITUD Y DIÁMETRO DEL PEZÓN DE VACAS JERSEY, HOLSTEIN Y SUS CRUZAS EN PASTOREO**

José Orlando Jiménez Paez<sup>1</sup>, José Guadalupe García Muñiz<sup>1</sup>, Noel Chávez Aguilera<sup>2</sup>,  
Maximino Huerta Bravo<sup>1</sup>

#### **3.1 RESUMEN**

El objetivo fue comparar parámetros de ordeño mecánico, longitud y diámetro del pezón de vacas Jersey, Holstein y sus cruzas manejadas en pastoreo y ordeñadas con un equipo portátil de ordeño. Veintiún vacas de 1 a 9 partos fueron ordeñadas con un equipo portátil para medir tiempo de ordeño, flujo y producción de leche en el ordeño vespertino, durante cuatro ocasiones en un periodo de cuatro semanas. El largo y diámetro del pezón de cada vaca se midió en una ocasión utilizando un vernier. Se modelaron las trayectorias de las variables de ordeño mecánico ajustando modelos de regresión aleatoria, y la longitud y diámetro del pezón con análisis de varianza. El genotipo de la vaca no afectó la producción de leche en el ordeño vespertino. Sin embargo, el flujo de leche ( $\text{litros minuto}^{-1}$ ) fue más alto ( $P < 0.05$ ) y el tiempo de ordeño (minutos) fue más corto ( $P < 0.05$ ) para las cruzas (flujo,  $0.861 \pm 0.06$ ; tiempo,  $5.97 \pm 0.55$ ) que para Jersey (flujo,  $0.605 \pm 0.06$ ; tiempo,  $8.38 \pm 0.55$ ) o Holstein (flujo,  $0.591 \pm 0.08$ ; tiempo,  $8.14 \pm 0.60$ ). Pezones más largos (cm;  $P < 0.01$ ) se encontraron para cruzas ( $4.55 \pm 0.15$ ) y Holstein ( $4.62 \pm 0.19$ ) que para Jersey ( $3.86 \pm 0.13$ ). A través de genotipos, los pezones anteriores (derecho,  $4.69 \pm 0.18$ ; izquierdo,  $4.73 \pm 0.18$ ) fueron más largos (cm;  $P < 0.01$ ) que los pezones posteriores (derecho,  $4.02 \pm 0.18$ ; izquierdo,  $3.96 \pm 0.18$ ). Pezones más gruesos (cm;  $P < 0.01$ ) se encontraron para Holstein ( $2.26 \pm 0.04$ ) que para cruzas ( $2.07 \pm 0.04$ ) y Jersey ( $2.04 \pm$

0.03). La combinación de mayor longitud y menor diámetro de pezones para vacas cruzadas se tradujo en un flujo más rápido de leche y un menor tiempo de ordeño.

**Palabras clave:** Tiempo de ordeño; Flujo de leche; Producción de leche en pastoreo, Sistema de ordeño portátil.

---

<sup>1</sup>Posgrado en Producción Animal. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5. Carretera México-Texcoco, Estado de México.

## **MILKING PARAMETERS, LENGTH AND DIAMETER OF TEATS OF JERSEY, HOLSTEIN AND CROSSBRED GRAZING DAIRY COWS**

### **3.2 ABSTRACT**

The objective was to compare milking parameters, teat length and teat diameter of Jersey, Holstein and crossbred grazing dairy cows. Cows ( $n = 21$ ) of 1 to 9 calvings were milked with a portable milking equipment and milking time, milk flow and milk yield in the evening milking were measured. The information was generated with weekly consecutive samplings ( $n = 4$ ). Teat length and teat diameter were measured once using a calliper. The trajectories of milking variables were modeled by fitting random regression models, and analysis of variance was used to model teat length and teat diameter. Cow genotype did not affect cow milk yield in the evening milking. However, cow milk flow ( $\text{liters min}^{-1}$ ) was higher ( $P < 0.05$ ) and milking time (min) was shorter ( $P < 0.05$ ) for crosses (milk flow,  $0.861 \pm 0.06$ ; milking time,  $5.97 \pm 0.55$ ) than for both Jersey (milk flow,  $0.605 \pm 0.06$ ; milking time,  $8.38 \pm 0.55$ ) and Holstein (milk flow,  $0.591 \pm 0.08$ ; milking time,  $8.14 \pm 0.60$ ) cows. Longer teats ( $P < 0.01$ ) were found for crossbred ( $4.55 \pm 0.15$ ) and Holstein ( $4.62 \pm 0.19$ ) than for Jersey ( $3.86 \pm 0.13$ ) cows. Across genotypes, the front teats (right,  $4.69 \pm 0.18$ ; left,  $4.73 \pm 0.18$ ) were longer ( $P < 0.01$ ) than the rear teats (right,  $4.02 \pm 0.18$ ; left,  $3.96 \pm 0.18$ ). Thicker nipples ( $P < 0.01$ ) were found for Holstein ( $2.26 \pm 0.04$ ) than for crossbred ( $2.07 \pm 0.04$ ) and Jersey ( $2.04 \pm 0.03$ ) cows. The combination of both greater length and smaller teat diameter resulted in a faster milk flow and shorter milking time for crossbred cows.

