



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**  
**MAESTRÍA EN SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL SUSTENTABLE**

**Adaptación de un hato de vacas Holstein al sistema de ordeño robotizado,  
evaluando la productividad de leche.**

**TRABAJO DE TESIS**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable**

**Presenta**

**Ing. Gabriel López Ángeles**

**Co-Dirigido por**

**M. en C. Ma. de Jesús Chávez López**

**Dr. José Luis Romano Muñoz**

**Asesores**

**Dra. Araceli Aguilera Barreyro**

**Dr. Feliciano Milián Suazo**

**M.S.P.A.S. Alberto Quintana Erdozain**

**Santiago de Querétaro, Qro. Diciembre de 2017**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**  
**MAESTRÍA EN SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL SUSTENTABLE**

**Adaptación de un hato de vacas Holstein al sistema de ordeño robotizado,  
evaluando la productividad de leche.**

**TRABAJO DE TESIS**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable**

**Presenta**

**Ing. Gabriel López Ángeles**

**Co-dirigido por**

**M. en C. Ma. de Jesús Chávez López**

**Dr. José Luis Romano Muñoz**

**Asesores**

**Dra. Araceli Aguilera Barreyro**

**Dr. Feliciano Milián Suazo**

**M.S.P.A.S. Alberto Quintana Erdozain**

**Campus Juriquilla**

**Santiago de Querétaro, Qro. México**

**Diciembre de 2017**



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad De Ciencias Naturales**  
**Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable**

**Adaptación de un hato de vacas Holstein al sistema de ordeño robotizado,  
evaluando la productividad de leche.**

**TRABAJO DE TESIS**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable**

**Presenta**

**Ing. Gabriel López Ángeles**

**Co-dirigido por**

**M. en C. Ma. de Jesús Chávez López**

**Dr. José Luis Romano**

**Sinodales**

**M. en C. Ma. de Jesús Chávez López**  
Presidente

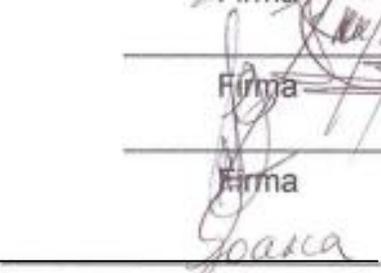
**Dr. José Luis Romano Muñoz**  
Secretario

**Dra. Araceli Aguilera Barreyro**  
Vocal

**Dr. Feliciano Milián Suazo**  
Vocal

**M.S.P.A.S. Alberto Quintana Erdozain**  
Suplente

  
Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca  
Directora de la Facultad

  
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
México  
Diciembre de 2017

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue documentar el manejo de un hato de vacas Holstein durante el proceso de transición y adaptación a un sistema de ordeño robotizado (AMS, por sus siglas en inglés). En el Campo Agropecuario Experimental Gonzalo Río Arronte se estableció un AMS estabulado con tráfico forzado, compuesto por puertas unidireccionales, por donde las vacas solo pueden transitar del área de alimentación hacia el área de echaderos; y con tráfico guiado, que usa una puerta de distribución que puede dar acceso a las vacas del área de echaderos hacia el robot o hacia el área de comederos. En la primera etapa del proyecto, se seleccionaron 25 vacas en producción para ser entrenadas en el tránsito forzado del AMS durante 30 días. En la segunda etapa se comenzó la ordeña robotizada de las mismas vacas, supervisando visitas voluntarias al robot, y forzando las visitas cuando el intervalo entre ordeño fue mayor a 13 horas. Durante la segunda semana en el AMS, el 8% de las vacas visitaron el robot voluntariamente, y en la cuarta semana, el porcentaje alcanzó el 92%. El promedio del intervalo entre ordeños durante 30 días en el robot fue de 11 horas 53 minutos; en las vacas de alta producción (>45kg/día) hubo intervalos de 6 horas. El promedio de producción de leche disminuyó 8.2% en 30 días. Cuando las vacas Holstein logran visitar al robot de ordeño de forma voluntaria, el AMS se vuelve una opción para enfrentar la poca disponibilidad de mano de obra, cada vez más escasa en México, así como para reducir considerablemente el tiempo que demandan las labores de ordeño, tiempo que puede ser destinado para labores de limpieza y en horario más accesibles y cómodos para la mano de obra disponible.

Palabras Clave: Sistema de ordeño robotizado; tráfico forzado; ordeño voluntario

## Summary

The target of this document was to get information about the management in a dairy cattle with Holstein cows, in the transition into the Automatic milking system. (AMS). In the Experimental Center Gonzalo Río Arronte was established an AMS with forced traffic, with one way gates that force cows to move in only direction to feed lie down, and be milked, guided cow traffic uses a selection gate to access whether cows are due for milking, or go to the feed area. In the first part of the project, 25 cows in milking were selected to be trained, by 30 days, in forced traffic of the AMS. In the second part, the milking of the selected cows began in the AMS, supervising voluntary visits to the robot, and forcing visits when the interval between the mayor was 13 hours. During the second week in the AMS, 8% of those cows visited the robot voluntarily, and in the fourth week, the percentage reached 92%. The average of the time between milkings during 30 days in the AMS was 11 hours and 53 minutes; in cows with high performance (> 45kg / day) were intervals of 6 hours. The average of milk performance decreased 8.2% in 30 days. If the Holstein cows can visit the milking robot themselves, the AMS is the option versus few people available for the milking activity, and also is an option to reduce considerably the time spent in the milking routine, that time can be used in other barn activities, with more comfortable schedule for workers.

Key words: Automatic milking system; Forced traffic; voluntary milking.

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado con todo mi amor a las personas más importantes en esta etapa de mi vida: mi esposa Gabriela y a mis hijos David Leonardo y Gabriel, quienes son el principal motivo para superarme personal y profesionalmente.

## **Agradecimientos**

El primer agradecimiento está dirigido al Ing. Andrés García Jurado, quien fue el primer interesado en que yo estudiara una maestría, y quien me dio las facilidades en el trabajo para poder asistir a clases de posgrado.

Al Ing. Carl Dobler, mi agradecimiento por dar continuidad al apoyo en el campo laboral y por permitirme desarrollar este trabajo de tesis dentro del Campo Agropecuario Experimental Gonzalo Río Arronte.

Doy un agradecimiento especial a los Directores y Asesores de este trabajo de Tesis por su valiosa colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

Mi agradecimiento a los integrantes de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, quienes han trabajado por mejorar cada día el programa de la Maestría en Salud y Producción Animal sustentable. Mi admiración y respeto por su gran vocación, su alto nivel profesional y académico, y por tener la confianza en este servidor para ser parte del programa de M.S.P.A.S.

Agradezco también a mi familia, por su total apoyo en todo el trayecto de mis estudios de maestría: a mi esposa Gabriela Caballero y a mi hijo David Leonardo.

Un agradecimiento a mis padres, por su ejemplo y su exigencia para alcanzar metas en lo profesional y en lo personal.

Y finalmente agradezco a mis hermanos, a mis suegros y a mis cuñados por su siempre oportuno apoyo moral.

A todos ustedes muchas gracias.

# Índice

Resumen .....	i
Summary .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Índice de Cuadros .....	vii
Índice de Figuras.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Sistemas de ordeño mecánico .....	3
2.2 Sistema de ordeño robotizado .....	4
2.2.1 Características del AMS.....	4
2.2.2 Origen y Antecedentes del AMS .....	6
2.2.3 Implementación del ordeño robotizado .....	7
2.2.4 Frecuencia de ordeño .....	10
2.3 Instalaciones y manejo.....	10
2.3.1 Tráfico forzado y guiado.....	11
2.3.2 Comportamiento de la vaca .....	12
2.4 Alimentación y ordeño robotizado .....	13
2.5 La salud de la ubre en el AMS .....	15
III. OBJETIVOS .....	18
3.1 Objetivo General .....	18
3.2. Objetivos específicos .....	18

IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
4.1 Localización .....	19
4.2 Instalaciones .....	19
4.2.1 Sistema de tráfico forzado y guiado .....	20
4.2.2 Robot de ordeño.....	22
4.2.3 Rutina de ordeño en el AMS .....	24
4.2.4 Especificaciones del sistema de ordeño .....	25
4.2.5 Lavado del equipo .....	25
4.3 Metodología .....	26
4.3.1 Selección de vacas para el sistema de ordeño robotizado .....	26
4.3.2 Entrenamiento en el AMS con tráfico forzado .....	26
4.3.3 Inicio del ordeño robotizado .....	27
4.3.4 Alimentación de las vacas .....	31
4.3.5 Manejo de instalaciones .....	32
V. RESULTADOS.....	33
VI. DISCUSIÓN .....	45
VII. CONCLUSIONES .....	47
VIII. LITERATURA CITADA.....	51

## Índice de Cuadros

Tiempo para permisos de ordeño y alarmas no ordeño .....	28
Promedio de producción de leche antes y después del ordeño en el AMS.....	39
Relación de No. de ordeños con producción de leche .....	40
Promedio del tiempo de ordeño por vaca.....	41
Capacidad del ordeño del robot con respecto al número de vacas.....	42

## Índice de Figuras

Sistema de ordeño robotizado (AMS) .....	4
Diseño del AMS en uno de los tres robots, con dos corrales, en el CAETEC .....	20
Puerta unidireccional vista por ambos lados .....	20
Zona de acceso al robot de ordeño.....	21
Puerta de tráfico guiado .....	22
Vistas laterales del robot de ordeño del CAETEC .....	23
Brazo robotizado .....	24
Relación de la pulsación del ordeño.....	25
Circulación en el sistema de tráfico forzado .....	27
Posicionamiento de la cámara óptica.....	28
Lista de alarma de retraso en el ordeño y de vacas con permiso de ordeño .....	30
Alimentación en pesebre .....	31
Pezón con exceso de estiércol.....	33
Ubre con pezones traseros cruzados, vaca no apta para el ordeño robotizado ....	34
Ubre con pezones separados.....	35
Promedio de producción de leche antes y después del ordeño en el AMS.....	36
Promedio de número de ordeño en el AMS por día .....	37
Ordeños voluntarios en el AMS por día.....	37
Vacas en asoleadero.....	38
Promedio de producción de vacas en distinta lactación en el AMS .....	39
Lista con información de ordeños incompletos.....	42
Consumo de alimento en la zona de alimentación .....	43
Conteo de células somáticas por día .....	44
Vaca con secreción de leche en corral.....	44
Copa de ordeño con estiércol.....	45

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de un “Sistema de Ordeño Robotizado” se refiere a un conjunto de elementos automatizados que realiza las labores de ordeño con brazos robotizados, y que motiva a las vacas a ir de manera voluntaria a la ordeña varias veces al día, sin supervisión ni intervención humana (de Koning y Rodenburg, 2004).

Implementar un sistema de ordeño robotizado puede obedecer a diversas razones, tales como: la idea de incrementar el número de ordeños promedio por día para aumentar la producción de leche, la poca disponibilidad de mano de obra para labores de ordeño, reducir los altos costos de producción por el incremento en sueldos de ordeñadores, y la visión de incorporar nuevas tecnologías en los sistemas de producción lechera, mismas que en países de primer mundo avanzan en investigación, conocimiento y en productividad (Caja et al., 2002).

La transición de un hato lechero hacia un sistema de ordeño robotizado con tráfico forzado y guiado, no solo se centra en el cambio de horarios para el ordeño, sino también en la adaptación a un nuevo sistema de tráfico en los corrales y a un cambio en el comportamiento social del hato, además de otro esquema en el sistema de alimentación, y en la interacción vaca-hombre. Dicha transición representa un cambio radical, y aún poco explorado, en el manejo de los establos lecheros en México.

Cuando un ganadero decide establecer un sistema de ordeño robotizado, primero debe definir el diseño de las instalaciones con el sistema de tráfico con el que va a operar (Barrasa et al., 2013). El sistema de tráfico se refiere a la serie de puertas que obligan a las vacas a seguir un patrón de circulación en el establo (Jacobs y Siegford, 2012).

El sistema de ordeño robotizado es una tecnología que ha revolucionado a la industria lechera, y que ha incrementado los niveles de producción y ha generado altas ganancias económicas en el mundo. La automatización del ordeño

robotizado permite a las vacas definir cuándo deben ser ordeñadas, con funcionamiento del robot distribuido a lo largo del día, sin interacción directa de la vaca y el hombre (John et al., 2016).

El origen de los sistemas de ordeño automático tuvo lugar en Holanda en los 80. Fue a finales de los 90 cuando aparecieron los primeros robots en granjas comerciales, y posteriormente varias marcas salieron al mercado en Europa, Estados Unidos, Canadá, Japón e Israel (Carnero, 2006). En 2017 se contabilizan alrededor de 30,000 robots instalados en 10,000 granjas comerciales de todo el mundo (Hart, 2017).

En México solo tres granjas de producción lechera cuentan con el sistema de ordeño robotizado, y las condiciones actuales del país en disponibilidad de mano de obra y salarios bajos, aún no obligan a los ganaderos a recurrir a esta tecnología. Sin embargo, el bajo precio de la leche en el mercado, y la necesidad de reducir los costos de producción, obligarán a los ganaderos, con sistemas tradicionales, a invertir en nuevas tecnologías.