**Key words:** Milking time, flow of milk, Milk production from pasture, Portable milking system.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

La producción de leche en el mundo se practica en una diversidad de sistemas de producción desde los sistemas extensivos en pastoreo hasta los intensivos en confinamiento total (FAO, 2015). En México la producción de leche se lleva a cabo, principalmente en tres sistemas: intensivo, lechería familiar y de doble propósito (Espinoza *et al.*, 2005; Valdovinos *et al.*, 2015). Los cuales varían en diferentes aspectos, como son el sistema de ordeño, el tipo de alimentación, entre otros.

La productividad de un bovino lechero varía dependiendo de muchos factores. Diferentes estudios concluyen que el incremento o decremento de la calidad (Smith *et al.*, 2002; McNamara *et al.*, 2008; Løvendahl y Chagunda, 2011), producción de leche y aptitud al ordeño mecánico, varían de acuerdo con la frecuencia y tiempo de ordeño, así como con la etapa de lactancia en la que se encuentran los animales. Además, Veisseyre (1988) menciona que un factor de relevancia que afecta el rendimiento anual de leche es la diferencias entre razas, pudiendo aumentar o disminuir el doble o triple de litros por vaca por día.

Ambord y Bruckmaier (2010) reportaron que uno de los factores que influyen sobre la variación en el tiempo de ordeño se debe a diferencias genéticas entre los animales; sin embargo, de acuerdo con algunos autores estas diferencias se encuentran escasamente reportadas (Gäde *et al.*, 2006; Nixon *et al.*, 2009; André *et al.*, 2010).

El análisis de parámetros de ordeño mecánico y su relación con las dimensiones de los pezones de vacas lecheras (Holstein, Jersey y sus Cruzas) sobre la producción de leche, permitirá observar cuál de estos genotipos es el que genera un mejor

comportamiento con un sistema de ordeño portátil, en un sistema de producción de leche en pastoreo.

En consideración a lo expuesto, el objetivo de la presente investigación fue comparar parámetros de ordeño mecánico, longitud y diámetro de pezones de vacas Jersey, Holstein y sus cruas manejadas en pastoreo con un equipo de ordeño portátil.

### **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.4.1 Localización del experimento**

El estudio se llevó a cabo en el módulo de producción de leche orgánica de la granja experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, la cual se encuentra localizada a 19° 29' N y 98° 53' O, a 2250 msnm. El clima es descrito como Cb (Wo), que corresponde al tipo de templado con lluvias en verano, con temperatura media anual de 15.2 °C, y precipitación media anual de 636.5 mm (García, 2004).

#### **3.4.2 Equipo de ordeño**

Se utilizó un equipo de ordeño portátil de la marca “Walker”, que fue donado por la embajada de Nueva Zelanda en México. El sistema tiene como elementos principales un motor eléctrico de 1 hp, una bomba de vacío de aspas, un pulsador para dos unidades de ordeño, un vacuómetro y un tanque de vacío.

#### **3.4.3 Muestreos**

Los muestreos iniciaron el 23 de septiembre de 2015 y finalizaron el 29 de octubre de 2015. En este periodo cada vaca fue medida al menos cuatro veces en intervalos aproximados de una semana entre muestreos.

#### **3.4.4 Variables medidas y generadas**

Durante el ordeño de la tarde se registró para cada vaca la producción de leche y el tiempo de ordeño. En una ocasión durante el curso del experimento se midieron el largo y el diámetro de los pezones, utilizando un vernier. Para cada vaca se registró la información de identificación, genotipo (Jersey, Holstein o Cruza), fecha de nacimiento, fecha y número de parto, así como la fecha de muestreo de leche. Con esta información

se generaron las variables día del experimento, días en leche (DEL), edad de la vaca al parto y flujo de leche ( $\text{litros minuto}^{-1}$ ) obtenido en cada sesión de ordeño. El día del experimento se calculó como la diferencia entre la fecha de inicio del experimento y la fecha de medición; los DEL se calcularon como la diferencia entre la fecha de medición y la fecha de parto, y el flujo de leche se calculó dividiendo la producción de leche entre el tiempo de ordeño.

### **3.4.5 Análisis estadístico**

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos de la información generada utilizando el procedimiento MEANS de SAS (SAS, 2009).

Se procedió a modelar las trayectorias de tiempo de ordeño, flujo de leche y producción de leche por vaca en el ordeño vespertino utilizando modelos de regresión aleatoria. El día del experimento fue la variable independiente y se utilizó para generar polinomios de grado uno hasta grado tres, como fue descrito por Hanford (2005). Los modelos de regresión aleatoria se ajustaron con el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2009).

Se construyó un modelo de regresión aleatoria que se fue reduciendo con la eliminación de efectos no significativos. En la parte fija del modelo se ajustaron los efectos de genotipo de la vaca, la interacción de los coeficientes fijos de regresión con el genotipo de la vaca, así como el efecto lineal y cuadrático de las covariables edad de la vaca al parto, DEL y producción de leche por vaca en el ordeño vespertino. En la parte aleatoria del modelo, además del término de error, se evaluó el ajuste de los polinomios de grado cero y uno. En este último caso, para obtener las regresiones aleatorias de cada vaca, la identificación única de la vaca se utilizó como el ‘sujeto’ en el análisis de varianza.