El presente trabajo se desarrolló en el Campo Agropecuario Experimental Gonzalo Río Arronte, donde se instaló un sistema de ordeño robotizado con tráfico forzado y guiado, y en el cual se documentó el proceso de transición y adaptación del hato lechero al nuevo sistema de ordeño. Este proceso se desarrolló, durante un periodo de 30 días, con el objetivo de dar a conocer las características del sistema y los posibles efectos y resultados, bajo un esquema de manejo definido para dicha transición.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Sistemas de ordeño mecánico

En México el ganado especializado en la producción de leche comprende 17% del inventario ganadero, el 83% restante lo integra el ganado no especializado (semiespecializado, doble propósito y de traspatio), que participa con 19.5% de la producción nacional de leche, y se localiza en todo el territorio nacional (Ávila et al., 2002). Con un inventario nacional de 2,457,683 cabezas de bovinos de leche, en el año 2016, fueron producidos en México 1,025,700,000 litros de leche, y en los primeros 10 meses de 2017 se han producido 9,949,727 litros de leche (SIAP, 2017).

La máquina de ordeño es una herramienta esencial para hacer más eficiente el trabajo en los establos lecheros que tienen un considerable número de vacas. Los equipos de ordeño han contribuido enormemente al desarrollo de la industria lechera moderna de todo el mundo, y en los últimos años se ha evolucionado en el diseño, mantenimiento y uso de los equipos de ordeño – logrando, por un lado, la extracción de volúmenes de leche cada vez más grandes y de calidad y, por otro, la reducción de mastitis (Philpot y Nickerson, 2002).

Las unidades de ordeño convencionales están ubicadas en lugares fijos, a donde hay que conducir el ganado. Existen diferentes modelos en las salas de ordeño mecánico: en paralelo, tándem, en espina de pescado y rotatoria (Barreiro y Ortiz-Cañavate, 2001).

En las salas de ordeño mecánico se han introducido distintas novedades como la desconexión automática de las pezoneras cuando el sistema detecta que el flujo de leche disminuye por debajo de un límite definido, permitiendo optimizar los tiempos de operación y mejorar las condiciones de trabajo. Sin embargo, la limpieza y masaje iniciales de las ubres, así como la conexión de las pezoneras se efectúa de forma manual por un operario (Barreiro y Ortiz-Cañavate, 2001).

Las unidades de ordeño están constituidas por: pezoneras, pulsador y bombas de vacío, y son similares en los sistemas convencionales y los sistemas robotizados (Barreiro y Ortiz-Cañavate, 2001).

## 2.2 Sistema de ordeño robotizado

El término sistema ordeño robotizado (Figura 1) se refiere, no solo al uso de un brazo hidráulico articulado, sino al concepto de automatización global de una instalación y a la asistencia voluntaria de las vacas al módulo de ordeño robotizado, conocido también como “**AMS**” por sus siglas en inglés: Automatic Milking System (Barreiro y Ortiz-Cañavate, 2001).



Figura 1 Sistema de ordeño robotizado (AMS)

### 2.2.1 Características del AMS

El AMS está basado en la asistencia voluntaria de las vacas al robot. Un robot tiene capacidad para ordeñar 60 animales diariamente, lo cual implica un proceso de asistencia y ordeño continuado, que permite a todos los animales tener tiempo para ordeñarse en un promedio de 2.7 ordeños por vaca al día (Carnero, 2006).

El AMS confía en la motivación propia de la vaca para visitar al robot de ordeño de forma voluntaria. El principal motivo para que una vaca visite el robot es el suministro de concentrado, ya que todos los robots están equipados con distribuidores automáticos de concentrado (de Koning, 2002). En teoría, con el ordeño robotizado las vacas se van a ordeñar cuando ellas lo necesitan, sin embargo, en la práctica la vaca no siempre acude al robot porque necesita ser ordeñada, sino por necesidades nutricionales o incluso por estímulo grupal de sus compañeras de corral (Bach, 2002).

Otra característica del AMS es que las vacas se ordeñan sin intervención humana directa. Un robot de ordeño debe ser “los ojos y manos” del ordeñador, y por lo tanto estos equipos deben de estar equipados con dispositivos de identificación electrónica, limpieza de pezones, ordeño y sensores del control computarizados para detectar anomalías a las que se refiere la legislación y las normas de higiene de la industria láctea (de Koning y Rodenburg, 2004).

Los sistemas de ordeño robotizado están equipados con una amplia variedad de sensores que permiten controlar y observar el proceso de ordeño. La información es almacenada automáticamente en una base de datos, en la que el ganadero puede revisar, evaluar y controlar los parámetros y condiciones en las que se ordeñan las vacas. Las listas de avisos e informes se presentan al ganadero en pantalla o impresos. Sin embargo, el sistema robotizado solo genera la información, y el ganadero es quien tiene que actuar y decidir con base en los datos obtenidos (de Koning, 2002).

Muchos de los síntomas de los animales eran detectados en la sala de ordeño por el operador; con el AMS, los síntomas son detectados a través de las listas de informes y alarmas que el sistema proporciona: conductividad, tiempos de ordeño, rendimiento lácteo, medida de la actividad, consumo del concentrado, visitas al robot, etc. De esta manera, el ganadero reduce parte del tiempo dedicado al trabajo manual y lo invierte en el análisis de la información (Carnero, 2006).

En la evolución de unidades robotizadas de ordeño se han desarrollado complementos, como los sistemas automatizados de limpieza y masaje de las ubres, y se han evaluado distintas tecnologías para el posicionamiento de los pezones: visión artificial, ultrasonidos y sistema láser, aunque es este último la más adoptada en los sistemas comerciales de ordeño dada su gran precisión (Barreiro y Ortiz-Cañavate, 2001).

El paso final en la automatización del proceso de ordeña parecía ser el desarrollo de los sistemas automatizados de colocación de pezoneras. Sin embargo, llevó más de una década convertir las técnicas de localización de pezones y colocación de pezoneras en sistemas de ordeña automático completamente integrados y de confianza (de Koning, 2002).

### **2.2.2 Origen y Antecedentes del AMS**

Las primeras ideas sobre la automatización completa del proceso de ordeña aparecieron a mediados de los años 70. El incremento en el costo de la mano de obra en varios países Europeos fue la principal razón para iniciar el desarrollo del ordeño automático (de Koning, 2002).

El desarrollo de los robots de ordeño tuvo su origen en Europa en los 90, a partir de los estudios realizados en Holanda. Los primeros prototipos europeos de ordeño robotizado fueron desarrollados e instalados por: Prolion (Vijfhuizen, Holanda), Gascoigne-Melotte (Emmelord, Holanda), Lely industries (Maasland, Holanda), Cemagref (Centre du Machinisme Agricole et des Genies Rural, des Eaux et des Forets, Francia), Silsoe Research Institute (Reino Unido), Düvelsdorf (Ottersberg-Posthausen, Alemania), y Centro Federal de Investigación Agraria (Alemania). El objetivo perseguido por los robots fue definido como: “la automatización del ordeño y mejora de la producción de leche, teniendo en cuenta el bienestar animal y humano” (Caja et al., 2002).

Frente a la escasez de mano de obra calificada algunos ganaderos optaron por la sustitución del capital humano por el financiero, mediante la implementación

de sistemas robotizados de ordeño para reducir al mínimo las necesidades de la mano de obra en los establos (Busto, 2002).

El primer ejercicio de ordeño robotizado se realizó en 1986, en la Granja Experimental de Waiboerhoeve, Lelystad, en Holanda, y fue realizado por Gascoigne Melotte. En 1990, la compañía Prolion instaló un AMS en la Granja Experimental IMAG-DLO Duiven, en Holanda (John et al., 2016). En 1992 se instalaron los primeros robots de ordeño en establos lecheros comerciales de Holanda. A finales de 2001, 1,150 granjas de todo el mundo ordeñaban con sistemas robotizados (de Koning, 2002). A finales de 2003 había, en todo el mundo, 2,200 granjas con uno o más robots de ordeño. Aunque la mayoría de las granjas con ordeño robotizado cuentan con 1, 2 o hasta 3 robots, existen en Estados Unidos granjas con más de 20 robots. En 2004, el 80% de las granjas con robots estaban ubicadas en el noroeste de Europa (de Koning y Rodenburg, 2004). En 2017 son 30,000 los robots de ordeño funcionando en el mundo (Hart, 2017).

Actualmente existen casas comerciales que fabrican sistemas robotizados de ordeño como: Lely-Astronaut, De Laval-VMS, Fullwood Dairy Systems Merlin, Westfalia-Leonardo, Prolion-Liberty, Zenith Robot Australia, Gascoigne Melotte y Boumatic (Barreiro y Ortiz-Cañavate, 2001).

### **2.2.3 Implementación del ordeño robotizado**

Tres objetivos importantes que los robots de ordeño ayudan a alcanzar son: (1) la estrategia de salida para la cada vez más escasa mano de obra en los sistemas lechero, principalmente en las áreas de ordeño, (2) la eficiencia en los sistemas de producción de leche, y la mejora en la producción y en los parámetros de calidad de leche, y (3) obtención de información generada en la base de datos del robot que ayude en el manejo de enfermedades reproductivas, metabólicas, laminitis, mastitis, y en calidad de leche (Hart, 2017). Otros motivos para la instalación de sistemas de ordeño robotizado son la profesionalización y modernización del trabajo, eficiencia en los trabajadores, mejora de la calidad de

vida del ganadero y de los trabajadores, evolución generacional, etc. (Caja et al., 2002)

La introducción del AMS en los establos es un proceso que no está exento de problemas en un periodo inicial de adaptación, ya que significa un cambio radical para los animales, para el ganadero y para los operadores. El manejo de los animales cambia, el ganadero no se ve obligado a ordeñar dos veces al día y esto le da una cierta flexibilidad de horario, ya que las vacas acuden al ordeño voluntariamente. Por otro lado, el personal del establo pierde contacto físico con las vacas por lo que debe pasar más tiempo observándolas. El ganadero debe aprender a manejar la base de datos conectada al robot y principalmente debe ser capaz de interpretar la información obtenida del sistema (producción, conductividad, actividad, etc.) y que son de importancia para actuar preventivamente con más eficiencia (Busto, 2002).

En la transición de la rutina de ordeño convencional al ordeño robotizado, las vacas tienen que aprender a visitar el robot en momentos en los que antes no lo hacían. Esto requiere especial atención y en las primeras semanas será necesaria la asistencia humana (de Koning, 2002).

Uno de los principales beneficios del AMS puede ser el incremento en la producción lechera debida a una mayor frecuencia de ordeño (de Koning, 2002).

En explotaciones de Holanda la producción lechera diaria se incrementó alrededor del 11.4% cuando las granjas cambiaron de dos ordeños por día, en una sala de ordeña convencional, al ordeño voluntario en un AMS. Los datos franceses muestran un incremento de la producción lechera de un 9-13% promedio en granjas que llevaban ordeñando con robot durante dos años o más (de Koning, 2002).

El índice de fracasos en vacas que no se adaptan nunca al robot o ganaderos que deciden deshacerse del robot después de un año desde su adquisición se estima próximo al 10% (Caja et al., 2002).

La principal problemática que se plantea en la utilización de los robots de ordeño corresponde a: (a) el periodo de adaptación largo, próximo a un año desde la instalación del robot, (b) número de vacas modular (50-70 vacas) no adaptable al tamaño y cantidad de cuota de la mayoría de las granjas, (c) no todas las vacas se adaptan al ordeño, con niveles de eliminación próximos al 10% (5-15%), (d) se desconoce el tipo de toros más adecuados para producir novillas de morfología ideal para el ordeño robotizado, (e) la cantidad y calidad de la leche no siempre mejoran o cubren las expectativas del aumento del número de ordeños, (f) la estrategia y procedimientos de control del estado sanitario de la ubre y de los rendimientos productivos deben ser adaptados y validados, (g) la necesidad de abandonar los sistemas de alimentación a base de una ración completa mezclada para volver a sistemas de alimentación individualizada, (h) manejo del tráfico de vacas muy crítico, con ventajas e inconvenientes generales de los sistemas libre o forzado, (i) la adaptación al caso particular de cada establo, (j) la asistencia técnica (puesta a punto y reparaciones del equipo), así como el asesoramiento técnico (manejo, alimentación y calidad de leche) necesitan ser adaptados a las condiciones específicas de cada granja (Caja et al., 2002).

El éxito de la implementación de un sistema de ordeño robotizado es posible cuando el diseño de las instalaciones es el correcto para el buen funcionamiento de los robots de ordeño, cuando los reportes de las vacas del sistema son revisados a lo largo del día, cuando las rutinas de limpieza y mantenimiento son realizados periódica y puntualmente, cuando se da alimentación de calidad, y cuando los productores aprenden a limitar su interacción con las vacas (Hart, 2017).

Con la implementación del AMS, una vez superado el periodo de adaptación, normalmente se suele incrementar la producción pasando de dos ordeños por día a 2.8 ordeños (Busto, 2002).

#### **2.2.4 Frecuencia de ordeño**

Productores e investigadores han evaluado y experimentado por décadas la productividad de la leche con base en la frecuencia y el intervalo entre ordeños. El incremento en la producción de leche ha entusiasmado a los ganaderos en modificar la frecuencia de ordeño. Las investigaciones en el tema han concluido que, aumentar de dos a tres veces por día el ordeño, incrementa la producción el 10 a 18 %, además de que la sanidad de la ubre mejora. Ordeñar 4 veces por día incrementa la producción entre 8 y 12 % con respecto a 3 veces, y la sanidad de la ubre mejora un poco más. Por el contrario, cuando los productores cambian la frecuencia de ordeño de 3 a dos veces, o de cuatro a 3 veces por día, la producción de leche no disminuye mucho, sino que se da un efecto de arrastre de 9 a 11 %, que es el beneficio de la mayor duración de la lactación (Philpot y Nickerson, 2002).

La leche se secreta primordialmente en el intervalo entre ordeñas. El índice de secreción de leche es rápido y relativamente constante durante 8 a 10 horas después de la ordeña y más bajo inmediatamente antes y durante esta. Sin embargo, conforme se acumula leche durante el intervalo entre ordeñas, la presión intramamaria aumenta y el índice de secreción de leche por hora disminuye. La capacidad de la ubre para contener y secretar leche tiene una influencia importante sobre el índice de secreción. El retiro frecuente de leche conduce a una mayor secreción y a una disminución de la presión intramamaria. Existe la posibilidad de que los componentes específicos de la leche actúen dentro de las células mamarias para inhibir su propia secreción, independientemente de la presión intramamaria (Bath et al., 1982).

### **2.3 Instalaciones y manejo**

En cualquier instalación lechera, las consideraciones para lograr una producción eficiente y de calidad, son aquellas que logran condiciones adecuadas, con ventilación que evite el estrés térmico, seguras, con diseño para evitar jerarquías en la alimentación o en el descanso entre animales, y con diseños de

las salidas y de las entradas a los robots adecuadas para que no haya problemas de jerarquías (Martínez, 2015).

En el sistema de ordeño robotizado la planeación comienza antes de la instalación del AMS, ya que el número de vacas a ordeñar se debe adaptar al sistema que se va a instalar (Busto, 2002).

Con base en la cantidad de vacas del establo, se puede elegir entre 2 tipos de AMS: (1) Puestos individuales (monobox), con unidades automatizadas, con un solo brazo mecánico, (2) Puestos múltiples (multibox), con unidades automatizadas que atienden a varios lotes de producción (Martínez, 2015). Los puestos simples tienen capacidad para ordeñar 55-60 vacas, mientras que los puestos múltiples con 2 a 4 puestos tienen capacidad para ordeñar 80 a 150 vacas en más de 3 veces por día (de Koning y Rodenburg, 2004).

Por otra parte, para el AMS existen 2 tipos de sistemas de trabajo genéricos, que consisten en: sistemas de flujo o tráfico libre, que permite la libre circulación de los animales entre las áreas de alimentación, descanso y ordeño; y en tráfico forzado y guiado, con puertas de una sola dirección y de selección que dirigen a los animales (Martínez, 2015).

### **2.3.1 Tráfico forzado y guiado**

El tráfico forzado, en el que las vacas están obligadas a pasar por el robot para poder acceder a la zona del comedero, mientras que para acceder al resto de las zonas lo hacen a través de puertas unidireccionales (Barrasa et al., 2013).

En el tráfico guiado, las vacas que quieren acceder a una determinada zona, pasan a través de una puerta selectora, y esa puerta envía a las vacas con permiso de ordeño a una sala de espera frente al robot de ordeño, y las que no tienen permiso de ordeño, las envía a la zona de origen (Barrasa et al., 2013).

En la implementación de un AMS, tanto el ganadero como las vacas deben pasar por un periodo de adaptación que en ocasiones resulta más estresante para el ganadero que para las propias vacas. Un punto clave a tener en cuenta es el

tráfico del ganado en relación al robot. Interesa aumentar la frecuencia de visitas y que las entradas y salidas del robot se lleven a cabo con rapidez. Durante este periodo el ganadero debe acostumbrarse a las alarmas y al manejo de los listados que proporciona el sistema, supervisando y controlando diariamente que todas las vacas hayan visitado el robot. Por lo tanto una correcta ubicación del robot y las estrategias de alimentación son factores que afectan definitivamente a la frecuencia de visitas (Busto, 2002).

Las alarmas son configuraciones del AMS, con tráfico guiado, que los ganaderos establecen en el software del AMS para detectar a vacas con retraso de ordeño, cuando ha expirado el intervalo máximo de tiempo, fijado en función de diversos criterios como: días en leche, lactaciones, mastitis, etc. La alarma indica que la vaca con retraso de ordeño tiene que ser llevada al robot de ordeño (Barrasa et al., 2013).

Una limitante en la adaptación al AMS con tráfico forzado y guiado es la presencia de defectos en la conformación de ubres y pezones, problemas de locomoción, en articulaciones o en patas y pezuñas, y el temperamento agresivo (Busto, 2002).

### **2.3.2 Comportamiento de la vaca**

Para entender lo que ocurre en el ordeño es necesario “entender” a las vacas. La eficacia en el ordeño empieza a ser determinada en el momento en que las vacas son conducidas por los arreadores o por sistemas mecánicos hacia la sala de espera. La adrenalina liberada por causa de factores estresantes previos al ordeño como son golpes, arreos, ruidos innecesarios, suelos y pendientes inadecuadas, etc., interfieren con la acción de la oxitocina, que es la hormona necesaria para la “bajada de la leche”. Las vacas pueden desarrollar memorias negativas respecto de un proceso y tienen recuerdos imborrables de las experiencias generadoras de miedo. La vaca nunca debe adquirir una sensación negativa de la zona de ordeño (Míguez, 2009).

Las vacas son animales sensibles al comportamiento de sus compañeras de corral, y suelen acudir a comer, beber, reposar, y a ser ordeñadas en grupos. Pero en el AMS, las vacas pueden acudir a ser ordeñadas en forma individual, lo cual altera el orden social de un sistema tradicional; por lo tanto, es necesario un manejo individualizado (Bach, 2002).

En el AMS cada una de las vacas define su propio esquema de ordeño (horarios y visitas al robot), sin intervención de arreadores y adecuadas a un sistema de tráfico, ya sea libre, forzado o guiado (Jacobs y Siegford, 2012).

## **2.4 Alimentación y ordeño robotizado**

La introducción del ordeño robotizado genera un cambio en la forma en que se ordeñan las vacas, pero también en el modo en que se alimentan. Los patrones de alimentación de los animales alojados en el AMS desarrollan conductas de comportamiento individual diferentes a las vacas establecidas en sistemas de ordeño tradicionales (Martínez, 2015). El AMS obliga a pasar de una nutrición poblacional a una individual. La diferencia es la capacidad de un sistema de ordeño robotizado de registrar, tanto el consumo del alimento, como la producción de leche, y la velocidad de flujo lácteo durante el ordeño. Esta información permite elaborar programas alimenticios individualizados eficaces y precisos (Bach, 2002).

Los tres posibles formas de alimentación en un robot son: (1) ofrecer toda la dieta en el pesebre, con tráfico libre, y que las vacas acudan al robot únicamente a ser ordeñadas, (2) ofrecer toda la dieta en el pesebre, pero dando acceso a esta área, solo a las vacas que pasen primero por el robot, y (3) ofrecer parte de la ración en el pesebre y la otra parte en el robot (Bach, 2002).

Al comparar el primero con el segundo modo de alimentación se observa que las vacas que pueden comer independientemente de la visita al robot comen durante más tiempo (más lentamente) e ingieren mayores cantidades de materia seca que cuando son forzadas a pasar por el robot para acceder al total de la ración. Sin embargo, el número de visitas al robot con el primer modo de

alimentación es muy inferior (5,8 vs 9,9 visitas/día) al número de visitas obtenidas cuando las vacas tienen que pasar por el robot para acceder a la ración. El modo óptimo de alimentación de las vacas con un sistema de ordeño robotizado es el tercero, que parte de la ración se ofrece a libre disposición y la otra parte se ofrece en el robot (Bach, 2002).

En los sistemas guiados donde se ordeña antes del acceso a la zona de alimentación, las vacas no pueden conseguir la energía necesaria sino hasta después de ser ordeñadas, por lo que hay que asegurar que las vacas visiten el robot con regularidad. Por otra parte, en sistemas en los que las vacas son alimentadas, antes de ser ordeñadas, se recomiendan raciones bajas en energía, y con suministro de concentrado en el robot que sea alto en energía para estimular la visita de la vaca al robot (Martínez, 2015).

El suministro de concentrado durante toda la permanencia de la vaca en el robot puede ofrecer ventajas como una mejor postura para el ordeño, y mejora el estado hormonal del animal, ya que al ofrecer alimento durante la mayor parte del ordeño resulta en un aumento en la liberación de oxitocina y una inhibición de la secreción de cortisol (Bach, 2002).

Es recomendable que el ritmo al que se ofrece el alimento durante la visita al robot sea relativamente lento (300 g/min), con el fin de mantener la atención de la vaca en la alimentación por un lado, y para evitar que ingiera el concentrado demasiado rápido por otro; es muy importante calibrar con frecuencia (mínimo 1 vez cada 15 días) las dosificaciones y pesadas asignadas (Bach, 2002).

Las cantidades a ofrecer pueden ser definidas por el ganadero, con base en los días en leche o en la producción, ofreciendo el máximo del concentrado durante los días de lactancia alrededor del pico de producción y en función de los datos generados en la base de datos del AMS, la cantidad de concentrado debe ser corregida (Martínez, 2015).

## 2.5 La salud de la ubre en el AMS

Los resultados de calidad de leche son muy variables entre explotaciones, tanto en los valores obtenidos como en la variabilidad de estos valores, interviniendo muchos otros factores como el tipo de estabulación, atención a los animales con demasiadas horas sin asistir al robot de ordeño, monitoreo y revisión de los animales que presentan aumento en la conductividad de leche, etc. Estos resultados indican que tenemos que centrar los esfuerzos en identificar y mejorar los puntos críticos en las diferentes explotaciones con ordeño robotizado (Oller, 2004).

Normalmente el aumento de mastitis clínicas y del conteo de células somáticas de tanque se produce en las primeras etapas de la introducción del ordeño robotizado debido al proceso de adaptación de los animales, y especialmente de los ganaderos, al nuevo sistema de ordeño. Hay animales que no se ordeñan correctamente por problemas de posicionamiento de pezones, problemas en la bajada de la leche por estrés del cambio al nuevo sistema de ordeño. Por este motivo es especialmente importante cuidar la introducción del sistema con robot haciendo un esfuerzo extra en la atención de los animales y el manejo de las instalaciones (Oller, 2004).

Una adecuada rutina de ordeño involucra una serie de procedimientos que deben realizarse cuidadosamente en cada período de ordeño en forma correcta y consistente que se pueden resumir en los siguientes aspectos: proporcionar un ambiente limpio y tranquilo a las vacas evitando el estrés; extraer y examinar los primeros chorros de leche para detectar mastitis clínica y estimular la bajada de la leche; lavar y secar completamente los pezones con toallas individuales desechables para reducir la transmisión de los patógenos mamarios y minimizar la contaminación de la leche; colocar las pezoneras dentro de 1 minuto de iniciada la estimulación para lograr una ordeña completa; observar y ajustar cuando sea necesario las unidades de ordeño para evitar la entrada de aire al sistema; cortar

el vacío antes de retirar las pezoneras; y desinfectar los pezones al término de la ordeña con una solución desinfectante segura y eficaz (Kruze, 1998).

Aunque la mejora de la calidad de leche en las explotaciones que pasaban de ordeño convencional en sala a ordeño robotizado era uno de los argumentos de venta de estos sistemas de ordeño, la realidad es otra. Según estudios holandeses y americanos referidos a explotaciones en Dinamarca, Holanda, Alemania y Estados Unidos, la introducción de un sistema automático de ordeño conlleva un empeoramiento de la calidad de leche, aunque lejos todavía de los límites que marca la directiva europea 92/46. Las observaciones indican que los diferentes parámetros relacionados con la calidad de leche (bacteriología, conteo de células somáticas, presencia de esporas anaerobias, punto crioscópico y presencia de ácidos grasos libres en leche) aumenta especialmente durante los 6 primeros meses de introducción del robot de ordeño para mejorar más adelante y estabilizarse a unos niveles ligeramente superiores a los anteriores del robot de ordeño (Oller, 2004).

En el momento que aparece el ordeño robotizado, los técnicos de calidad de leche deben adaptar nuestra metodología de trabajo a las nuevas circunstancias. Es preciso un enfoque mucho más preventivo sobretodo dirigido a instalaciones, bioseguridad, y análisis epidemiológico de los recuentos celulares individuales (Oller, 2004)

En un sistema de ordeño robotizado no es posible la realización del Test de California (CMT) a las vacas antes del ordeño, ya sea por cuestiones mecánicas como de tiempo de trabajo. Realizar el CMT y la toma de muestras con los animales atados o entrampados no es recomendable por varias razones. En primer lugar, porque al hacer el CMT estimulamos la bajada de la leche. Observamos pérdida involuntaria de leche y al soltar los animales estos acuden en masa al robot de ordeño. En segundo lugar, porque abrimos el esfínter del pezón. Este esfínter tarda aproximadamente 20 minutos en cerrarse al final del ordeño. En este caso se deben aplicar el sellador a los pezones de la vaca y esperar 20 minutos en liberar a las vacas de la trampa o desatarlos. Las muestras deberían

ser realizadas en: (a) animales recién paridos, (b) animales con mastitis clínica, antes del tratamiento con antibióticos, (c) animales que presenten aumento de conductividad eléctrica en la leche, previo CMT, (d) animales que presenten aumento de células somáticas en el último control lechero, y (e) muestra de leche de tanque (Oller, 2004).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Documentar el manejo integral de un hato de vacas Holstein durante el proceso de transición y adaptación a un sistema de ordeño robotizado (AMS), con tráfico forzado, para identificar necesidades y ventajas para el buen funcionamiento del sistema y el efecto en la producción de leche.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Identificar características de vacas adecuadas para ser ordeñadas en el AMS.
2. Establecer la estrategia para entrenar al grupo de vacas seleccionadas en el sistema de tráfico forzado, y en el ingreso al robot de ordeño.
3. Evaluar la producción de leche.
4. Identificar los informes de la base de datos del sistema, útiles para mejorar la adaptación del hato al AMS.
5. Identificar las causas de retrasos en ordeños.
6. Definir la capacidad de ordeño de un AMS, en número de vacas por día.
7. Identificación de factores que afecten el conteo de células somáticas de la leche obtenida de la ordeña en el AMS.
8. Monitorear el consumo de alimento en el AMS.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Localización**

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en el Campo Agropecuario Experimental Gonzalo Río Arronte, del Tecnológico de Monterrey (CAETEC), localizado en el municipio de Pedro Escobedo, en el estado de Querétaro, México.