En el enunciado ‘model’ del programa, se especificaron las opciones ‘noint’, ‘solution’, ‘outp’, ‘outpm’, ‘residual’ y ‘satterth’ para generar, respectivamente, el ajuste de un modelo sin una media general, las soluciones de los efectos fijos del modelo, los valores predichos para las regresiones aleatorias de cada vaca en cada genotipo, los valores predichos de las regresiones fijas promedio para cada genotipo de la vaca, así como los residuales de las regresiones aleatorias de vacas individuales. Las medias de cuadrados mínimos para el efecto de genotipo de la vaca se compararon utilizando la prueba de Tukey. Los valores predichos y residuales obtenidos con los modelos de mejor ajuste se utilizaron para producir figuras de las trayectorias de las regresiones aleatorias de cada vaca, las regresiones fijas de cada genotipo, así como el despliegue gráfico de valores observados y predichos para el modelo final. Las figuras de alta resolución se generaron utilizando el procedimiento SGPLOT de SAS (SAS, 2009).

El modelo estadístico de la Ecuación 1 se ajustó a los registros de tiempo de ordeño (minutos vaca<sup>-1</sup>) y flujo de leche (litros minuto<sup>-1</sup>). El de la Ecuación 2 se ajustó a los registros de producción de leche (kg vaca<sup>-1</sup> ordeño) en el día del experimento.

$$\begin{aligned}
 Y_{ijk} = & G_i + \sum_{l=1}^r b_l (Edad_{ijk} - \mu_{Edad})^l + \sum_{m=1}^s b_m (DEL_{ijk} - \mu_{DEL})^m \\
 & + \sum_{n=1}^t b_n (PL_{ijk} - \mu_{PL})^n + \sum_{p=1}^u G_i \beta_p (x_{ijk})_i^p + \sum_{q=0}^v \alpha_{qij} (x_{ijk})_{ij}^q \\
 & + e_{ijk}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{ijk} = & G_i + \sum_{l=1}^r b_l (Edad_{ijk} - \mu_{Edad})^l + \sum_{m=1}^s b_m (DEL_{ijk} - \mu_{DEL})^m + \sum_{p=1}^u G_i \beta_p (x_{ijk})_i^p \\
 & + \sum_{q=0}^v \alpha_{qij} (x_{ijk})_{ij}^q + e_{ijk}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  es la observación  $k$  de tiempo de ordeño (minutos vaca<sup>-1</sup>), flujo de leche (litros minuto<sup>-1</sup>) o producción de leche (kg vaca<sup>-1</sup> ordeño) de la vaca  $j$ , perteneciente al genotipo  $i$ .  $G_i$  es el efecto fijo del  $i$ -ésimo genotipo de la vaca ( $i$  = Cruza, Holstein, Jersey). Los términos  $b_l, b_m, b_n$  corresponden a los coeficientes de regresión (de orden  $l, m$ , o  $n$ ) de las covariables edad de la vaca al parto, DEL y producción de leche por vaca en el ordeño vespertino, respectivamente. Los términos  $\beta_p$  corresponden a los coeficientes de la regresión fija ( $\beta_1$  = efecto lineal,  $\beta_2$  = efecto cuadrático,...) de tiempo de ordeño (minutos vaca<sup>-1</sup>), flujo de leche (litros minuto<sup>-1</sup>) o producción de leche (kg vaca<sup>-1</sup> ordeño) de la vaca sobre los polinomios construidos con el día del experimento ( $x_{ijk}$ ). Los términos  $(x_{ijk})_i^p$  y  $(x_{ijk})_{ij}^q$  son los polinomios ordinarios de grado  $p$  o  $q$  generados con la  $i$ -ésima o la  $ij$ -ésima observación del día del experimento ( $x_{ijk}$ ). Los elementos  $\alpha_{qij}$  corresponden a los coeficientes de la regresión aleatoria ( $\alpha_{0ij}$  = intercepto,  $\alpha_{1ij}$  = efecto lineal,...) de tiempo de ordeño (minutos vaca<sup>-1</sup>), flujo de leche (litros minuto<sup>-1</sup>) o producción de leche (kg vaca<sup>-1</sup> ordeño) sobre los polinomios construidos con el día del experimento ( $x_{ijk}$ ) para la  $j$ -ésima vaca del  $i$ -ésimo genotipo. Finalmente, el término  $e_{ijk}$  es el error aleatorio asociado con la observación  $y_{ijk}$ .

El modelo estadístico de la Ecuación 3 se ajustó a los registros de longitud y diámetro de los pezones, utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2009).

$$Y_{ijkl} = \mu + Genotipo_i + Cuarto_j + Vaca(Genotipo)_{ik} + e_{ijkl} \quad [3]$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  es la observación  $l$  de longitud o diámetro del pezón del cuarto  $j$ , de la vaca  $k$  anidada en el genotipo  $i$ ;  $Genotipo_i$  es el efecto fijo del  $i$ -ésimo genotipo de la vaca ( $i$  = Cruza,

Holstein, Jersey); *Cuarto<sub>j</sub>* es el efecto fijo del *j*-ésimo cuarto de la ubre (*j* = anterior derecho, anterior izquierdo, posterior derecho, posterior izquierdo); *Vaca(Genotipo)<sub>ik</sub>* es el efecto aleatorio de vaca anidada en genotipo  $\sim \text{NIID}(0, \sigma_{Vaca:Genotipo}^2)$ ; *e<sub>ijkl</sub>* es el error aleatorio  $\sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$ .