El municipio de Pedro Escobedo está ubicado entre los 20°35' y 20°21' de latitud Norte y los 100°4' y 100°19' de longitud Este, a una altura que varía de 1,850 a 1,950 msnm (INAFED, 2003).

### **4.2 Instalaciones**

En el CAETEC hay dos sistemas estabulados para ganado lechero:

1. Establo con sistema de ordeño mecánico, compuesto por una sala de ordeña Auto Tandem 2X4 en la que se realizan dos ordeños diarios, y 8 corrales con sistema de tráfico libre, donde las vacas pueden circular libremente entre la zona de alimentación y la zona de descanso. La leche obtenida en la sala de ordeño es almacenada en un tanque de enfriamiento con capacidad para 7,000 litros.
2. Establo con sistema de ordeño robotizado (AMS) compuesto por tres robots de ordeño DeLaval (unidades individuales), y dos corrales en cada robot con tráfico guiado y forzado. Cada corral tiene 36 echaderos individuales, dos puertas unidireccionales y una puerta de tráfico guiado. La leche obtenida en el robot es almacenada en un tanque de enfriamiento con capacidad para 12,000 litros.

El presente trabajo se desarrolló en el establo con sistema de ordeño robotizado, en uno de los tres robots del AMS del CAETEC (Figura 2).

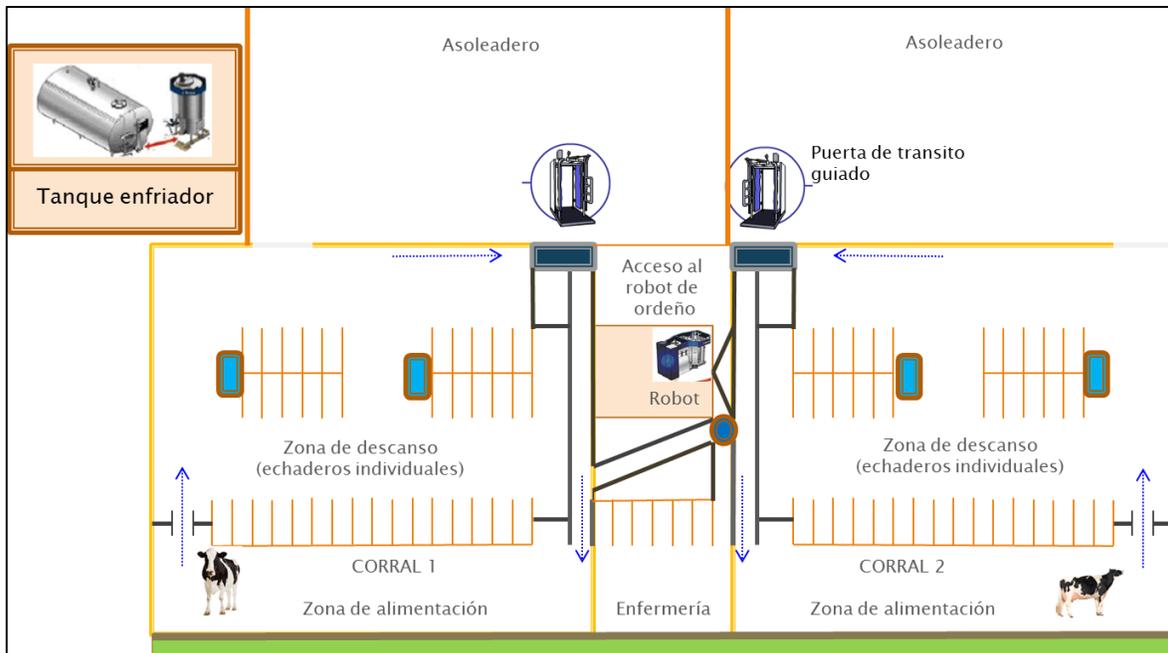


Figura 2 Diseño del AMS en uno de los tres robots, con dos corrales, en el CAETEC

#### 4.2.1 Sistema de tráfico forzado y guiado

El sistema de tráfico forzado del CAETEC está compuesto por puertas unidireccionales (Figura 3), donde las vacas solo pueden circular de la zona de alimentación hacia las zonas de bebederos y descanso, y para retornar, deben de pasar por una puerta selectora, de tráfico guiado, ubicada junto al robot de ordeño.



Figura 3 Puerta unidireccional vista por ambos lados

En el acceso al robot de ordeño (Figura 4), hay una puerta de tráfico guiado controlada por la base de datos del sistema de ordeño, la cual define la circulación de las vacas hacia el robot o hacia la zona de alimentación, con base en el tiempo transcurrido desde la última ordeña, y dependiendo del periodo de lactación de cada vaca: (1) de lactación temprana, con menos de 100 días en ordeño, (2) lactación intermedia, con 100 o más días en ordeño, y (3) lactación tardía, con menos de 100 días antes del próximo parto (Cuadro 1). A este sistema también se le conoce como “Milk first”, que se refiere a que las vacas son ordeñadas antes de ir a alimentarse.



**Figura 4 Zona de acceso al robot de ordeño**

Cuando el intervalo entre ordeños designado para cada vaca aún no ha expirado, la puerta de tráfico guiado (Figura 5) dirige a la vaca directo al área de comederos, sin pasar por el robot de ordeño. Cuando el intervalo entre ordeño ya ha expirado, la puerta dirige a la vaca hacia el robot para que sea ordeñada.



Figura 5 Puerta de tráfico guiado

#### 4.2.2 Robot de ordeño

El Robot de ordeño del CAETEC (Figura 6) está compuesto por un módulo, con mecanismo electro-hidráulico en puertas de acceso y salida, en el brazo robotizado para la colocación de pezoneras, y en el comedero con movilidad para el ajuste del tamaño de cada vaca que entre al robot.

El robot de ordeño cuenta con cuatro medidores ópticos de leche que supervisan, en cada uno de los pezones, las producciones de leche, velocidades de flujo, el tiempo, la conductividad eléctrica y los niveles de sangre en la leche. Con este mecanismo, el ordeño de cada pezón se inicia y se termina de forma independiente.

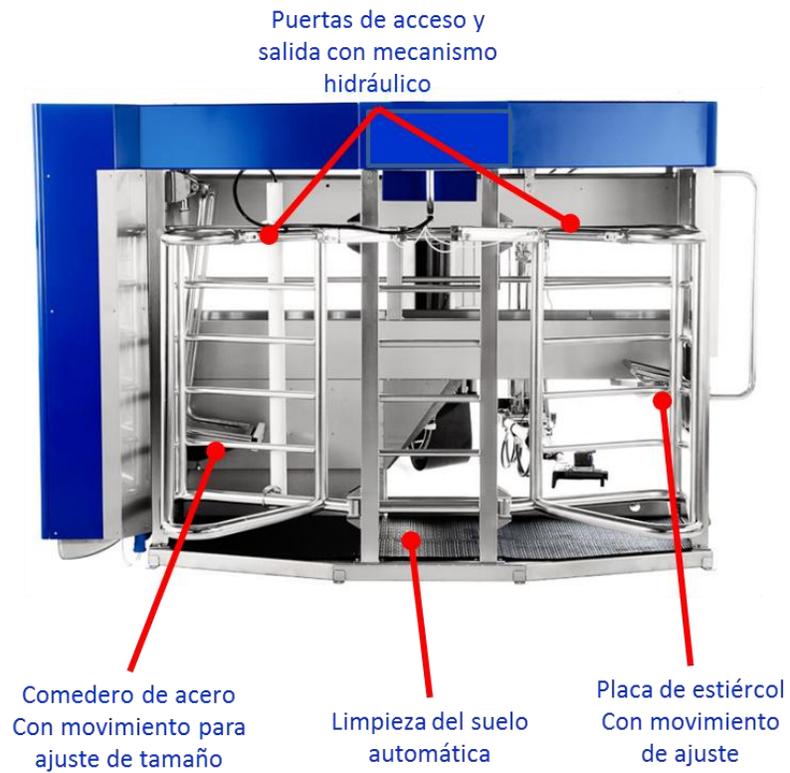
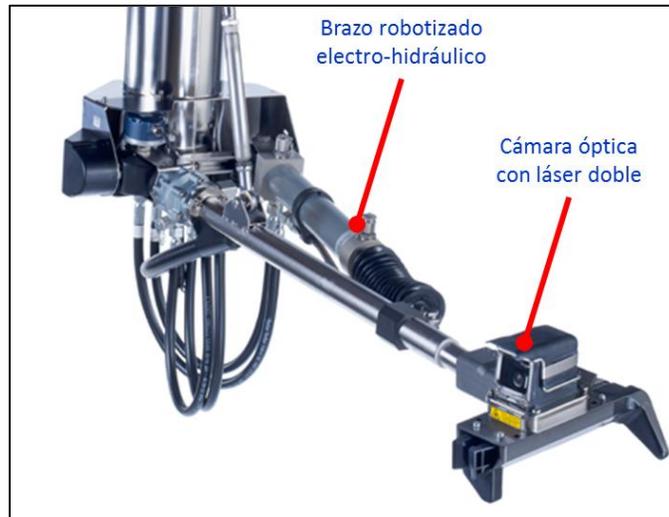


Figura 6 Vistas laterales del robot de ordeño del CAETEC

El brazo robotizado (Figura 7) cuenta con una cámara óptica con: láseres dobles para visualizar los pezones, una pinza para sujetar la copa de preparación de pezones y las pezoneras de ordeño para su colocación, un atomizador para pulverizar los pezones al término del ordeño. El brazo robotizado tiene conectado un control para grabar el posicionamiento manual de la cámara óptica en cada pezón.



**Figura 7 Brazo robotizado**

#### **4.2.3 Rutina de ordeño en el AMS**

La unidad de ordeño robotizado funciona bajo un sistema hidráulico y automatizado con el siguiente orden de actividades:

1. Apertura automática de la puerta de acceso para el ingreso de una vaca.
2. Colocación de una copa de lavado presurizado en cada uno de los pezones, para enjuague y estimulación de ordeño
3. Colocación de copas de ordeño,
4. Desconexión y retiro automático de la pezonera cuando el flujo de leche de algún cuarto disminuye a menos de 150g por segundo; el resto de los cuartos continúan ordeñándose hasta que su flujo disminuye.
5. Aspersión de sellador a los cuatro pezones al término del ordeño de todos los pezones.

6. Apertura automática de la puerta de salida para el retiro de la vaca.

#### 4.2.4 Especificaciones del sistema de ordeño

El sistema de ordeño se estableció con las mismas especificaciones técnicas que una sala de ordeño tradicional, y que se mencionan a continuación:

1. Bomba de vacío de accionamiento directo.
2. Nivel de vacío nominal: 12.5 a 15" de Hg.
3. Nivel de vacío de ordeño: 10.5 a 12" de Hg.
4. Pulsaciones: 60/min, con relación 60%-40%.

Durante el ordeño, en el funcionamiento de las copas de ordeño hay 60 pulsaciones por minuto, cada pulsación dura un segundo, y tiene dos fases: (1) ordeño y (2) masaje (Figura 8). La fase de ordeño dura el 60% del ciclo de una pulsación, y el 40% del ciclo es para el masaje.

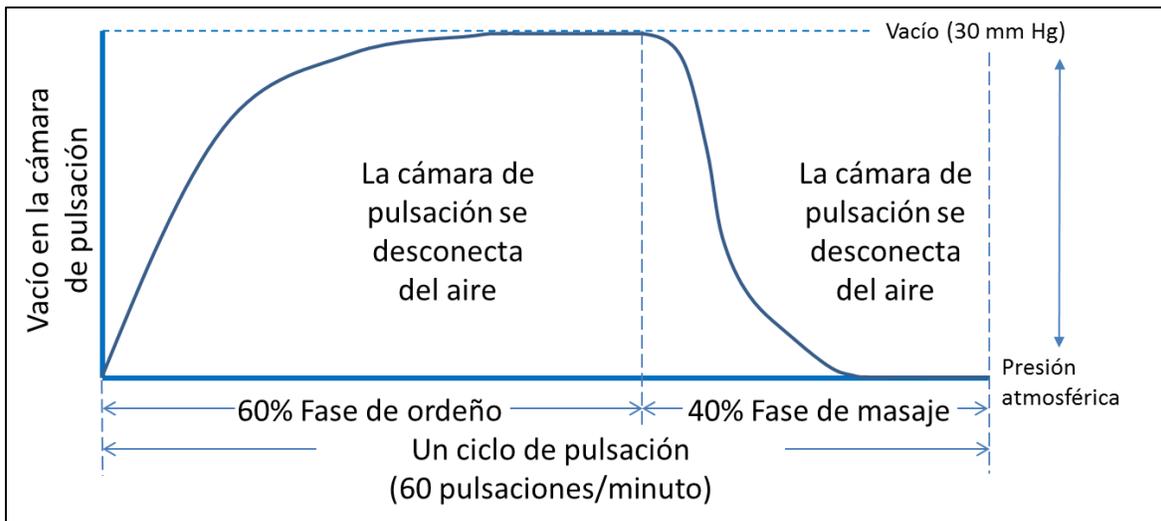


Figura 8 Relación de la pulsación del ordeño

#### 4.2.5 Lavado del equipo

Dentro de la configuración establecida en el AMS, se programaron 3 lavados automáticos del equipo y de toda la línea de conducción de leche por día. El primer lavado se realizó a las 2:00 am, el segundo lavado se realizó a las 10:00 am, y el tercer lavado fue a las 5:00 pm.