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.5.1 Estadísticos descriptivos para variables de ordeño y de tamaño de la ubre

Los estadísticos descriptivos para las variables registradas y generadas en el estudio se presentan en el Cuadro 4. En total, 21 vacas de parto uno hasta parto nueve generaron poco más de 80 registros para las variables evaluadas. El tamaño del coeficiente de variación mostró que la mayor variabilidad correspondió a los DEL, seguida de la edad de la vaca al parto, con el diámetro del pezón presentando el valor más bajo del CV.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de variables medidas y generadas en el estudio

| Variable                                    | n  | Mínimo | Máximo | Promedio | D.E. <sup>1</sup> | CV (%) <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------|----|--------|--------|----------|-------------------|---------------------|
| Edad de la vaca al parto (años)             | 21 | 2.4    | 13.3   | 5.6      | 3.0               | 53.8                |
| Días en leche                               | 84 | 10.0   | 352.0  | 162.2    | 105.5             | 65.0                |
| Producción de leche<br>(litros/vaca/ordeño) | 84 | 2.2    | 11.0   | 5.0      | 1.8               | 35.3                |
| Tiempo de ordeño (minutos/vaca)             | 80 | 3.0    | 12.0   | 7.0      | 2.2               | 31.2                |
| Flujo de leche (litros/minuto)              | 84 | 0.3    | 1.3    | 0.7      | 0.2               | 32.8                |
| Largo del pezón (cm)                        | 84 | 2.3    | 6.2    | 4.3      | 0.9               | 22.1                |
| Diámetro del pezón (cm)                     | 84 | 1.7    | 2.6    | 2.1      | 0.2               | 9.8                 |