Cada lavado tiene una duración de 50 minutos, por lo cual, el tiempo libre para el ordeño diario es de 21:30 horas (1,290 minutos).

### **4.3 Metodología**

Para el desarrollo de este trabajo, se utilizó solamente un robot de ordeño con un grupo de vacas seleccionadas para ser incorporadas al AMS.

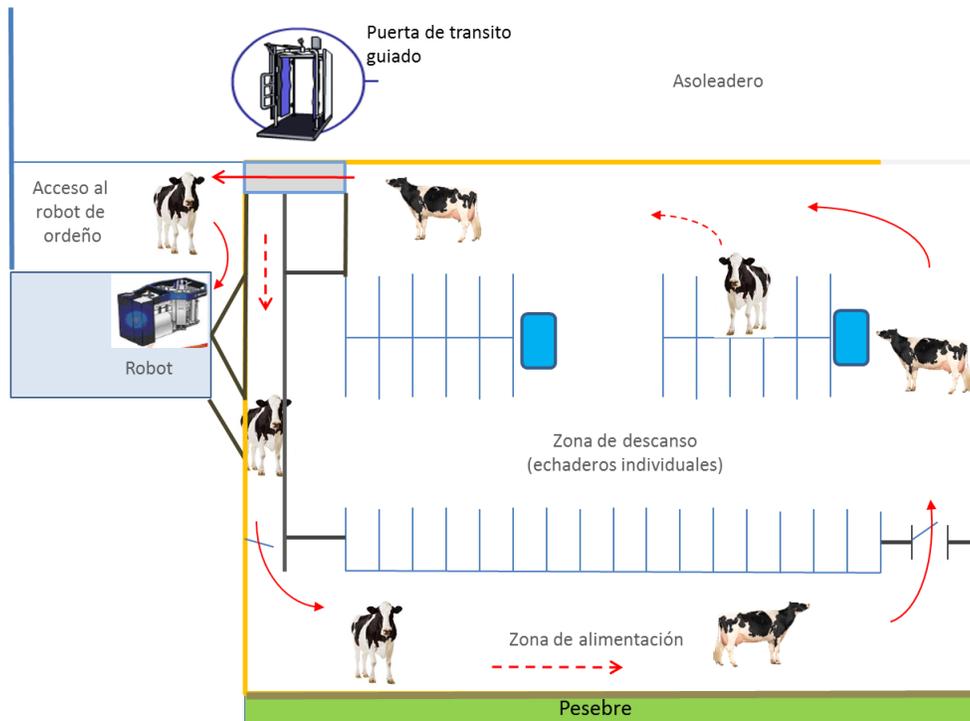
#### **4.3.1 Selección de vacas para el sistema de ordeño robotizado**

En una población de 80 vacas de distintas lactaciones, se escogieron vacas con menos de 200 días en leche y con producción superior a 30 kg/día. Las vacas escogidas fueron probadas en el tránsito forzado y en la ordeña robotizada para identificar cuales vacas eran aptas y cuales no eran aptas para ser incorporadas al AMS. Con base en las características que se mencionan más adelante, en los resultados, finalmente 25 vacas fueron seleccionadas para ser transferidas al AMS.

Las vacas seleccionadas, fueron identificadas individualmente con aretes con chip electrónico colocados en la oreja izquierda. Los números de los chips y la información histórica de cada vaca fueron registrados en la base de datos del AMS.

#### **4.3.2 Entrenamiento en el AMS con tráfico forzado**

Para iniciar la transición de vacas al AMS, se estableció un periodo de 30 días de entrenamiento en las instalaciones del AMS con tráfico forzado, en el que las vacas seleccionadas fueron arreadas para hacer recorridos con el siguiente orden de circulación: (1) zona de alimentación, (2) zona de descanso, (3) zona de acceso al robot de ordeño, (4) robot de ordeño, y finalmente regreso a la zona de alimentación (Figura 9).



**Figura 9 Circulación en el sistema de tráfico forzado**

Se realizaron tres recorridos durante el día. En el último ingreso del día al robot, cada vaca fue encerrada durante 5 minutos, sin ser ordeñadas, pero con suministro de 100 g de alimento pelletizado, durante su estancia en el robot.

#### 4.3.3 Inicio del ordeño robotizado

Para iniciar el ordeño en el AMS, durante las primeras ordeñas las vacas fueron guiadas por un arreador hacia el robot.

Cuando cada una de las vacas ingresó por primera vez al robot, se posicionó, con ayuda del control alámbrico (Figura 10), la cámara óptica para grabar la ubicación de cada pezón, y para ajustar, con el comedero del robot, el tamaño de la unidad de ordeño, con respecto al tamaño de cada vaca.



**Figura 10 Posicionamiento de la cámara óptica**

A partir del primer ordeño robotizado, y con base en la recomendación de la empresa proveedora del equipo de ordeño robotizado, se configuró en la base de datos del AMS, el funcionamiento de la puerta selectora de tráfico guiado para dar permiso a las vacas a entrar al robot de ordeño (Permiso de ordeño) o para dirigir las hacia el área de alimentación sin pasar por el robot con base en el tiempo transcurrido desde el último ordeño (Cuadro 1).

**Cuadro 1 Tiempo para permisos de ordeño y alarmas no ordeño**

Clasificación de vacas con base en los días en leche.	Tiempo transcurrido desde el último ordeño	
	Permiso de ordeño (acceso hacia el robot tiempo después del último ordeño)	Alarma de retraso de ordeño (vacas que necesitan acudir al robot)
Vacas con menos de 100 días post-parto	5.5 horas	10 horas
Vacas con más de 100 días post-parto	6.5 horas	12 horas
Vacas gestantes con menos de 100 días para el próximo parto	8 horas	12 horas
Vacas con ordeños incompletos	2 horas	

Para evaluar la adaptación del hato al AMS, se documentó el promedio de producción de leche (kg.) en dos periodos secuenciales: (1) 30 días de ordeño en sala auto-tandem, y posteriormente (2) 30 días de ordeño en el AMS.

Se capacitó a dos personas, un titular y un suplente, para el uso de la base de datos del AMS, con el objetivo de ingresar la información histórica de cada una de las vacas en la base de datos, y, por otra parte, para monitorear y documentar información derivada de los ordeños anteriores.

Con los datos obtenidos del tiempo de ordeño por vaca y considerando el tiempo transcurrido durante los lavados del equipo se evaluó la capacidad de ordeñas del AMS por día.

Durante la jornada matutina y vespertina (de 6:00 am a 6:00 pm), cada dos horas se monitoreó en la base de datos la lista de ordeño (Figura 11), en la que aparecen las 25 vacas marcadas en tres colores con la siguiente interpretación:

- (a) las vacas en color blanco, son aquellas que acaban de ser ordeñadas y que aún no tienen permiso para un próximo ordeño.
- (b) las vacas en color amarillo, son aquellas que ya tienen permiso para un próximo ordeño.
- (c) las vacas en color rojo, son aquellas que tienen retraso en el ordeño, debido a que ya ha expirado el tiempo máximo para volver a ser ordeñada, es decir, con retraso de ordeño.

Número	DEL	Permiso de Ordeño recibido (HH:MM)	↑	Tiempo desde Último ordeño (d HH: MM)	Tiempo transcurrido desde la última vista (d HH: MM)	Producción esperada	% Producción esperada último ordeño	Media de producción diaria últimos 7 días	Tipo de leche	Último nivel actividad	OCC (* 1000) Último ordeño	Notas	Cons. Concentrado % Ayer	Cons. Concentrado % Hoy
5616	361	18:20		1d 00:20	1d 00:20	15.14	77	17.24	Tanque de l...				23%	-
5610	298	14:11		20:11	20:11	18.61	103	21.32	Tanque de l...	+			36%	-
5485	257	02:49		08:49	08:49	12.09	94	33.79	Tanque de l...				76%	-
5644	244	02:25		08:25	08:25	13.07	108	35.70	Tanque de l...				55%	19%
5646	272	01:51		07:51	07:51	7.70	103	24.13	Leche desvi...				46%	21%
5625	284	00:34		06:34	06:34	8.31	76	28.54	Tanque de l...				35%	21%
5317	75	00:25		04:25	04:25	7.50	120	39.42	Leche desvi...				55%	7%
5683	26	00:02		00:02	00:02	4.90	13	28.43	Tanque de l...				73%	37%
5526	235	-00:08		05:52	05:52	8.18	111	33.35	Tanque de l...				41%	19%
5471	208	-00:49		05:41	05:41	7.72	108	32.52	Leche desvi...				46%	20%
5567	189	-01:29		04:31	04:31	7.37	97	38.20	Tanque de l...				7%	4%
5688	25	-01:45		04:45	04:45	5.69	100	29.14	Tanque de l...				50%	25%
5653	163	-01:47		04:13	04:13	6.11	108	35.21	Tanque de l...				72%	24%
5527	280	-02:50		03:10	03:10	3.29	107	23.63	Tanque de l...				61%	29%
5502	191	-03:01		02:00	02:00	3.99	121	49.44	Tanque de l...				74%	20%
5693	12	-03:15		03:15	03:15	2.69	128	17.26	Tanque de l...				0%	0%
5652	255	-03:22		04:38	04:38	5.01	103	23.70	Tanque de l...				52%	26%
5632	238	-05:36		00:24	00:24	0.55	112	34.06	Tanque de l...				52%	26%
5619	348	-05:44		02:16	02:16	2.77	110	28.48	Tanque de l...				50%	25%
5508	293	-05:51		00:09	00:09	0.41	101	34.67	Tanque de l...				78%	21%
5628	306	-06:41		01:19	01:19	2.49	89	29.34	Tanque de l...				42%	22%
5513	278	-06:56		00:17	00:17	0.39	117	34.67	Tanque de l...				42%	22%
5623	342	-07:16		00:32	00:32	0.76	104	31.58	Tanque de l...				34%	20%

**Figura 11 Lista de alarma de retraso en el ordeño y de vacas con permiso de ordeño**

Las vacas de la lista con retraso de ordeño, remarcadas en color rojo, fueron arreadas hacia el robot para evitar que se prolongara el intervalo entre ordeños, y para evitar posibles problemas de salud en la ubre. Además, se tomó registro del lugar en donde estaban las vacas con retraso de ordeño y la posible causa por la que aún no acudían al robot de ordeño.

Por otra parte, las vacas que asistieron al robot de forma voluntaria, dentro del intervalo de tiempo definido para ser ordeñadas, dejaron de ser asistidas por el arreador, y se tomó registro de cada una de ellas.

Dentro del módulo de ordeño, se observó el desarrollo automatizado del robot, y se registraron los eventos de alarma que el sistema detectó durante algunas ordeñas, ocasionados por problemas propios del inicio del funcionamiento del sistema.

Cuando la cámara óptica tuvo errores en la colocación de la copa de lavado o en la colocación de las copas de ordeño, fue necesario lavar con cepillo de cerdas suaves y con detergente ácido, diluido con agua, el lente de la cámara óptica del robot, para eliminar la acumulación de grasa y polvo.

Diariamente se vendió la leche y en cada entrega se tomó una muestra de leche para ser analizada en laboratorio y entre algunos parámetros de calidad se monitoreó el Conteo de Células Somáticas.

#### 4.3.4 Alimentación de las vacas

Diariamente, las 25 vacas establecidas en el AMS recibieron en el pesebre 1,200kg. de alimento (48kg/vaca, en base húmeda) de la mezcla integral elaborada en el CAETEC (Figura 12), recibiendo el 50% del alimento a las 8:00 am y el 50% restante a las 3:30 pm. Antes de la primera servida de alimento, se retiró el alimento sobrante del día anterior para ser pesado en una báscula, y poder determinar la cantidad de alimento consumido por día, durante el periodo del desarrollo de este trabajo. También se monitoreó el consumo de alimento 30 días antes de la transición al AMS, para tener una referencia de la adaptación al AMS con base en el consumo.



**Figura 12 Alimentación en pesebre**

En el robot de ordeño también se programó un suministro de 4 kg de alimento comercial, peletizado, el cual estaba dividido en 4 ingresos al robot por día (1 kg por ingreso). Las vacas que entraron solo dos veces al día, solo recibieron 2 kg). La información del consumo de alimento fue documentada todos los días por uno de los empleados del rancho.

#### 4.3.5 Manejo de instalaciones

Al inicio del proyecto se definió una lista de actividades a realizar en el AMS para proporcionar confort y bioseguridad al hato de 25 vacas, con personal responsable y tiempos establecidos para su realización. Las actividades fueron:

- a. Limpieza diaria de todo el módulo de ordeño, brazo robotizado, copas de ordeño, etc. (dos veces al día).
- b. Limpieza de la cámara óptica del robot con cepillo de cerdas suave y detergente ácido diluido.
- c. Revisión diaria de las cantidades de sanitizantes (detergente alcalino y detergente ácido, para el lavado automatizado del equipo) y sellador yodado, utilizados por el robot.
- d. Eliminación de excretas y limpieza en echaderos individuales (3 veces al día).
- e. Desinfección con cal en echaderos individuales, cada 3 días.
- f. Relleno de echaderos individuales con arena sílica, una vez por semana.
- g. Monitoreo diario del funcionamiento de la escrepa automatizada para limpieza de pasillos.
- h. Remoción de excretas en asoleaderos, una vez por semana.

La limpieza en echaderos obedece a que, en el AMS, las vacas deben entrar al robot con pezones limpios, ya que no hay un ordeñador que lave la ubre con exceso de estiércol. El robot de ordeño solo realiza un lavado con agua en cada uno de los pezones, pero si en el pezón hay exceso de estiércol, el lavado del robot no alcanza a ser suficiente para eliminar esos residuos (Figura 13).



**Figura 13** Pezón con exceso de estiércol

Durante las ordeñas en el AMS se observó que la presencia de moscas era un factor para que las vacas no se dejaran ordeñar, por lo que se contrató a una empresa especializada para el control de moscas, la cual asistió al AMS cada 10 días.

## **V. RESULTADOS**

Durante la selección de vacas para ser llevadas al AMS se encontraron vacas con problemas de locomoción o de patas que evidenciaban dificultad para desplazarse dentro de su corral, por lo que fueron descartadas, debido a que el AMS con tráfico forzado obliga a las vacas a recorrer todas las zonas de la instalación, y la falta de movilidad provocó que las vacas no pudieran visitar el robot de forma voluntaria, e incluso con movilidad forzada por un arreador.

En vacas con pezones muy juntos o cruzados, la cámara óptica del brazo robotizado no pudo posicionar las copas de ordeño de forma automática, ocupando hasta 10 minutos intentando colocar la copa, y en algunos casos colocaba la copa de ordeño en el pezón equivocado. Es importante decir que la colocación de las copas de ordeño en los pezones se realiza con un orden secuencial: (1ro) trasero derecho, (2do) trasero izquierdo, (3ro) delantero derecho,

y (4to) delantero izquierdo. Si la colocación de uno de los cuartos se hizo en forma errónea, cuando el brazo robotizado buscó el siguiente pezón, nunca lo encontró, puesto que ya tenía una copa conectada, y entonces hubo ordeños incompletos.

Las vacas con el defecto de pezones muy juntos o cruzados (Figura 14) fueron descartadas de la selección para la adaptación al AMS.



**Figura 14 Ubre con pezones traseros cruzados, vaca no apta para el ordeño robotizado**

Por el contrario, vacas con pezones extremadamente abiertos que están pegados a la parte interna de la pierna de la vaca, también fueron descartadas por lo complejidad que tuvo el brazo robotizado para conectar los pezones muy pegados a la pierna.

En vacas con pezones muy cortos (<2 cm) la colocación de las copas de ordeño se debe configurar en el AMS con colocación de “ataque directo”, que significa que el robot coloca la copa de ordeño de forma más ajustada y en un solo tiempo, y evitar continuas caídas de la copa de ordeño al suelo por falta de vacío durante el ordeño.

Las vacas con pezones separados y de buen tamaño (>2 cm) (Figura 15) no tuvieron ningún problema para la colocación de copas de lavado y de ordeño por parte del robot.

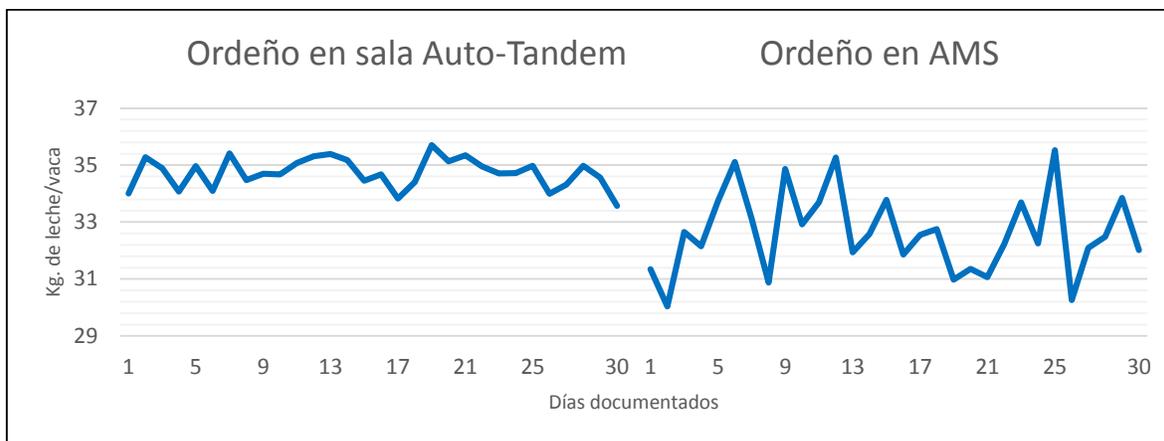


**Figura 15 Ubre con pezones separados**

La estrategia de entrenamiento de las 25 vacas seleccionadas en el sistema de tránsito forzado requirió de una persona encargada de arrear a las vacas tres veces al día a través de las instalaciones en el AMS. El tiempo destinado para esta actividad fue de 25 a 30 minutos por cada uno de los tres recorridos diarios de todas las vacas en las instalaciones del sistema. Después de 30 días de entrenamiento, las 25 vacas seleccionadas iniciaron la ordeña en el AMS.

Durante los primeros 30 días en el ordeño robotizado, las 25 vacas seleccionadas para AMS, tuvieron una producción promedio de 32.63 kg de leche por vaca/día. Para poder tener una referencia de la adaptación con base en el promedio de producción de leche, se comparó el promedio de producción ya mencionado, con el promedio correspondiente a 30 días anteriores a la transición del hato al AMS, que fue de 34.73 kg.

En la comparación realizada entre el periodo anterior y el posterior a la ordeña en el AMS, hubo una reducción del 6.05% del segundo periodo con respecto al primer periodo (Figura 16).



**Figura 16 Promedio de producción de leche antes y después del ordeño en el AMS**

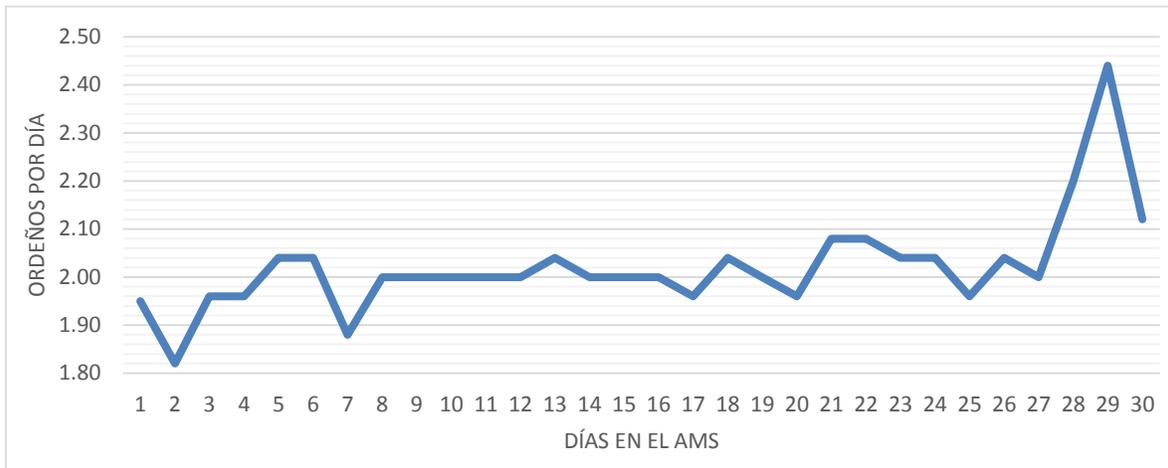
Además de la producción de leche producida diariamente en el AMS, la base de datos del sistema genera información de la ordeña, de donde se obtuvieron resultados de los siguientes datos:

1. Tiempo transcurrido desde el último ordeño (intervalos entre ordeños).
2. Número de ordeños por vaca/día.
3. Vacas con alarma de retraso en el ordeño.
4. Tiempo de duración de cada ordeño.
5. Ordeños incompletos
6. Alimento consumido en el robot, durante cada ordeña.

En el periodo anterior a la transición al AMS, el hato era ordeñado en la sala auto-tandem dos veces al día con un intervalo entre ordeños de 12 horas. El promedio del intervalo entre ordeños en el AMS fue de 11:53:40. El intervalo promedio más corto fue de 11:17:03, y el intervalo más grande fue de 16:04:14.

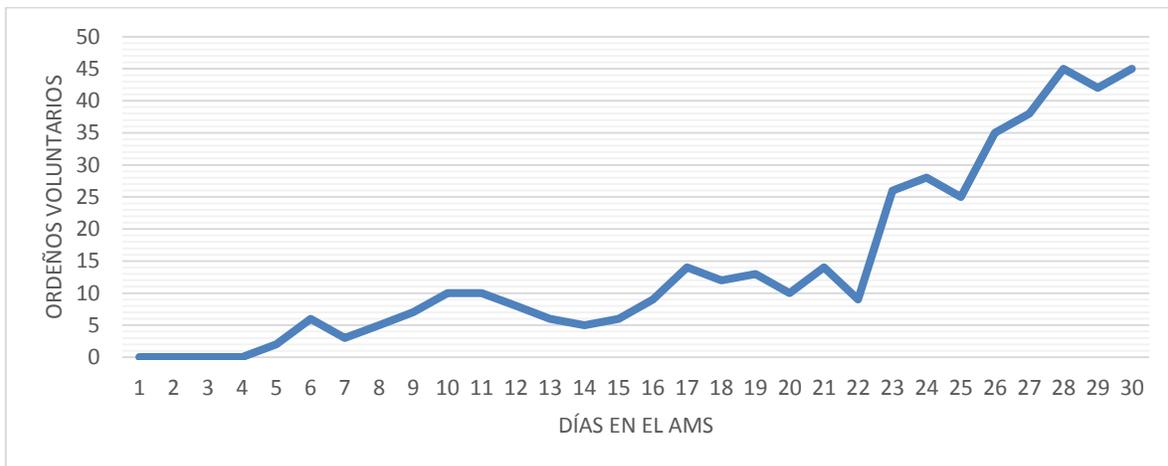
Las vacas que acudieron al robot de forma voluntaria generalmente redujeron el intervalo entre ordeños con respecto al tiempo de configuración para el retraso de ordeño. Por otra parte, con intervalos entre ordeños cortos, se dio un incremento en el número de ordeños promedio por día.

En la Figura 17 se muestra un aumento en el número de visitas al robot por día, alcanzando en el día 29 hasta 2.44 ordeños en promedio por día.



**Figura 17 Promedio de número de ordeño en el AMS por día**

Durante los primeros 4 días de ordeño en el AMS ninguna vaca ingresó al robot de forma voluntaria, y todas fueron arreadas a las 12 horas cumplidas con respecto al ordeño anterior. Al final del periodo de 30 días en el AMS, el 90% de las vacas visitaron el robot de forma voluntaria para ser ordeñadas (Figura 18).



**Figura 18 Ordeños voluntarios en el AMS por día**

Las vacas que no acudieron al ordeño de forma voluntaria y que aparecieron en la lista de vacas con retraso en el ordeño, fueron arreadas hacia el robot, y en documentación de las posibles causas del retraso, se encontraron los siguientes resultados:

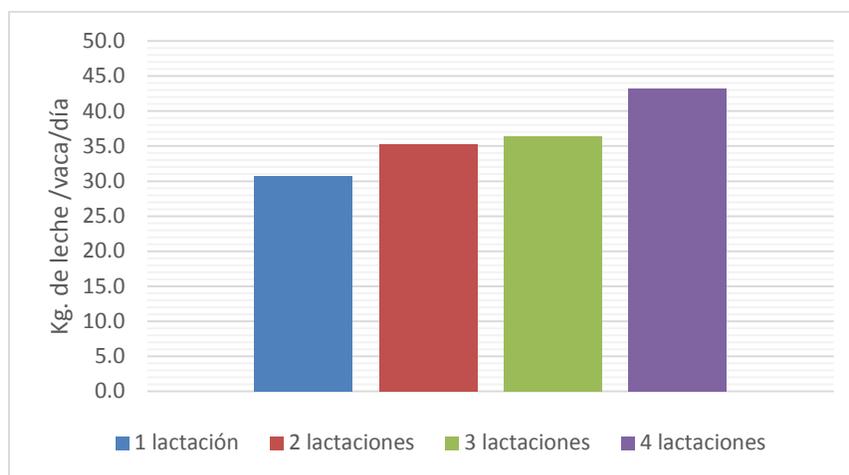
1. Falta de costumbre para caminar en el sistema de tráfico forzado y guiado. Las vacas que circulaban por la puerta unidireccional de tránsito forzado que va de la zona de alimentación hacia la zona de descanso querían regresar a comer por la misma puerta, la cual no tiene acceso para el retorno.
2. Vacas que se encontraban en asoleaderos del nuevo sistema y no sabían por dónde volver hacia el robot o hacia la zona de alimentación (Figura 19).