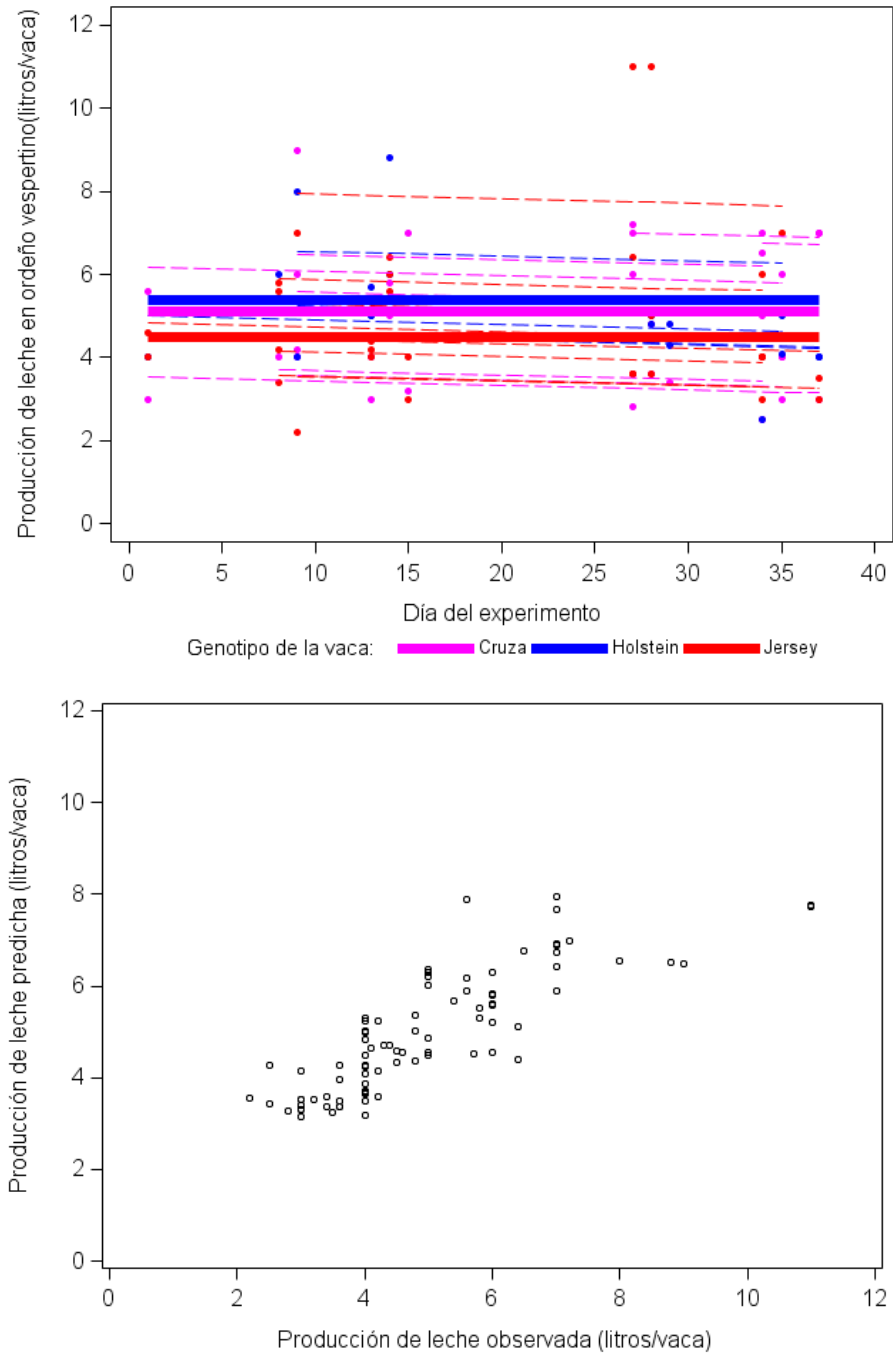
<sup>1</sup>Desviación estándar

<sup>2</sup>Coeficiente de variación

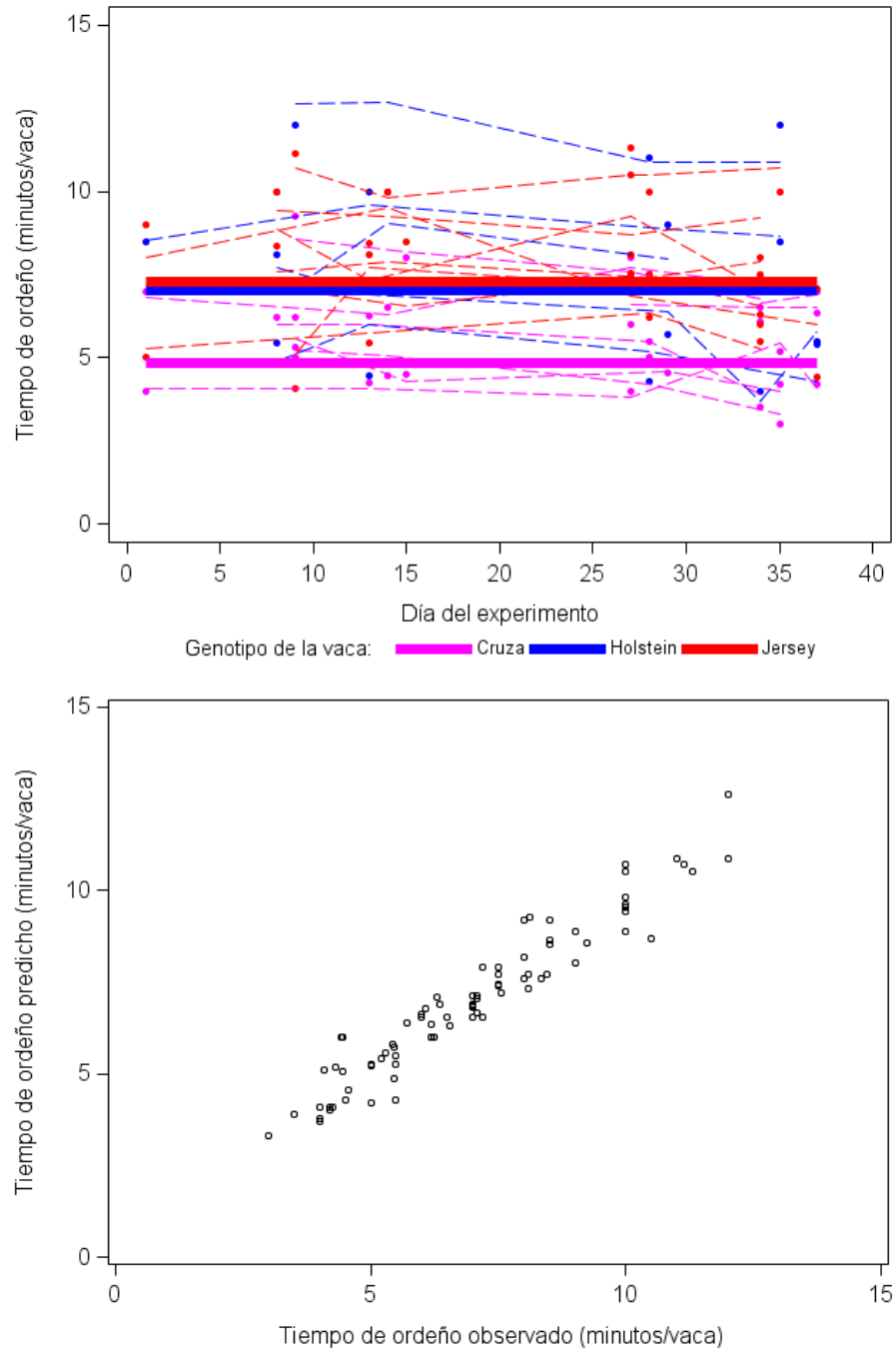
### **3.5.2 Modelos de regresión aleatoria para variables de ordeño**

Para las variables tiempo de ordeño y flujo de leche, el modelo de mejor ajuste fue el mismo y consistió de los efectos fijos del genotipo de la vaca y el efecto lineal y cuadrático de la covariable producción de leche por vaca en el ordeño vespertino en el día de muestreo. Para la producción de leche por vaca en el ordeño vespertino el modelo de mejor ajuste consistió de los efectos fijos del genotipo de la vaca y el efecto lineal de la covariable DEL.