**Figura 19 Vacas en asoleadero**

3. Vacas que se encontraban rumiando en la zona de descanso, sin mostrar inquietud por acudir al robot de ordeño o hacia la zona de alimentación.

Las vacas con 3 o 4 lactaciones presentaron mayor recurrencia en la lista de vacas con retraso en el ordeño, y tardaron más de 24 días para poder asistir voluntariamente al robot, sin embargo, su promedio de producción en el AMS, durante 30 días fue mayor que el promedio de las vacas de una y dos lactaciones (Figura 20).



**Figura 20 Promedio de producción de vacas en distinta lactación en el AMS**

El promedio de producción de vacas de una y más lactaciones fue menor en el ordeño en el AMS con respecto al periodo de 30 días antes del ordeño robotizado, en la sala auto-tandem (Cuadro 2).

**Cuadro 2 Promedio de producción de leche antes y después del ordeño en el AMS**

	Promedio de Kg de leche en Ordeño en Auto-tandem	Promedio de Kg de leche en Ordeño en AMS	Diferencia en porcentaje
1 lactación	32.5	30.7	-5.5%
2 lactaciones	37.6	35.3	-6.1%
3 lactaciones	38.8	36.4	-6.2%
4 lactaciones	45.2	43.2	-4.4%
Promedio total	34.58	32.63	-5.6%

Con base en la producción de cada vaca se puede definir un esquema para valorar y definir el tiempo para permiso de ordeño (tiempo acumulado desde la última ordeña), estimando que las vacas acudieran puntualmente al robot como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3 Relación de No. de ordeños con producción de leche

Horas para permiso de ordeño	5	6	7	8	9	10	11	12
Promedio de No. de ordeños/día	4.8	4.0	3.4	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0
Leche/vaca/día	Promedio de Kg de leche por ordeño							
70 kg/día	14.6	17.5	20.4	23.3	26.3	29.2	32.1	35.0
60 kg/día	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
50 kg/día	10.4	12.5	14.6	16.7	18.8	20.8	22.9	25.0
40 kg/día	8.3	10.0	11.7	13.3	15.0	16.7	18.3	20.0
30 kg/día	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5	13.8	15.0
20 kg/día	4.2	5.0	5.8	6.7	7.5	8.3	9.2	10.0

El promedio de producción durante los primeros 30 días en el AMS fue de 32.64 kg y el promedio de ordeños por día fue de 2.02, lo que dio un promedio de producción por ordeño de 16.17 kg; con este dato se puede reconfigurar el tiempo para el permiso de ordeño, tomando como referencia la producción de cada vaca. Los datos remarcados en amarillo son, en la relación, los que nos pueden ayudar a definir el tiempo para el permiso de ordeño, con una producción de leche estimada, por ejemplo: si el ganadero tiene vacas que producen 70 kg de leche/día, el rango de tiempo para el permiso de ordeño podría estar definido entre 5 y 7 horas, en otro ejemplo, vacas con producción de 40 kg de leche/día, podrían tener el permiso de ordeño a las 9 horas, después de su última ordeña.

Durante 30 días en el AMS, se registró el tiempo promedio que transcurrió desde que cada vaca ingresó al robot, el tiempo de la duración del ordeño y el tiempo para la salida de cada vaca (Cuadro 4). El promedio de tiempo transcurrido desde que la vaca ingresó al robot, hasta que salió del robot fue de 7 minutos con 56 segundos.

**Cuadro 4 Promedio del tiempo de ordeño por vaca**

Tiempo de ordeño	Tiempo total en el robot
05:25	06:59
05:22	06:56
05:21	06:55
07:34	09:08
05:04	06:38
06:19	07:53
05:16	06:50
05:06	06:40
05:09	06:43
06:00	07:34
05:07	06:41
08:16	09:50
04:50	06:24
07:05	08:39
06:36	08:10
07:37	09:11
06:53	08:27
06:23	07:57
07:56	09:30
07:38	09:12
05:10	06:44
07:51	09:25
05:14	06:48
06:27	08:01
09:39	11:13
<b>PROMEDIO</b>	<b>07:56</b>

El AMS debe funcionar durante 24 horas, y con esquema de lavado establecido en la configuración del sistema, se realizan tres lavados diarios con duración de 50 minutos, por lo cual, el tiempo libre para la ordeña es de 21 horas con 30 minutos (1,290 minutos) por día. Si el tiempo promedio por ordeño es de 7 minutos con 56 segundos, entonces la capacidad de ordeño para un robot con 60 vacas es de 2.7 ordeños/vaca/día. Con menos vacas en el robot, el promedio de ordeños por día sería mayor, por el contrario, con más vacas en un robot, el promedio de ordeños sería menor. Con base en el número de vacas por robot, se puede calcular su capacidad de ordeño por día (Cuadro 5).

Cuadro 5 Capacidad del ordeño del robot con respecto al número de vacas

Minutos/día		1,290	Minutos
Minutos/ordeño		8	Minutos
Vacas por robot	70	2.3	Ordeños
	65	2.5	Ordeños
	60	2.7	Ordeños
	55	2.9	Ordeños
	50	3.2	Ordeños
	45	3.6	Ordeños
	40	4.0	Ordeños
	35	4.6	Ordeños
	30	5.4	Ordeños
	25	6.5	Ordeños

La identificación de ordeños incompletos se refiere a las vacas que no se ordeñaron completamente de uno o más cuartos. Las vacas que presentaron un ordeño incompleto (Figura 21), fueron llevadas al robot después de dos horas para que el cuarto o los cuartos de ordeño incompleto se realizara completamente.

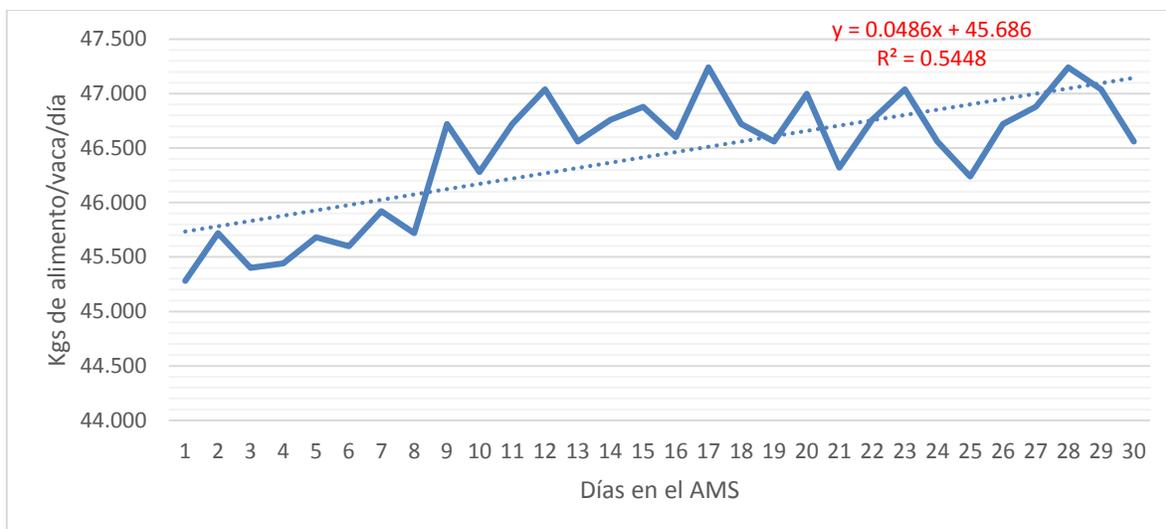
Número	Número del grupo	DEL	Permiso de Ordeño robotizado (HH:MM)	Tiempo desde último ordeño (d HH:MM)	Tiempo transcurrido desde la última visita (d HH:MM)	Producción esperada	% Producción esperada Último ordeño	Medida de producción diaria Últimos 7 días	Tipo de leche	Último nivel actividad	OCC (* 1000) Último ordeño	Notas	Cons. Concentrado % Ayer	Cons. Concentrado % Hoy	En el Área de espera desde	Información
5667	3	320	02:43	09:43	09:43	7.03	93	17.93	Tanque de leche				101%	41%	-	
5708	3	122	02:45	08:25	08:25	11.66	93	34.98	Tanque de leche				133%	33%	-	
5684	3	134	02:30	06:38	06:38	12.81	109	45.62	Tanque de leche				83%	39%	-	
5623	3	54	02:23	05:48	05:48	11.86	112	49.12	Tanque de leche				71%	70%	-	
5693	3	143	00:19	05:42	05:42	7.38	100	32.10	Tanque de leche				67%	67%	-	
5685	3	129	00:20	05:36	05:36	8.48	98	34.06	Tanque de leche				97%	67%	-	
5707	3	137	00:29	05:27	05:27	8.70	93	36.90	Tanque de leche				51%	45%	-	
5706	3	14	01:23	05:23	05:23	6.04	89	24.80	Tanque de leche				75%	87%	-	
5653	3	294	00:46	05:08	05:08	6.52	104	32.69	Tanque de leche				100%	67%	-	
5625	3	415	02:10	04:50	04:50	5.20	115	24.67	Tanque de leche				79%	76%	-	
5632	3	45	01:23	04:43	04:43	9.91	111	50.26	Tanque de leche				142%	42%	-	
5607	3	92	00:32	03:28	03:28	5.49	98	36.53	Tanque de leche				101%	57%	-	
5502	3	322	05:44	03:16	03:16	3.49	86	23.50	Tanque de leche				93%	47%	-	
5688	3	156	02:19	03:08	03:07	4.59	110	34.42	Tanque de leche				67%	42%	-	
5678	3	128	02:20	02:39	02:39	4.25	104	38.76	Tanque de leche				87%	77%	-	
5612	3	83	01:54	01:44	01:44	3.34	107	44.71	Tanque de leche				95%	71%	-	
5687	3	114	01:10	01:10	01:10	3.98	83	31.08	Tanque de leche				67%	82%	00:00	Incompleto (DD)
5696	3	138	05:02	00:48	00:48	1.69	109	32.58	Tanque de leche				67%	100%	-	

Figura 21 Lista con información de ordeños incompletos

Las razones observadas que provocaron ordeños incompletos fueron:

1. Falta de limpieza en el lente de la cámara óptica del robot.
2. Exceso de pelo en la ubre, que estorbaba al lector de la cámara óptica.
3. Error del encargado al momento de posicionar cada uno de los cuartos en la primera ordeña de cada vaca.
4. Patadas de las vacas que llegaron a tirar alguna pezonera conectada durante la ordeña.

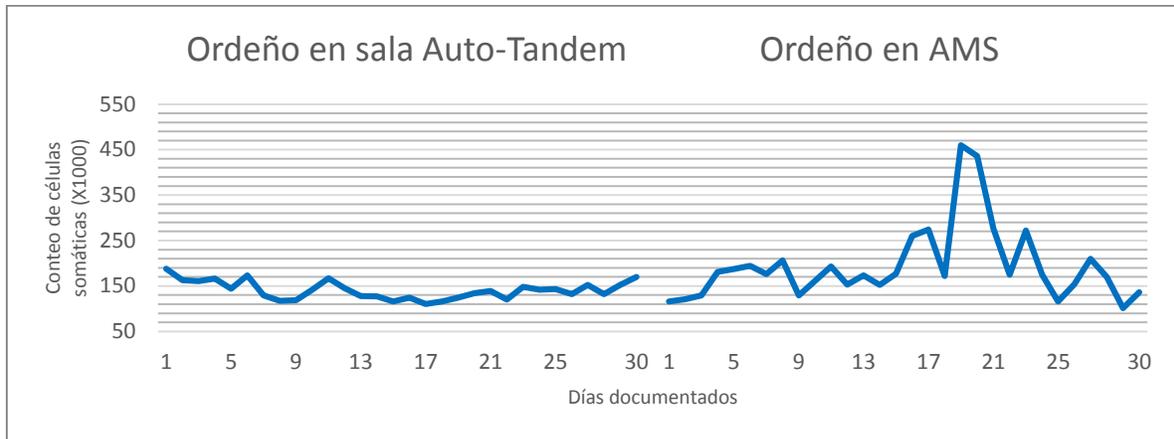
Con respecto al consumo de alimento de las vacas en el AMS, el promedio, durante los 30 días de evaluación en el AMS, fue de 46.440 kg por vaca/día, y que tuvo una tendencia a incrementar como se muestra en la Figura 22.



**Figura 22 Consumo de alimento en la zona de alimentación**

El promedio de consumo de alimento por vaca/día del periodo de 30 días previos a la transición al AMS, fue de 48.747 kg, Sin embargo, en el AMS la oferta de alimento no solo se dio en la zona de alimentación, sino también, en el robot durante el ordeño, donde se programó una oferta de 4 kg en 4 ordeños. El consumo de concentrado por vaca/ordeño fue de 1 kg de concentrado en el robot. Si el promedio de ordeños/día fue de 2.02, entonces el consumo total de concentrado en el robot fue de 2.02 kg. Por lo tanto, el consumo total de alimento consumido en el AMS (en zona de alimentación y en robot) por vaca/día en el AMS fue de 48.46 kg por vaca/día.

El conteo de células somáticas, obtenido en los análisis de laboratorio, mostró un incremento durante el ordeño en el AMS, con respecto al ordeño en la sala de ordeño (Figura 23). El promedio de células somáticas en la ordeña tradicional fue de 140,767, mientras que en el ordeño robotizado el promedio fue de 194,500 células somáticas.