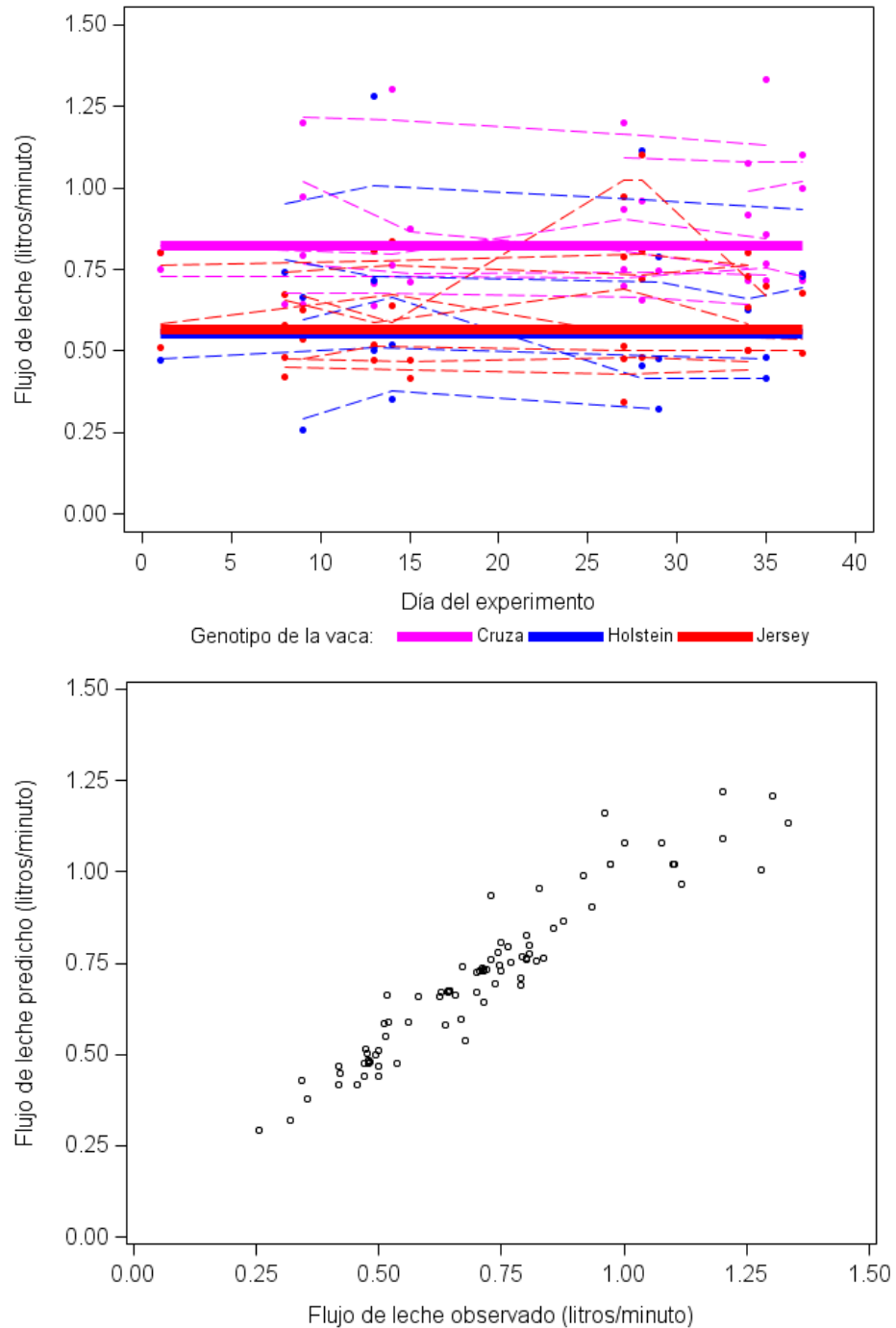
Se muestran las regresiones fijas y aleatorias, así como los diagramas de dispersión para producción de leche en el ordeño vespertino (Figura 3), tiempo de ordeño (Figura 4), y flujo de leche (Figura 5) en el día del experimento para cada genotipo de vaca.



**Figura 4.** Regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas sólidas) y regresiones aleatorias (líneas quebradas) de vacas individuales (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos de producción de leche en el día de muestreo (panel inferior).



**Figura 5.** Regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas sólidas) y regresiones aleatorias (líneas quebradas) de vacas individuales (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos para el tiempo de ordeño en el día de muestreo (panel inferior).



**Figura 6.** Regresiones fijas por genotipo de la vaca (líneas sólidas) y regresiones aleatorias (líneas quebradas) de vacas individuales (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos para el flujo de leche en el ordeño vespertino del día de muestreo (panel inferior)

Los resultados del análisis de varianza para las variables tiempo de ordeño, flujo de leche y producción de leche, se presentan en el Cuadro 5. Las medias de cuadrados mínimos para el efecto de genotipo de la vaca, así como los estimadores de los coeficientes de regresión de las covariables significativas se presentan en el Cuadro 6. Después de ajustar por el efecto lineal de los DEL, el genotipo de la vaca no afectó la producción de leche por vaca en el ordeño vespertino en el día de muestreo.

En promedio las vacas del experimento produjeron poco más de cinco litros de leche en el ordeño vespertino (Cuadro 4). Después de ajustar por el efecto lineal y cuadrático de la covariable producción de leche en el día de muestreo, las vacas cruzadas requirieron menor tiempo de ordeño ( $P < 0.05$ ) que las vacas Holstein y Jersey, lo cual difiere con lo reportado por Prendiville *et al.* (2010) en donde el tiempo de ordeño no fue diferente para vacas Holstein-Friesian, Jersey y sus cruza, en un sistema de pastoreo.

De igual forma, las vacas cruzadas mostraron un flujo de leche mayor ( $P < 0.05$ ) que las vacas Holstein y Jersey (Cuadro 6). En términos de flujo de leche, el promedio fue de 0.71 litros de leche por minuto en el sistema de ordeño portátil; sin embargo, lo reportado por diferentes autores difiere en los sistemas de ordeño fijo con el mismo nivel de vacío (Bade *et al.*, 2009; Ambord y Bruckmaier, 2010; Carlström *et al.*, 2013).

El promedio del flujo de leche reportado por Prendiville *et al.* (2010) es muy similar a lo encontrado en el presente estudio con 1.09 litros por minuto. Hogeveen *et al.* (2001) y con Gäde *et al.* 2006, reportaron que el promedio de flujo de leche fue de 2.5 kg  $\text{min}^{-1}$  para vacas Holstein; mientras que Ambord y Bruckmaier (2010), reportan un

promedio similar de flujo para la misma raza (2.80 kg min<sup>-1</sup>). Sin embargo, en todos los casos se utilizaron sistemas de ordeño fijos.

**Cuadro 5.** Prueba de significancia para los efectos fijos del genotipo de la vaca y covariables significativas, especificados en los modelos de regresión aleatoria de mejor ajuste para tiempo de ordeño, flujo de leche y producción de leche en el ordeño vespertino de vacas Holstein, Jersey y sus cruas manejadas en pastoreo en Chapingo, estado de México

|                                          | Grados de libertad del: |             | Valor de F | Pr > F  |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------|------------|---------|
| Efecto                                   | Numerador               | Denominador |            |         |
| Tiempo de ordeño (minutos/vaca)          |                         |             |            |         |
| Genotipo de la vaca                      | 3                       | 17.1        | 151.6      | <0.0001 |
| Producción de leche                      |                         |             |            |         |
| Lineal                                   | 1                       | 70.6        | 92.7       | <0.0001 |
| Cuadrático                               | 1                       | 62.8        | 34.4       | <0.0001 |
| Flujo de leche (litros/minuto)           |                         |             |            |         |
| Genotipo de la vaca                      | 3                       | 18.2        | 108.3      | <0.0001 |
| Producción de leche                      |                         |             |            |         |
| Lineal                                   | 1                       | 74.1        | 13.5       | 0.0005  |
| Cuadrático                               | 1                       | 66.2        | 5.2        | 0.0261  |
| Producción de leche (litros/vaca/ordeño) |                         |             |            |         |
| Genotipo de la vaca                      | 3                       | 17.7        | 143.8      | <0.0001 |
| Días en leche (DEL)                      |                         |             |            |         |
| Lineal                                   | 1                       | 19.6        | 21.6       | 0.0002  |

**Cuadro 6.** Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$  EE) para el efecto fijo de genotipo de la vaca y coeficientes de regresión para producción de leche y días en leche en el día de muestreo después del ajuste de modelos de regresión aleatoria para tiempo de ordeño, flujo de leche y producción de leche en el ordeño vespertino de vacas Holstein, Jersey y sus cruzas manejadas en pastoreo en Chapingo, estado de México<sup>1</sup>

| Factor                           | Nivel    | Tiempo de ordeño                 | Flujo de leche                   | Producción de leche en el ordeño vespertino |
|----------------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
|                                  |          | (minutos/vaca)                   | (litros/minuto)                  | (litros/vaca)                               |
| Genotipo                         | Cruza    | 5.97 $\pm$ 0.55 <sup>a</sup>     | 0.861 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>    | 5.10 $\pm$ 0.39                             |
|                                  | Holstein | 8.14 $\pm$ 0.60 <sup>b</sup>     | 0.591 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>    | 5.38 $\pm$ 0.49                             |
|                                  | Jersey   | 8.38 $\pm$ 0.55 <sup>b</sup>     | 0.605 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>    | 4.50 $\pm$ 0.39                             |
| Producción de leche <sup>2</sup> |          |                                  |                                  |                                             |
| Lineal                           |          | -0.973 $\pm$ 0.10 <sup>***</sup> | -0.042 $\pm$ 0.01 <sup>***</sup> | ----                                        |
| Cuadrático                       |          | -0.126 $\pm$ 0.02 <sup>***</sup> | -0.006 $\pm$ 0.002 <sup>*</sup>  | ----                                        |
| Días en leche                    |          |                                  |                                  |                                             |
| Lineal                           |          | ----                             | ----                             | 0.011 $\pm$ 0.002 <sup>***</sup>            |

<sup>1</sup>Dentro de columna, medias de cuadrados mínimos con distinta literal, son diferentes (P<0.05; Tukey).

<sup>2</sup>----Efecto no ajustado o removido del modelo final; \*, P<0.05; \*\*, P<0.01; \*\*\*, P<0.001.

### **3.5.3 Modelos de análisis de varianza para largo y diámetro del pezón**

Las medias de cuadrados mínimos del análisis de varianza para las variables largo y diámetro del pezón para el efecto de genotipo de la vaca y cuarto de la ubre se presentan en el Cuadro 7. Las vacas cruzadas y las Holstein presentaron pezones más largos ( $P < 0.01$ ) que las vacas Jersey; datos similares se encontraron para vacas Holstein en el estudio realizado por Blöttner *et al.* (2011) con longitudes de pezones de  $4.4 \text{ cm} \pm 0.10$ . De igual forma, promediado a través de genotipo de la vaca, en el presente experimento los cuartos anteriores fueron más largos ( $P < 0.01$ ) que los cuartos posteriores. Las vacas cruzadas y las vacas Jersey presentaron pezones más delgados ( $P < 0.01$ ) que las vacas Holstein. Promediado a través de genotipo de la vaca, los cuatro cuartos de la ubre de las vacas en el estudio tuvieron un diámetro similar (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$ EE) para el efecto fijo de genotipo de la vaca y cuarto de la ubre para el largo y diámetro del pezón de vacas Jersey, Holstein y sus cruas manejadas en pastoreo en Chapingo, Estado de México<sup>1</sup>