**Figura 23** Conteo de células somáticas por día

El conteo de células somáticas se puede ver afectado por diversos factores. Durante el periodo de este trabajo, en el AMS se detectaron dos posibles factores causantes del incremento de células somáticas:

1. Intervalos entre ordeños prolongados. Vacas con ordeños retrasados, con más de 12 horas de intervalo entre ordeños, se empiezan a estimular y a soltar leche en echaderos, asoleaderos y pasillos, contaminando el corral con alta probabilidad de generar problemas de mastitis en el hato (Figura 24).



**Figura 24** Vaca con secreción de leche en corral

2. Falta de limpieza en las copas de ordeño (Figura 25). Al término del ordeño, el robot hace un enjuague interno en las copas de ordeño, pero no lo hace en la parte externa, en donde la limpieza que se requiere debe ser realizada por personal de forma manual.



Figura 25 Copa de ordeño con estiércol

3. Ordeños incompletos. La acumulación de muchas horas (> de 12) en un cuarto sin ser ordeñado genera dolor, estrés y posiblemente mastitis.

## VI. DISCUSIÓN

Los ganaderos en México han trabajado en el mejoramiento genético de sus vacas buscando principalmente incrementar la producción de leche, la conformación de ubre, la fertilidad, regular el tamaño y mejorar la fortaleza. Sin embargo en nuestro país no se ha tenido la visión para trabajar en el mejoramiento genético que genere vacas aptas para el sistema de ordeño robotizado.

El AMS no es adecuado para todas las vacas. Mala conformación de ubre, ubicación de pezones que dificulten el reconocimiento del lector óptico del robot, y

vacas con problemas para asistir al ordeño de forma voluntaria, son 3 de las principales causas de inadaptación al AMS. El porcentaje de casos de inadaptación es generalmente reportado en menos de 5-10% (de Koning y Rodenburg, 2004).

El sistema de ordeño robotizado permite realizar una selección de mejoramiento genético en parámetros como: conformación de ubre, velocidad de flujo lácteo durante el ordeño (Martínez, 2015).

Con el AMS se puede incrementar la producción hasta en más de un 12%, o hasta el 18%, como resultado de aumento en la frecuencia de ordeño y del bienestar de la vaca. Pero los productores no logran ver de inmediato esos beneficios. Por otro lado, la reducción en la labor de ordeño del personal no se reduce en los primeros días, debido a que las vacas no se ordeñan voluntariamente y hay que arrearlas hacia el robot, o porque algunas vacas no se adaptan nunca el modelo del AMS.

Al implementar un AMS, la labor que realizaba el ordeñador se sustituye por otras tareas como la revisión de las listas de ordeños realizados y retrasados, así como el monitoreo del funcionamiento del sistema (de Koning y Rodenburg, 2004). El sistema de libre tráfico implica ocupar a más mano de obra que los sistemas guiados y/o forzados. Un robot puede mantener hasta 60 vacas, con ahorros de mano de obra de hasta 4-5 horas por vaca.

Vacas con más de dos ordeños diarios tienen mejor producción que las vacas que solo se ordeñan dos veces al día (Jacobs y Siegford, 2012). Una de las principales ventajas del AMS es que se puede controlar la frecuencia de ordeño, ajustando los permisos y las alarmas con base en niveles de producción o en periodos específicos de las lactaciones, con el objetivo de reducir el intervalo entre ordeños e incrementar el número de ordeños por día.

En el sistema de tráfico del ganado del AMS, los factores que afectan la frecuencia de ordeño y que pueden los intervalos entre ordeños es el manejo de la base de datos y alarmas. Mediante el buen manejo de los operadores del sistema

en el monitoreo de alarmas y al manejo de los listados que proporciona el sistema, supervisando el flujo y el ordeño de las vacas (Busto, 2002).

Ofrecer la mayor parte de la dieta en el pesebre y otra pequeña parte de concentrado en el robot es más óptimo que ofrecer grandes cantidades en el robot o que ofrecer toda la ración en el pesebre y no ofrecer nada en el robot (Bach, 2002). Si la ración del pesebre tiene todos los nutrimentos que las vacas requieren para su mantenimiento y para la producción de leche, en el robot solo tomaría concentrado en muy pequeñas cantidades para no exceder el nivel energético y proteico que puede tolerar fisiológicamente una vaca (Bach, 2002).

Durante los primeros días de la adaptación de un hato lechero al AMS, es normal un incremento en el conteo de células somáticas del tanque debido al estrés de las vacas por estar establecidas en un sistema nuevo para ellas, por mal posicionamiento de pezoneras, ordeños incompletos, periodos entre ordeños prolongados y por parte del ganadero y del personal a cargo del manejo del ganado, falta de capacitación en el funcionamiento de los robots, de la base de datos del sistema y del manejo mismo de las vacas en los corrales (Oller, 2004).

## **VII. CONCLUSIONES**

Un requisito para poder desarrollar proyectos de automatización con robots de ordeños en establos en México, es la selección de vacas y genética con buena conformación de ubre (pezones no muy juntos, duración de ordeño corta (reducir tiempo) y en resistencia a enfermedades o problemas podales.

Al implementar un AMS, los ganaderos deben definir un sistema de tráfico que facilite el ingreso voluntario de las vacas al robot de ordeño. En el sistema de tráfico forzado y guiado, con circulación denominada como “Milk first”, es una alternativa que requiere aproximadamente 30 días para acostumbrar a las vacas a transitar a través del mismo, para lo cual es necesario el apoyo de un arreador que guíe a las vacas en recorridos dentro de las instalaciones del AMS.

El sistema de tráfico forzado es una herramienta útil para estimular en las vacas el ordeño robotizado voluntario, ya que obliga a las vacas a pasar por el robot antes de llegar a la zona de alimentación, y si la vaca ya tiene permiso de ordeño, definido por el ganadero, ésta se pueda ordeñar con intervalos entre ordeños más cortos.

Durante los primeros días es necesario tuturar a las vacas con un arreador para el recorrido forzado de las vacas por el sistema de tráfico forzado y evitar periodos prolongados de ayuno en las vacas que se establecen por largos periodos de tiempo en la zona de descanso. La base de datos del AMS tiene herramientas para identificar a las vacas con retraso de ordeño, a vacas con necesidad de reducir aún más los intervalos entre ordeños (vacas con alta producción, y vacas en pico de producción).

Las vacas con menos de 100 días en ordeño son las que requieren de mayor atención y motivación para que acudan de forma más frecuente al robot de ordeño, ya que se encuentran en el periodo de la lactación en el cual la producción de leche va en aumento, encontrando el pico de producción alrededor del día 75.

Con base en el análisis realizado durante el periodo de ordeño en el AMS, se observó una reducción del 6.05% de la producción de leche promedio, que se puede atribuir principalmente a los siguientes factores:

1. Reducción en el consumo de alimento por falta de recorridos en el sistema de tráfico forzado y guiado.
2. Periodos prolongados en intervalos entre ordeños (más de 12 horas)
3. Estrés por el cambio de instalaciones de alojamiento

Vacas con pezones lesionados, por mastitis, hiperqueratosis, cuartos ciegos, etc., deben de ser supervisadas durante la ordeña robotizada para asegurar que se ordeñe correctamente y sin sub-ordeños.

Vacas con problemas de patas deben de llevar un manejo personalizado en la ordeña, en donde no se vean obligadas a caminar el circuito del tráfico forzado.

Para evitar problemas articulares es importante hacer buen manejo de instalaciones, ofreciendo a las vacas echaderos y asoleaderos suaves y cómodos, además de pasillos limpios y secos.

El personal (arreador y ordeñador) que anteriormente destinaba 76 minutos para ordeñar 25 vacas en una sala de ordeño Auto-tandem 4X2, dos veces al día, en el sistema de ordeño robotizado solo requieren de aproximadamente 10 minutos para únicamente arrear a las vacas con retraso de ordeño. Cuando en un hato, las vacas empiezan circular por el AMS voluntariamente y se empiezan a acostumbrar al sistema, el número de vacas por arrear va siendo menor día con día y el tiempo requerido para esta labor disminuye también. Entonces el personal puede realizar otras actividades dentro del sistema que mejoren las condiciones de alojamiento del hato, como la limpieza del robot y de las instalaciones donde se ubica éste, manejo y desinfección de echaderos, limpieza de pasillos, lavado de bebederos, monitoreo de cantidades disponibles de sanitizantes y concentrado para las tolvas de alimentación en el robot, devolver el alimento que las vacas retiran del pesebre en la zona de alimentación, monitoreo del funcionamiento del robot, y detección y tratamiento de mastitis.

La tolva de alimentación dentro del robot de ordeño significó una importante herramienta para disminuir el estrés durante la ordeña, ya que mientras las vacas eran ordeñadas, no pateaban las pezoneras ni se alteraban dentro de la caseta de ordeño. Sin embargo, es importante definir a un encargado de monitorear la disponibilidad de alimento en las tolvas para evitar que éstas queden vacías y no se de la alimentación durante las ordeñas en el robot.

En este trabajo se logró comprobar que la adaptación de un hato al sistema de ordeño robotizado no requiere de tanto tiempo (<1 mes), así como la capacitación más básica para el personal del establo.

Los objetivos originales del sistema se ven reflejados en su funcionamiento:  
(1) la poca mano de obra disponible para labores de ordeño puede ser sustituida

por un robot; (2) el concepto de ordeño voluntario en el sistema robotizado se vuelve posible con un buen entrenamiento a las vacas, y con posibilidades de lograr un incremento en el número de ordeños por día; y (3) en la adopción de nuevas tecnologías se pueden obtener datos e información útil para desarrollar estrategias que mejoren la eficiencia y la productividad de todo el sistema de producción de leche.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Ávila, S., Gutiérrez, A. J., Sánchez, J. I., y Canizal, E. (2002). Comparación del estado de salud de la ubre y la calidad sanitaria de la leche de vacas ordeñadas manual o mecánicamente. *Vet. Méx*, 33(4), 387.
- Bach, A. (2002). Feeding adaptation in farms with automated milking. *Ganaderia*. Recuperado a partir de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ES20020032226>
- Barrasa, M., Lamosa, S., Pereira, J. M., y Castro, A. (2013). Ordeños forzados en sistemas de ordeño robotizado en explotaciones lecheras de Galicia. En *17th International Congress on Project Management and Engineering Logroño*. Recuperado a partir de [http://www.aepro.com/files/congresos/2013logronio/CIDIP2013\\_1230\\_1238.4044.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2013logronio/CIDIP2013_1230_1238.4044.pdf)
- Barreiro, P., y Ortiz-Cañavate, J. (2001). Robots de ordeño y sistemas AMS. *Mundo Ganadero*. Recuperado a partir de [http://www.researchgate.net/profile/Pilar\\_Barreiro/publication/50369083\\_Robots\\_de\\_ordeo\\_y\\_sistemas\\_AMS/links/53e8a4840cf2fb7487244421.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Pilar_Barreiro/publication/50369083_Robots_de_ordeo_y_sistemas_AMS/links/53e8a4840cf2fb7487244421.pdf)
- Bath, D. L., Dickinson, F. N., Tucker, H. A., y Appleman, R. D. (1982). *Ganado Lechero Principios, Prácticas, Problemas y Beneficios* (Segunda Edición). México: Interamericana S.A. de C.V.
- Busto, M. I. (2002). Adaptación del robot de ordeño en las explotaciones. *MG Mundo ganadero*, 142, 14–17.

- Caja, L. G., Ayadi, M., Carré, X., y Xifra, M. (2002). Situación actual y perspectivas del ordeño robotizado en España. *Ganadería*, 13, 18–21.
- Carnero, J. C. (2006). El sistema de ordeño robotizado. *MG Mundo ganadero*, 17(189), 56–60.
- de Koning, K. (2002). El ordeño automático: el reto del desarrollo. *Ganadería*, 13, 34–37.
- de Koning, K., y Rodenburg, J. (2004). Automatic milking: State of the art in Europe and North America. En *Automatic Milking: A Better Understanding* (pp. 27–37). Wageningen Academic Publishers.
- Hart, M. (2017). Use robot reports to proactively manage your herd and equipment. *Progressive Dairyman*.
- Jacobs, J. A., & Siegford, J. M. (2012). Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2227–2247.
- John, A. J., Clark, C. E. F., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., Garcia, S. C., y Halachmi, I. (2016). Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*, 10(9), 1484–1492.
- Kruze, J. (1998). La rutina de ordeño y su rol en los programas de control de mastitis bovina. *Archivos de medicina veterinaria*, 30(2), 07-16.  
<https://doi.org/10.4067/S0301-732X1998000200001>
- Martínez, D. (2015). Alimentación de rebaños lecheros con carro Unifeed y robot de ordeño66. I Jornada FEDNA-ANEMBE 87–100.

Míguez, J. L. (2009). La búsqueda de la excelencia en el ordeño: la ordeñabilidad.

*Producción animal*, 24(251), 40–52.

Oller, O. F. (2004). El nuevo enfoque del veterinario de calidad de leche: control de

calidad de leche en granjas con ordeño robotizado. *Ganadería*, 30, 54–57.

Philpot, W. N., y Nickerson, Stephen C. (2002). *Ganando la lucha contra la*

*mastitis*. Westfalia Surge Inc. y Westfalia Landtechnik GmbH. Naperville

(USA) Oelde. (Germany).

[http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecResumen.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp)

<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM22queretaro/municipios/22012a.html>