| Efecto   | Nivel               | Largo del pezón   | Diámetro del pezón |
|----------|---------------------|-------------------|--------------------|
|          |                     | (cm)              | (cm)               |
| Genotipo | Cruza               | $4.55 \pm 0.15^a$ | $2.07 \pm 0.04^b$  |
|          | Holstein            | $4.64 \pm 0.19^a$ | $2.26 \pm 0.04^a$  |
|          | Jersey              | $3.86 \pm 0.14^b$ | $2.04 \pm 0.03^b$  |
| Cuarto   | Anterior derecho    | $4.69 \pm 0.18^a$ | $2.15 \pm 0.04$    |
|          | Anterior izquierdo  | $4.73 \pm 0.18^a$ | $2.14 \pm 0.04$    |
|          | Posterior derecho   | $4.01 \pm 0.18^b$ | $2.11 \pm 0.05$    |
|          | Posterior Izquierdo | $3.96 \pm 0.18^b$ | $2.09 \pm 0.04$    |

<sup>1</sup>Dentro de columna y efecto, medias de cuadrados mínimos con distinta literal, son diferentes ( $P < 0.05$ ; Tukey).

### **3.6 CONCLUSIONES**

En las condiciones de manejo con base en pastoreo rotacional de praderas mezcladas de alfalfa y pastos templados y ordeño mecánico con equipo portátil, la combinación de mayor longitud y menor diámetro de pezones para cruzas (Holstein x Jersey) se asoció con un flujo más rápido de leche y un menor tiempo de ordeño.

### **3.7 AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado al primer autor durante sus estudios de nivel Maestría.

### 3.8 LITERATURA CITADA

- Ambord, S., and R. M. Bruckmaier. 2010. Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: Effects on milking characteristics and teat tissue condition. *Journal of Dairy Science* 93: 3588-3594.
- André, G., P. B. M. Berentsen, B. Engel, C. J. A. M. de Koning, and A. G. J. M. Oude Lansink. 2010. Increasing the revenues from automatic milking by using individual variation in milking characteristics. *Journal of Dairy Science* 93: 942–953.
- Bade, R. D., D. J. Reinemann, M. Zucali, P. L. Ruegg and P. D. Thompson. 2009. Interactions of vacuum, b-phase duration, and liner compression on milk flow rates in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 913-921.
- Blöttner, S., B. J. Heins, M. Wensh-Dorendorf, L. B. Hansen and H. H. Swalve. 2011. Short communication: A comparison between purebred Holstein and Brown Swiss × Holstein cows for milk production, somatic cell score, milking speed, and udder measurements in the first 3 lactations. *Journal of Dairy Science* 94: 5212-5216.
- Carlström, C., G. Pettersson, K. Johansson, E. Strandberg, H. Stålhammar, and J. Philipsson 2013. Feasibility of using automatic milking system data from commercial herds for genetic analysis of milking ability. *Journal of Dairy Science* 96: 5324-5332.

- Espinoza O., A. Álvarez M., A. Del Valle, M. Chauvete, M. 2005. La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Revista Técnica Pecuaria en México* 43(1): 39-56.
- FAO. (2015). Producción y productos lácteos: Sistemas de producción. Disponible en <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/sistemas-de-produccion/es/#.VjrMDfmrTIU>. Consultada el 15 de octubre de 2015.
- García, M., E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para Adaptarlo a las Condiciones Climáticas de la República Mexicana). Quinta Edición. Instituto de Geografía. México. 252 p.
- Gäde, S., E. Stamer, W. Junge, and E. Kalm. 2006. Estimates of genetic parameters for milkability from automatic milking. *Livestock Science* 104: 135–146.
- Hanford, K. 2005. Repeated Measures Data – Random Coefficients Models. Lecture Notes –Statistics 892 – Mixed Models – Spring 2005 –. page 132. [Accessed: 18-february-2013] 165. [http://tech.obihiro.ac.jp/suzuki/mixed\\_model.pdf](http://tech.obihiro.ac.jp/suzuki/mixed_model.pdf)
- Hogeveen, H., W. Ouweltjes, C. J. A. M. de Koning, and K. Stelwagen. 2001. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livestock Production Science* 72: 157–167.
- Løvendahl, R. and M. G. G. Chagunda. 2011. Covariance among milking frequency, milk yield, and milk composition from automatically milked cows. *Journal of Dairy Science* 94: 5381-5392.

- McNamara, S., J. J. Murphy, F. P. O'Mara, M. Rath, and J. F. Mee. 2008. Effect of milking frequency in early lactation on energy metabolism, milk production and reproductive performance of dairy cows. *Livestock Science* 117: 70–78.
- Prendiville, R., M. Pierce, and F. Buckley. 2010. A comparison between Holstein-Friesian and Jersey dairy cows and their F1cross with regard to milk yield, somatic cell score, mastitis, and milking characteristics under grazing conditions. *Journal of Dairy Science* 93: 2741-2750.
- SAS (Statistical Analysis System Institute). 2009. SAS/STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 564 p.
- Smith, V. R. 1975. *Physiology of lactation*. 5° edición. Ames. Iowa, E.U. A.
- Valdovinos T., M. E., Espinoza G., J. A., y Velez I., A. 2015. Innovación y eficiencia de unidades bovinas de doble propósito en Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios* 36: 1306-1314.
- Veisseyre, R. 1988. *Lactología Técnica*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 64-114.